



4 Geotecnologias na agricultura digital

Carla Geovana do Nascimento Macário
Júlio César Dalla Mora Esquerdo
Alexandre Camargo Coutinho
Eduardo Antonio Speranza
João dos Santos Vila da Silva
João Francisco Gonçalves Antunes
Laurimar Gonçalves Vandrúsculo
Sérgio Aparecido Braga da Cruz

1 Introdução

As geotecnologias estão cada dia mais presentes na agricultura brasileira. O monitoramento de culturas agrícolas, o levantamento e a caracterização de recursos naturais, o mapeamento do uso e da cobertura da terra, os zoneamentos e a avaliação de cenários são alguns exemplos nos quais o uso das geotecnologias tem sido presente. Geotecnologia é um tipo específico de tecnologia voltada a aquisição, armazenamento, processamento, visualização e análise de dados geoespaciais, que, por sua vez, permeiam, direta ou indiretamente, uma série de temas relacionados à dinâmica da atividade agrícola. Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas, Sistemas de Posicionamento Global (GPS, do inglês *Global Positioning System*) de navegação por satélite e Banco de Dados Geoespaciais são alguns exemplos de geotecnologias amplamente utilizadas por vários setores nas mais diversas aplicações para a agricultura e o meio ambiente.

A produção e a disponibilização dos dados geoespaciais têm aumentado significativamente nos últimos anos. A proliferação de repositórios de dados e de serviços geoespaciais na internet, os avanços no processamento e no armazenamento de dados em estruturas de nuvens computacionais, a adoção cada vez maior de padrões para representação da geoinformação, o aumento do

número de sensores dos mais variados tipos e finalidades e a presença de GPS nos dispositivos móveis, que favorece a coleta georreferenciada de diferentes tipos de dados, são alguns exemplos que explicam o crescente uso dos dados geoespaciais pela sociedade em geral. Além do enorme volume de informações, o contexto atual na produção desses dados com localização geográfica é caracterizado pela velocidade com que eles são produzidos. Ademais, com os avanços tecnológicos, as informações e os dados georreferenciados estão cada vez mais acessíveis, tornando-se estratégicos na tomada de decisão na agricultura e nas questões relacionadas à gestão dos territórios.

Na agricultura digital, as geotecnologias assumem grande importância, pois permitem verificar a variabilidade temporal e espacial, executar a rastreabilidade da produção em todos os elos da cadeia e o monitoramento das propriedades rurais, entre outras funções.

A Embrapa Informática Agropecuária, em especial por meio de seu Grupo de Pesquisas em Geotecnologias, tem atuado no tema ao longo dos últimos anos, tanto no uso e na aplicação das geotecnologias como em seu desenvolvimento, a partir de um corpo técnico multidisciplinar. Neste capítulo, são abordadas algumas geotecnologias utilizadas pela equipe nas atividades de P&D, sobretudo no atendimento às demandas governamentais relacionadas à agricultura e ao meio ambiente, em especial na gestão territorial e no desenvolvimento de ferramentas computacionais, principalmente para apoio a políticas públicas. Inicialmente, são apresentados os conceitos básicos sobre os dados geoespaciais e sua organização em ambientes computacionais, uma atividade primordial e necessária no desenvolvimento das ferramentas voltadas a esse tipo específico de dado. Em seguida, é apresentada uma breve caracterização de uma importante fonte de informação geoespacial: o sensoriamento remoto, fundamental em diversas atividades de monitoramento da superfície terrestre e presente nos projetos e nas iniciativas de pesquisas utilizando geotecnologias. Por fim, são descritas algumas ferramentas computacionais baseadas em Sistemas de Informações Geográficas na Internet, os chamados “WebGIS”, voltados para a visualização e a análise espacial dos dados geoespaciais e seu uso na gestão territorial.

2 Aplicações das geotecnologias no monitoramento agrícola e ambiental

2.1 Dados geoespaciais: conceitos básicos e sua organização

Dados geoespaciais são usados para representar fenômenos do mundo real associados à sua localização na superfície terrestre. Essa representação é feita por meio de três características: espacial, não espacial e temporal. A

característica espacial diz respeito à localização geográfica do fenômeno que o dado representa e à sua geometria; a não espacial identifica o fenômeno e suas propriedades; e a temporal informa quando o fenômeno ocorreu. Por exemplo, uma colhedora de grãos equipada com um monitor de colheita e um sistema de posicionamento global é capaz de registrar a quantidade de grãos colhidos, a localização geográfica no campo ao longo do deslocamento da máquina e os horários de registro dos fluxos de entrada de grãos na colhedora.

A característica espacial faz com que os dados geoespaciais possuam propriedades topológicas e geométricas. As primeiras baseiam-se nas posições relativas dos objetos no espaço, como conectividade, orientação, adjacência e contenção. As segundas representam a geometria das entidades, obtida a partir de suas feições, como pontos, linhas e polígonos. Tais propriedades permitem definir as relações entre dados geoespaciais, essenciais nas aplicações geográficas.

No contexto agrícola, os dados geoespaciais e seus relacionamentos podem ser utilizados em diversas atividades. Por exemplo, em escala regional, podem ser usados para representar os recursos naturais, como rios, lagos e áreas de proteção próximas a empreendimentos agrícolas ou, ainda, para representar dinâmicas de uso e cobertura da terra em uma mesma região ao longo do tempo. Já em escala local, podem representar características específicas em uma gleba produtiva, como a ocorrência de plantas invasoras e pragas, a fertilidade do solo ou a ocorrência de falhas de plantio.

Para que esse tipo de dado seja utilizado na resposta a questões relacionadas à agricultura, é necessária sua representação computacional, que pode ser feita por meio de estruturas de arquivos. Uma vez que o dado geográfico seja espacializado e computacionalmente representado, considerando suas características e seus relacionamentos espaciais, é possível executar diferentes análises, para prover as respostas desejadas. Dados geoespaciais podem ser computacionalmente representados por dois modelos: o vetorial e o matricial, também chamado de *raster*, conforme ilustra a Figura 1. No modelo vetorial a característica espacial é reproduzida por pontos, linhas ou polígonos no espaço bidimensional, definidos de maneira precisa com relação à sua localização, fronteira, interior e exterior. Grupos de pontos, linhas ou polígonos também podem ser utilizados para representar um único fenômeno. Já no modelo matricial o espaço é considerado como uma superfície regular, dividida em pixels (do inglês *picture element*) ou células com tamanho fixo, significando porções de uma área territorial. Um fator importante nesse modelo é sua resolução espacial, calculada a partir do tamanho de cada célula no mapa e da área de terreno que essa mesma célula é capaz de simbolizar.

Dados em grandes quantidades, sejam eles geoespaciais ou não, precisam ser organizados para sua manipulação eficiente. Nesse sentido, surge o conceito de Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), que

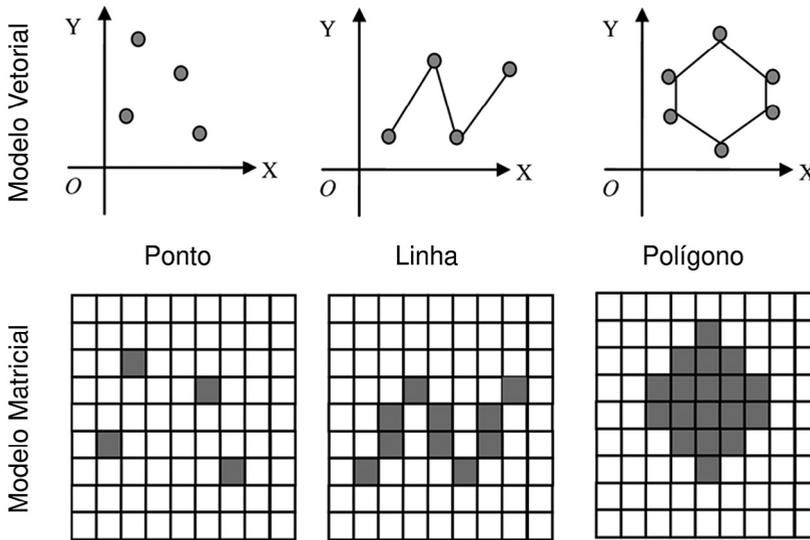


Figura 1. Modelos de representação vetorial e matricial.

Fonte: Adaptado de Li e Yan (2020).

são conjuntos de registros dispostos em estrutura regular que possibilita sua organização e a produção de informação. Os Bancos de Dados Geográficos funcionam da mesma forma, tendo como diferencial a capacidade de suportar feições geométricas em suas tabelas. Em geral, SGBD tradicionais podem manipular dados geoespaciais a partir de módulos ou extensões espaciais. Assim, a informação é georreferenciada, as operações sobre ela são espaciais e, geralmente, sua visualização é cartográfica. Exemplos de extensão espacial são o PostGIS, presente no SGBD público e de código aberto PostgreSQL, e a Oracle Spatial, presente no pacote comercial Oracle.

Os SGBD com extensão espacial implementam os tipos e os operadores espaciais, além das operações tradicionais, com independência e acesso eficiente, compartilhamento de dados e redução de redundância, integridade e segurança, administração uniforme, desenvolvimento de aplicações em tempo reduzido e acesso concorrente. Essas características facilitam a tarefa do desenvolvedor de aplicações geográficas, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que serão discutidos no item 2.3 deste capítulo.

Os primeiros SGBD geográficos tratavam de maneira eficiente apenas os dados representados no modelo vetorial, oferecendo formas de armazenamento e operações para sua manipulação. Por outro lado, extensões espaciais para o tratamento de dados no modelo matricial, como as imagens de satélite, foram desenvolvidas e estão presentes em vários sistemas de banco de dados geográficos. Um exemplo é WKT *Raster (Well-Known Text)*, uma extensão do PostGIS, que possibilita armazenar e analisar os dados matriciais de maneira mais eficiente e prática.

A organização computacional dos dados geoespaciais, seja por um banco de dados geográfico, ou por qualquer outro tipo de estrutura, possibilita a sua manipulação por diferentes geotecnologias disponíveis, como SIG, WebGIS e ferramentas para sensoriamento remoto, as quais serão abordadas nos próximos itens deste capítulo.

2.2 Sensoriamento remoto

Na literatura podem ser encontradas diversas definições para o termo sensoriamento remoto. A *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS), uma das mais importantes sociedades que reúne pesquisadores do mundo inteiro sobre esse tema, adotou a definição de Colwell (1983), segundo a qual o sensoriamento remoto pode ser entendido como a medição ou a aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo. De acordo com Jensen (2007), essa medição ou aquisição pode ser realizada *in situ*, por meio de equipamentos levados ao campo, ou de maneira mais remota, a partir de equipamentos instalados em veículos aéreos em nível suborbital, como balões, aviões e drones, e em nível orbital, como os satélites.

Os sensores remotos imageadores são aqueles mais encontrados a bordo das plataformas orbitais, em altitudes que variam entre 200 e 36 mil quilômetros. Esses sensores transformam a energia eletromagnética emitida ou refletida pela superfície terrestre em um sinal analógico, que é processado e convertido para a construção de uma imagem digital. Cada elemento que forma a imagem, o chamado pixel, apresenta um valor relativo à quantidade de energia refletida ou emitida por uma parcela da superfície terrestre. O tamanho dessa parcela da área terrestre observada depende da resolução espacial do sensor, variando desde centímetros a quilômetros, em função do tipo e da finalidade de cada instrumento.

Além da resolução espacial, outras características dos sensores são levadas em consideração na escolha do tipo de imagem a ser utilizada em cada aplicação, como: a resolução temporal, que define o tempo de revisita do sensor a um mesmo local; a resolução espectral, que define as larguras e as quantidades de faixas espectrais que o sensor é capaz de “enxergar”; e a resolução radiométrica, que define a capacidade do sensor de distinguir diferentes níveis digitais, ou seja, a eficiência do sistema em detectar e registrar diferenças na energia refletida ou emitida pelos alvos terrestres.

Atualmente, há uma variedade de sensores em funcionamento, a bordo de plataformas orbitais desenvolvidas por governos ou empresas privadas, gerando produtos com diferentes detalhamentos da superfície, com distintas frequências de passagem e com diferentes custos de aquisição. Em geral, as aplicações de larga escala para fins governamentais fazem uso de dados

públicos disponibilizados de forma irrestrita e gratuita por repositórios oficiais na internet.

O programa governamental mais bem sucedido para a observação remota de recursos terrestres é o ETRS (*Earth Resources Technology Satellite*), implementado na década de 70 pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), a agência espacial americana. Esse programa, que posteriormente passou a se chamar Landsat, é responsável pelo lançamento de oito plataformas orbitais no espaço, munidas de sensores imageadores com média resolução espacial. Lançado em 2013, o Landsat-8 é a mais recente plataforma lançada dessa família de satélites, levando a bordo o sensor OLI (*Operational Terra Imager*), cujas imagens são disponibilizadas numa resolução espacial de 30 metros e passam por processos de correção atmosférica, que reduz a influência de fatores atmosféricos, e de ortorretificação, que remove os efeitos do relevo terrestre, melhorando suas qualidades radiométrica e geométrica, respectivamente. Outra importante missão da NASA é realizada pelo sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo dos satélites Terra e Aqua, em funcionamento desde o início da década de 2000 e que fornecem dados com grande periodicidade e baixo detalhamento espacial. Sua série histórica, que já contempla um período de mais de 20 anos de imagens, está disponível gratuitamente na forma de produtos terrestres, atmosféricos e oceânicos, pré-processados em três resoluções espaciais (250, 500 e 1000 metros), derivados de dados disponíveis a partir de 36 faixas espectrais.

O Brasil também figura entre os países produtores de dados de sensoriamento remoto para o monitoramento de recursos terrestres por meio do Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), fruto da parceria técnico-institucional com a China, iniciada no final dos anos 80, que envolveu o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Atualmente, a série de satélites CBERS, iniciada pelo CBERS-1 em 1999, conta com outros quatro satélites, o último deles lançado em dezembro de 2019. O CBERS-4A faz parte da segunda geração dessa família de satélites e apresenta sensores imageadores com diferentes características, produzindo imagens com detalhamentos entre 2 e 60 metros de resolução espacial. A série histórica das imagens CBERS está disponível no repositório oficial do INPE, um dos precursores dessa política de disponibilização pública e gratuita de imagens por meio de catálogos na internet.

A disponibilidade de imagens públicas com alta resolução espacial também vem crescendo nos últimos anos. Em 2014, a ESA (*European Space Agency*) lançou o Sentinel-1, um satélite provido de um sensor imageador ativo (radar). Atualmente, a série Sentinel possui seis satélites em órbita. No monitoramento da agricultura, o mais utilizado é o Sentinel-2, lançado em 2015, que conta com o sensor MSI (*Multispectral Instrument*) a bordo, que

gera imagens com resolução espacial de até 10 metros nas bandas do visível e infravermelho, com revisita a cada cinco dias, aliando bom detalhamento espacial e relativa frequência de observação.

O constante avanço das tecnologias na produção de componentes cada vez menores e mais eficientes vem representando uma tendência no mercado geoespacial com a nova geração das constelações de nanossatélites de observação da Terra, como os satélites privados PlanetScope, que oferecem uma combinação sem precedentes de imagens com resolução temporal diária e resolução espacial de três metros. Dessa forma, os nanossatélites podem apoiar o monitoramento de culturas agrícolas que requerem maior detalhamento espacial, como café e citros, bem como os sistemas ILPF, que integram lavoura temporária, pecuária e floresta plantada numa mesma área de produção.

Nos tópicos a seguir são apresentadas algumas iniciativas e projetos da Embrapa Informática Agropecuária e de seus respectivos parceiros, que envolveram diretamente o uso do sensoriamento remoto nos processos de monitoramento da superfície terrestre.

2.2.1 Séries temporais de imagens de satélite e o desenvolvimento do SATVeg

Nos últimos anos, as séries temporais de imagens de satélite têm sido cada vez mais utilizadas em uma vasta gama de aplicações para o monitoramento da superfície terrestre. No sensoriamento remoto, a abordagem espectro-temporal explora o curto tempo de revisita de alguns sensores orbitais e visa a aquisição mais frequente de informações espectrais da superfície terrestre, trazendo vantagens em relação ao enfoque tradicional, que se baseia em um conjunto restrito de imagens.

Nas análises multitemporais voltadas ao monitoramento da cobertura vegetal terrestre, são comumente utilizados os índices vegetativos, derivados de combinações matemáticas entre bandas espectrais dos sensores. Estes buscam realçar a presença e o vigor da vegetação e diminuir a influência do solo e de fatores atmosféricos. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) e o Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index* – EVI), propostos por Rouse et al. (1974) e Huete et al. (1994), respectivamente, são aqueles mais citados na literatura e que apresentam alta correlação com a biomassa verde e com a área foliar. Quando organizados e observados cronologicamente, esses índices espectrais podem ser utilizados para produzir gráficos temporais, visando representar as variações do vigor vegetativo ao longo do tempo. Entre os sensores orbitais mais utilizados nas análises multitemporais destaca-se o MODIS, cuja série temporal de mais de 20 anos de imagens apresenta boa consistência radiométrica e geométrica. A Figura 2 ilustra um exemplo de

um perfil temporal do índice vegetativo NDVI, obtido do sensor MODIS, e a respectiva interpretação sobre a dinâmica do uso e da cobertura da terra entre os anos de 2000 e 2018.

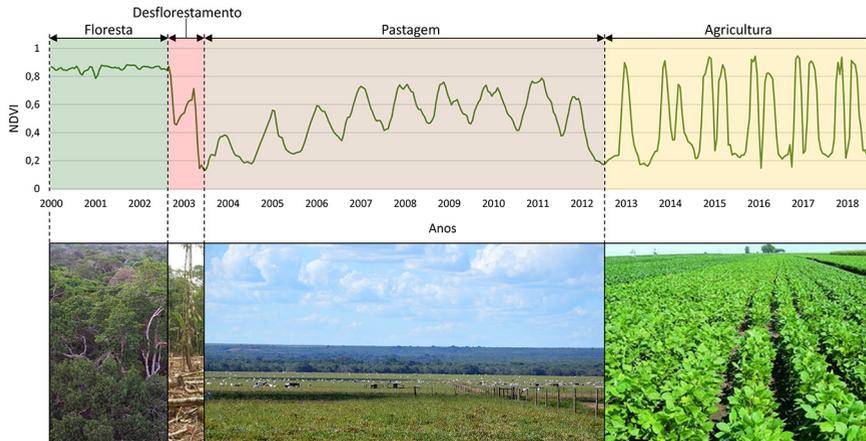


Figura 2. Perfil temporal do NDVI apresentando diferentes padrões decorrentes das transições do uso e da cobertura da terra no período entre 2000 e 2018.

Fonte: Adaptado de Embrapa Informática Agropecuária (2020a).

Neste exemplo é possível identificar diferentes padrões de comportamento do perfil temporal do NDVI ao longo da série histórica, considerando o detalhamento espacial das imagens do sensor MODIS de 6,25 ha (250 x 250 metros). Tais variações decorrem de mudanças da cobertura vegetal em um ponto selecionado no estado de Mato Grosso. Pela Figura 2 observa-se que, originalmente, a área apresentava uma cobertura florestal natural, sendo desflorestada no final de 2002 e ocupada por atividade de pastagem até o final de 2012, quando passou a ser utilizada para o cultivo agrícola temporário, com sucessivos ciclos de safra e safrinha. Cada segmento do gráfico do NDVI reflete as variações fenológicas características de cada tipo de cobertura vegetal, sendo possível identificar as rupturas e as trocas dos padrões, provenientes das transições sofridas ao longo do tempo.

Análises baseadas em séries temporais demandam a aquisição e o processamento de um considerável volume de dados derivados das imagens de satélite e envolvem atividades computacionais robustas. Nesse sentido, em 2011, a Embrapa Informática Agropecuária começou a investir esforços no desenvolvimento de uma plataforma Web capaz de fornecer perfis temporais dos índices vegetativos NDVI e EVI do sensor MODIS para qualquer localidade do território brasileiro, sem a necessidade de o usuário realizar a aquisição de imagens ou a execução de qualquer tipo de processamento. Inicialmente voltada ao apoio de projetos vigentes na Embrapa, essa plataforma Web, que mais tarde passou a ser chamada de Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg), foi desenvolvida para atender a demanda por fornecimento instantâneo de perfis temporais de índices vegetativos pela

internet, a partir de uma plataforma de fácil acesso e visualização (Esquerdo et al., 2020).

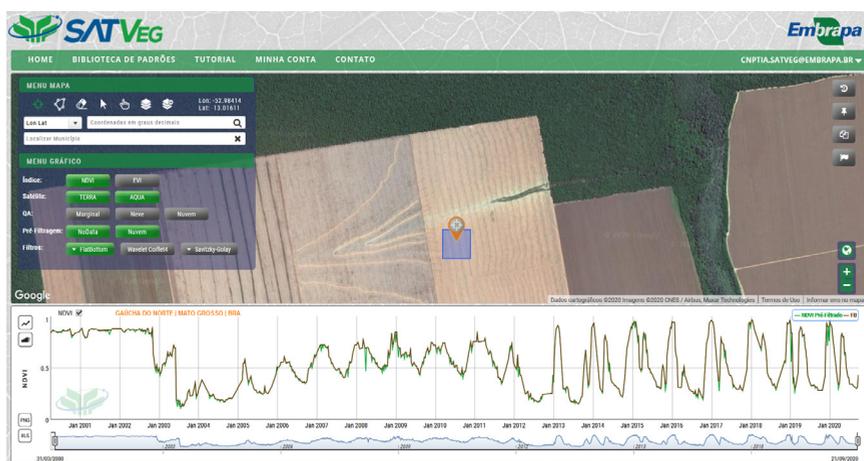
O processo de desenvolvimento do sistema passou por diversas fases e envolveu a adoção de diferentes modelagens de banco de dados, objetivando identificar a melhor forma para armazenar uma extensa série temporal de imagens de satélite e, ao mesmo tempo, permitir a consulta e a extração de dados de forma instantânea, a partir de uma localização geográfica fornecida pelo usuário. Os resultados alcançados nessas etapas mostraram-se promissores e, em 2014, a equipe da Embrapa decidiu tornar o sistema aberto à sociedade, de forma gratuita. O SATVeg passou então a ser acessado por um variado público, com diferentes interesses e finalidades de uso, despertando demandas por novas funcionalidades. Em 2016, foi iniciada uma parceria com a iniciativa privada, com o objetivo de desenvolver novas funcionalidades, expandir a área de cobertura do sistema para toda a América do Sul e criar uma nova identidade visual, resultando na atual versão do sistema, disponível no endereço www.satveg.cnptia.embrapa.br.

O SATVeg funciona de forma bastante intuitiva e pode ser utilizado por públicos pouco familiarizados com o sensoriamento remoto. A Figura 3 ilustra a tela principal do sistema, na qual o usuário interage com uma camada Google Maps para selecionar uma área de interesse e obter o perfil temporal do índice vegetativo escolhido (NDVI ou EVI), que é mostrado logo abaixo do mapa de referência. O sistema também oferece um conjunto de funcionalidades, como filtros de suavização das curvas, sobreposição de camadas ao mapa, biblioteca de padrões, tutorial de utilização, entre outras.

Com mais de sete mil usuários cadastrados atualmente, o SATVeg tem apoiado diversas atividades de monitoramento da superfície terrestre, como projetos de mapeamento do uso e de cobertura da terra em larga escala,

Figura 3.
Tela principal
do SATVeg.

Fonte: Embrapa
Informática
Agropecuária
(2020a).



monitoramento do potencial produtivo de culturas agrícolas, detecção de desmatamentos, fiscalizações, entre outras. Recentemente, o SATVeg foi incluído na portaria nº 4.796 do Banco Central do Brasil como ferramenta remota para apoio à comprovação de perdas agrícolas no âmbito do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), uma vez que o sistema pode dar indicativos sobre a condição da biomassa das lavouras e apoiar as decisões sobre questões relacionadas ao pagamento do seguro agrícola.

Desenvolvido a partir de softwares livres, o banco de dados do SATVeg vem sendo alimentado periodicamente com as novas imagens do sensor MODIS, e os componentes de software têm sido mantidos atualizados pela equipe da Embrapa Informática Agropecuária. Uma API (*Application Programming Interface*) também foi desenvolvida para fornecer os dados do sistema de forma programática, de modo a alimentar sistemas de terceiros que façam uso dos perfis temporais dos índices vegetativos em diversas outras aplicações.

2.2.2 Monitoramento do uso e da cobertura da terra - Projeto TerraClass

As bases teóricas do desenvolvimento sustentável pressupõem ações e políticas públicas para a promoção do desenvolvimento econômico, harmonizadas com garantias para a preservação dos ecossistemas naturais, da sua biodiversidade e de seus serviços. No Brasil, um dos países com as maiores extensões de terras agricultáveis ainda não exploradas do planeta, a expansão da fronteira agrícola e o desenvolvimento tecnológico da atividade agropecuária têm sido acompanhados por intensos debates nacionais e internacionais sobre essa temática.

Preocupado com os impactos negativos no mercado de *commodities* agrícolas, gerados pela divulgação de dados que mostravam que a agricultura avançava rapidamente sobre as florestas da Amazônia, o Governo Federal solicitou à Embrapa e ao INPE, instituições públicas com conhecimento acumulado e competência sobre o tema, a produção de uma nova visão, com base em dados científicos e imparciais, sobre o uso e a cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal. Como resultado dessa mobilização institucional, surgiu o Projeto TerraClass Amazônia (Almeida et al., 2016), com o objetivo de produzir, sistematicamente, mapeamentos do uso e da cobertura da terra na região, viabilizando o monitoramento dos impactos das ações e das políticas públicas do Governo Federal focadas tanto no desenvolvimento e na intensificação da atividade agrícola quanto na preservação dos sistemas naturais.

Desenvolvido e implementado por instituições da esfera federal, o TerraClass gera dados oficiais sobre a dinâmica do uso e da cobertura da terra, ampliando fundamentalmente a capacidade de gestão no território

amazônico e reforçando a soberania nacional sobre uma região de disputas explícitas entre setores, agentes e atores, nacionais e internacionais, cujos interesses são movidos por questões econômicas, sociais e ambientais, entre outras.

Atualmente, estão disponíveis sete mapeamentos, referentes aos anos-base 1991, 2000, 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014, executados pelas equipes técnicas da Embrapa Informática Agropecuária, Embrapa Amazônia Oriental e Centro Regional da Amazônia (CRA/INPE). Para organizá-los, armazená-los e torná-los acessíveis aos usuários, a Embrapa Informática Agropecuária desenvolveu um portal de acesso público e gratuito, apresentado no tópico 2.3.2 deste capítulo.

A área de abrangência dos mapas compreende toda a extensão da Amazônia Legal, embora a identificação das classes temáticas seja realizada somente nas áreas desflorestadas mapeadas pelo Programa de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES). As classes temáticas contempladas pelo TerraClass são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1.
Classes temáticas mapeadas pelo TerraClass.

Fonte: Projeto TerraClass.

| Classes | Descrição |
|--|--|
| Cultura agrícola temporária | Culturas agrícolas que apresentam um ou mais ciclos de produção no ano-safra de referência do mapeamento, tais como soja, milho, algodão, entre outras. |
| Cultura agrícola semiperene | Culturas agrícolas que apresentam ciclo de produção superior ao ano-safra de referência do mapeamento, representadas, principalmente, pela cana-de-açúcar. |
| Cultura agrícola perene | Culturas agrícolas permanentes, apresentando diferentes estádios de maturidade e cobertura vegetal, tais como plantações de café, citros, seringueira, entre outras. |
| Pastagem cultivada arbustiva arbórea | Pastagens com predomínio de vegetação lenhosa, composta por espécies arbustivas ou arbóreas, além das espécies herbáceas cultivadas. |
| Pastagem cultivada herbácea | Pastagens com predomínio de vegetação forrageira herbácea, composta por espécies cultivadas. |
| Silvicultura | Culturas de espécies florestais de interesse comercial, representadas por formações arbóreas monoespecíficas, tais como eucalipto e pinus. |
| Vegetação natural florestal secundária | Formação vegetal natural em processo de regeneração, caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas que já tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento de desflorestamento da Amazônia. |

Continua...

| Classes | Descrição |
|--------------------------|---|
| Mineração | Áreas de extração mineral caracterizadas pela presença de solos expostos e alterações da paisagem local. |
| Área urbana | Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural, apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos. |
| Outras áreas urbanizadas | Áreas com infraestrutura diferenciada, com menor adensamento de arruamentos, casas e outros equipamentos industriais, tais como galpões, usinas, armazéns, entre outros. |
| Corpos d'água | Corpos d'água naturais, tais como rios, lagos, açudes e represas. |
| Outros | Áreas que não se enquadram nas demais classes temáticas, tais como afloramentos rochosos, praias fluviais, bancos de areia, entre outras. |
| Não observado | Áreas não mapeadas em função da presença de nuvens ou queimadas nas imagens de satélite utilizadas. |
| Desflorestamento do ano | Áreas cuja cobertura vegetal natural foi suprimida durante o ano de referência do mapeamento. |

Tabela 1.
Continuação.

Os mapeamentos foram realizados na escala 1:100.000 (cada centímetro no mapa em papel equivale a um quilômetro no mundo real) a partir das imagens públicas com detalhamento espacial variado. A principal base de imagens é formada por cenas do satélite Landsat, com resolução espacial de 30 metros. Séries temporais de imagens do sensor MODIS, com resolução espacial de 250 metros, também foram usadas no processo de mapeamento da classe de agricultura temporária.

Diferentes métodos foram empregados nas atividades de mapeamento das classes temáticas, de acordo com a complexidade dos alvos e o conhecimento técnico das instituições envolvidas. Esses métodos envolveram diversos tipos de abordagens, desde as mais complexas, baseadas em técnicas de aprendizado de máquina, até as mais simples e laboriosas, como a interpretação visual de imagens. A agricultura temporária, que apresenta elevada dinâmica espectral e ocorre em períodos específicos do ano, foi mapeada a partir da abordagem espectro-temporal, tratada no item 2.2.1 deste capítulo. Nesse caso, classificadores baseados em aprendizado de máquina foram treinados com amostras de campo e aplicados a séries temporais de índices vegetativos para a detecção de alvos com comportamentos temporais específicos. Já as áreas de vegetação secundária foram mapeadas com base em um Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) aplicado às áreas de desflorestamento para identificar as frações de vegetação, solo e sombra e separar as áreas de

vegetação secundária das demais. Já para outros tipos de classes temáticas, como pastagens, silvicultura, mineração, áreas urbanas, entre outras, a identificação e o mapeamento foram feitos a partir de interpretações visuais das imagens Landsat, por conta da grande variação de padrões e da dificuldade de se automatizar um método de classificação.

Em função do caráter estratégico das informações produzidas pelo TerraClass ao longo da série histórica de mapeamentos para a Amazônia Legal, o Governo Federal solicitou a ampliação da área de cobertura dos mapeamentos para o bioma Cerrado, outra porção territorial fortemente pressionada pela expansão da atividade agrícola e monitorada por organismos nacionais e internacionais. Para o atendimento dessa demanda, uma nova articulação institucional, envolvendo instituições de pesquisa, de desenvolvimento e de inovação, universidades e órgãos governamentais, foi consolidada para a execução de um mapeamento do uso e da cobertura da terra do bioma Cerrado, referente ao ano base de 2013. Atualmente, novas versões do TerraClass Cerrado, referentes aos anos base 2016, 2018 e 2020, vêm sendo executadas para a atualização dos mapeamentos e para a formação de uma série histórica que permita análises das dinâmicas de uso e cobertura da terra nesse bioma.

Desde a primeira demanda originada pelo Governo Federal, houve um constante e significativo avanço na área de tecnologia de informação, tanto no que diz respeito a novos sensores embarcados em satélites, aviões, drones, entre outros quanto a novos dispositivos de armazenamento, processamento, análise e distribuição de dados e informações digitais. Nesse sentido, grande parte dos esforços e do foco da equipe de coordenação e de execução do TerraClass tem sido direcionada para a atualização dos dados das séries históricas dos mapeamentos da Amazônia e do Cerrado, a expansão dos mapeamentos para os demais biomas brasileiros e a promoção de uma maior automatização dos processos de mapeamento, de forma a proporcionar reduções significativas no custo e no tempo de execução dos trabalhos.

2.2.3 Projeto GeoMS

Entre 2007 e 2012 o Governo do Estado de Mato Grosso do Sul desenvolveu com a Embrapa Informática Agropecuária e parceiros o projeto GeoMS, cujo objetivo geral foi estruturar um sistema de informação georreferenciada para monitoramento do espaço rural. Com isso esperava auxiliar os governos estaduais a melhorar sua eficiência na tomada de decisão sobre a implantação de projetos estratégicos, utilizando como estudo de caso o estado de Mato Grosso do Sul. Essa demanda surgiu a partir de necessidades específicas do estado, como mitigar problemas associados às mudanças climáticas, evitar o desperdício de recursos naturais e reduzir desmatamentos e emissões de carbono. A iniciativa também foi originada pela preocupação com as

questões inerentes ao desenvolvimento sustentável e à conservação do meio ambiente, além de visar melhorar o sistema de gestão ambiental do estado, tornando mais eficazes e transparentes os processos e os procedimentos de licenciamento ambiental.

Ao longo de sua vigência, as equipes do GeoMS desenvolveram e implantaram o Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (Sisla), uma plataforma Web de informações geográficas para organização de dados geoespaciais do estado de Mato Grosso do Sul e apoio à decisão, que é apresentada no tópico 2.3.2 deste capítulo. Para que o sistema pudesse fornecer informações confiáveis para o apoio ao licenciamento ambiental, foi necessária a execução do mapeamento do uso e da cobertura da terra e o detalhamento das informações sobre recursos hídricos no estado, atividades fortemente baseadas no uso do sensoriamento remoto.

O mapeamento do desmatamento e da cobertura vegetal e do uso da terra foi realizado na escala de 1:100.000 para o ano de 2007, considerado o marco zero no processo de monitoramento desse tipo de informação no estado de Mato Grosso do Sul. As atividades foram realizadas pela equipe da Embrapa Informática Agropecuária a partir de imagens do satélite CBERS, oriundas da Câmera Imageadora de Alta Resolução (*Charge Coupled Device* – CCD), com resolução espacial de 20 metros, a bordo da plataforma CBERS-2B. O mapeamento foi individualizado em 64 classes (Silva et al., 2011a) no nível III, de acordo com o sistema brasileiro de classificação da vegetação, podendo ser agregadas em 15 classes de fitofisionomias, considerado o nível II, a saber: 1-Vegetação Ciliar (arbórea, arbustiva, herbácea); 2-Floresta Estacional Semidecidual; 3-Floresta Estacional Decidual; 4-Savana Cerrado; 5-Savana Estépica (chaco); 6-Formações Pioneiras (arbórea, arbustiva e herbácea); 7-Contatos Florísticos (ecótono e enclave); 8-Refúgios Vegetacionais (comunidades relíquias); 9-Vegetação Secundária; 10-Agricultura Anual; 11-Agropecuária; 12-Agricultura Semiperene; 13-Silvicultura; 14-Pecuária (pastagem plantada); e 15-Outras Áreas Antrópicas (influência urbana, mineração, várzeas ocupadas).

Atenção especial foi dada à identificação e ao mapeamento das pastagens cultivadas, que no estado de Mato Grosso do Sul representavam 16 milhões de hectares. Destes, cerca de 57% encontravam-se em diferentes estados de degradação, afetando sensivelmente a economia pecuária, necessitando de um processo de recuperação, por meio da realização de trabalhos de revegetação ou mesmo enriquecimento da área (Silva et al., 2011b). Assim, foram identificados e mapeados, na escala de 1:50.000, quatro níveis de pastagem em função de sua degradação, em áreas amostrais: não degradada (I), degradação moderada (II), degradação forte (III) e degradação muito forte (IV). Nessa atividade foram empregadas imagens fusionadas dos sensores HRC

(*High Resolution Camera* ou Câmera Pancromática de Alta Resolução) com 2,5 metros de resolução e CCD, ambas a bordo do satélite CBERS-2B.

As informações sobre recursos hídricos do estado de Mato Grosso do Sul também foram atualizadas e aprimoradas a partir de dados do sensoriamento remoto, na escala de 1:100.000. Esse processo contou com a atualização da rede de drenagens e o detalhamento dos limites territoriais das Unidades de Planejamento e Gerenciamento de recursos hídricos, bem como com a criação de mapas de declividade, com base nas classes definidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Tais informações, além de apoiarem a análise espacial do entorno do empreendimento cujo licenciamento foi requerido, também auxiliam outros setores ou áreas do governo. Por exemplo, dados de altimetria e declividade auxiliam na aplicação do Código Florestal Brasileiro em relação às Áreas de Preservação Permanente (APP) de encostas e de topos de morro; a delimitação das bacias hidrográficas ou das unidades de planejamento e gestão e a atualização da rede de drenagem auxiliam na aplicação do plano estadual de recursos hídricos. Ambas também são insumos para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do estado.

Outro importante resultado do projeto GeoMS foi o treinamento da equipe do Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (Imasul), tanto no uso do Sista quanto na utilização de imagens de satélite e mapeamento da cobertura vegetal e do uso da terra. Os resultados são amplamente utilizados por gestores, consultores, fiscais ambientais, analistas ambientais, empreendedores, pesquisadores, professores, estudantes, entre outros.

2.3 Sistemas de informações geográficas na web

Os SIG são utilizados há muitos anos em ambientes de decisão, provendo aos usuários facilidades de visualização, armazenamento e análise de dados geoespaciais. Esta é sua principal diferença em relação aos sistemas de informações convencionais: sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos quanto as geometrias dos diferentes tipos de dados inseridos (Casanova et al., 2005). Por meio dos SIG é possível inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais textuais, imagens de satélites, dados obtidos de GPS, malhas vetoriais e mapas temáticos, além de oferecer mecanismos para combinar essas informações e prover análises espaciais, cujos resultados podem nortear a tomada de decisão em diversas aplicações. Esse ferramental está disponível a partir de vários pacotes computacionais, com opções comerciais e gratuitas, compatíveis com diversos dados matriciais e vetoriais.

Ao longo dos anos, os SIG incorporaram novas tecnologias e adotaram arquiteturas inovadoras, acompanhando a evolução das áreas de computação e de desenvolvimento de sistemas. A partir desse processo evolutivo,

surgiram os WebGIS (do inglês *Web Geographic Information System*), cuja finalidade é a mesma dos SIG convencionais, mas que podem ser acessados por meio de um navegador de internet. No WebGIS o sistema de informação é implementado na arquitetura cliente-servidor, na qual a parte “servidor” é responsável pelo tratamento e pelo armazenamento dos dados geoespaciais e a parte “cliente” corresponde a um navegador Web, que apresenta uma interface para visualização dos dados e interação com o sistema (Smith et al., 2020). Uma importante característica de um WebGIS é a forma como se executa a comunicação entre a interface gráfica do cliente e o SGBD geográfico do servidor, que armazena as informações geoespaciais. Para tanto, é utilizada uma camada intermediária entre a aplicação e o SGBD geográfico, composta essencialmente pelos servidores de mapas. Esses servidores podem ser vistos como APIs capazes de coletar os dados diretamente de SGBD geográficos e entregá-los à aplicação acessada pelo usuário final de maneira padronizada, por meio de serviços, como os que são implementados pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC). Desse modo, os servidores de mapas permitem a utilização de um mesmo conjunto de dados geográficos por diferentes aplicações.

Com a adoção dessa arquitetura cliente-servidor, o WebGIS possibilita o acesso aos seus recursos por qualquer usuário conectado à internet, sem precisar instalar programas específicos em seu computador ou mesmo adquirir bases de dados geoespaciais. Um WebGIS pode ser caracterizado tanto como uma ferramenta para tratamento genérico de dados geoespaciais, de forma semelhante a um SIG tradicional, quanto como um ambiente para exploração de um conjunto de dados pré-definido, sobre o qual é possível realizar operações projetadas para atender perfis de usuários específicos.

Neste tópico, apresentamos algumas soluções de WebGIS desenvolvidas sob coordenação da equipe técnica da Embrapa Informática Agropecuária para o atendimento de demandas governamentais relativas ao monitoramento do uso e da cobertura da terra, o licenciamento ambiental e a organização de informações geoespaciais para o ZEE dos estados da Amazônia.

2.3.1 GeoPortal e WebGIS TerraClass

A atual coleção de mapas do Projeto TerraClass, apresentada no item 2.2.2, serve de apoio à formulação de políticas públicas, à gestão territorial e a ações relacionadas à preservação da biodiversidade nacional e à manutenção da qualidade dos serviços ecossistêmicos, provenientes dos diferentes setores da sociedade civil e do Governo Federal. Os mapeamentos já estavam disponíveis na internet desde seu lançamento, mas em formato bruto, o que exigia dos usuários baixá-los no computador e utilizar um SIG para processá-los, para então realizar os seus estudos. Além disso, considerando o público bastante diversificado de usuários desse tipo de informação, nem sempre familiarizados com o geoprocessamento, havia uma crescente demanda pelo

desenvolvimento de ferramentas amigáveis que pudessem fornecer mecanismos simples de análise das dinâmicas territoriais na Amazônia Legal.

Diante do grande volume dos dados geoespaciais existentes, bem como das dificuldades operacionais que exigiam um trabalho prévio de processamento computacional para organizar e adequar os dados às áreas de interesse dos usuários, foi desenvolvido o GeoPortal TerraClass (Figura 4). Essa plataforma digital consiste de: uma página de entrada com uma apresentação geral do Projeto TerraClass; a descrição e a caracterização da legenda das classes temáticas de mapeamento; um mecanismo para obtenção dos dados geoespaciais de uso e cobertura da terra, em diferentes recortes geográficos, no formato matricial ou vetorial; e o acesso ao WebGIS TerraClass, que é uma tecnologia para facilitar as análises na tela do computador.

O WebGIS TerraClass (Figura 5) é um sistema Web de geoinformações que provê ferramentas interativas para visualização, análise e interoperabilidade dos dados geoespaciais sobre o uso e a cobertura da terra identificados em áreas desflorestadas da Amazônia Legal. O sistema é voltado desde ao usuário comum até ao técnico com conhecimentos avançados em

Figura 4.

Página de entrada do GeoPortal TerraClass.

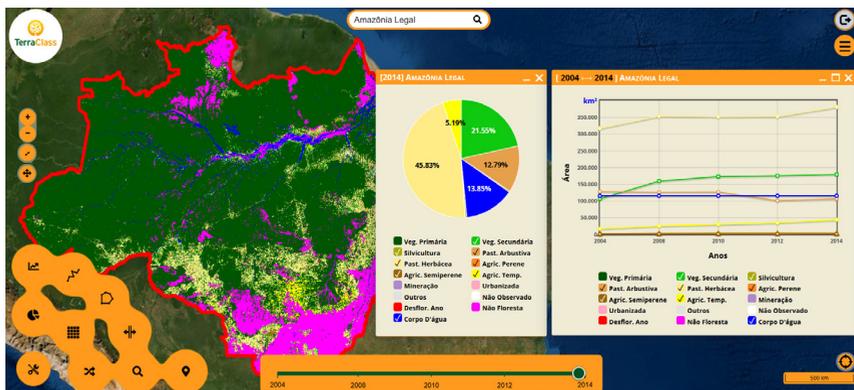
Fonte: GeoPortal TerraClass (2020).



Figura 5.

WebGIS TerraClass apresentando o gráfico de setores do mapeamento de 2014 e o gráfico de evolução de 2004 a 2014 da Amazônia Legal.

Fonte: GeoPortal TerraClass (2020).



geotecnologias, propiciando comparações simples e análises espaciais complexas em toda a série histórica dos mapeamentos disponíveis. Para utilização das ferramentas, deve-se selecionar um objeto associado aos recortes territoriais disponíveis, que podem ser da Amazônia Legal, das Unidades da Federação, dos Municípios ou das Unidades de Planejamento Hídrico (UPH).

As ferramentas de visualização permitem: selecionar o ano de mapeamento do uso e da cobertura da terra; comparar mapeamentos lado a lado entre pares de anos percorrendo o mapa com um controle deslizante que mostra cada ano em um dos lados de uma linha vertical; e observar detalhes no mapeamento aumentando a aproximação numa determinada área de interesse.

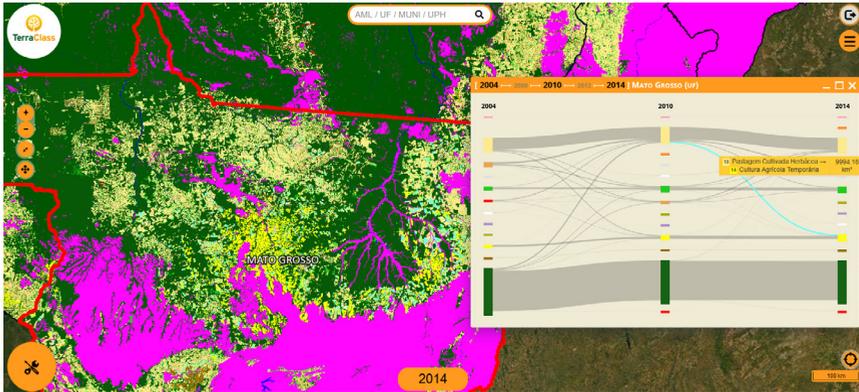
As ferramentas de análise geram: gráficos de setores de um mapeamento em que os setores representam todas as classes de uso e cobertura da terra por fatias proporcionais às respectivas frequências; matriz de transições que apresenta as probabilidades das classes de uso e cobertura da terra de permanecerem nas mesmas classes ou mudarem para outras, mostrando a dinâmica temporal em qualquer combinação entre pares de anos do mapeamento; diagrama de transições baseado no fluxograma de Sankey (Schmidt, 2008), em que os nós constituem a área de uma determinada classe de uso e cobertura da terra num ano e as arestas representam o fluxo de transições de áreas entre as classes ao longo dos anos, possibilitando a espacialização das áreas de mudança sobre os mapas; e o gráfico de evolução que mostra a variação da área de todas as classes de uso e cobertura da terra em toda a série histórica dos mapeamentos.

A Figura 6 exemplifica o diagrama de transições de Sankey do estado de Mato Grosso a partir da seleção dos anos 2004, 2010 e 2014, possibilitando uma análise detalhada das transições de uso e cobertura da terra no período. Posicionando-se o cursor sobre as linhas, pode-se observar os valores das transições entre classes temáticas de interesse. No exemplo ilustrado na Figura 6, a linha realçada na cor ciano representa a mudança de 9.948,18 km² da classe temática Pastagem Cultivada Herbácea em 2010 para a classe temática Cultura Agrícola Temporária em 2014, que também aparece espacializada sobre o mapeamento de 2014 na mesma coloração, indicando o aumento das áreas agrícolas associado à conversão de áreas antes destinadas à pecuária.

O WebGIS TerraClass possui interoperabilidade com SATVeg, acessado por meio da seleção de um ponto a partir de um mapeamento de uso e cobertura da terra, o que automaticamente aciona uma ponte de integração da aplicação e exibirá no SATVeg o perfil temporal do índice vegetativo do sensor MODIS da respectiva localização geográfica, expressando as variações da biomassa vegetal ao longo do tempo.

Figura 6. Diagrama de transições de Sankey gerado para os anos 2004, 2010 e 2014 do estado de Mato Grosso.

Fonte: GeoPortal TerraClass (2020).



O GeoPortal TerraClass está disponível para acesso livre no endereço www.terraclass.gov.br e tem como público-alvo usuários de dados que necessitam conhecer e analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal, com foco em gestão territorial, tais como gestores públicos, pesquisadores, professores, alunos, profissionais liberais, extensionistas, associação de produtores, sindicatos rurais, entre outros .

2.3.2 Sistema interativo de suporte ao licenciamento ambiental (Sisla)

O Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (Sisla) é uma aplicação WebGIS que permite a coleta, a organização, a integração e o gerenciamento de informações georreferenciadas relacionadas a processos de licenciamento ambiental por parte de órgãos governamentais. O principal objetivo dessa aplicação é possibilitar aos órgãos governamentais o monitoramento completo do processo de licenciamento ambiental em suas diversas etapas, que vão desde a análise georreferenciada do entorno do empreendimento solicitante de licenciamento até o suporte à tomada de decisão para deferimento do processo. O maior benefício proporcionado pelo uso de aplicações como o Sisla para esse tipo de atividade é a capacidade de prover maior agilidade, transparência e segurança na tramitação dos processos, pois as análises são baseadas em dados oficiais do governo e ficam disponíveis gratuitamente na própria aplicação. Assim, o próprio empreendedor solicitante do licenciamento ambiental pode verificar, pela internet, se o seu empreendimento está ou não em conformidade geográfica e ambiental, antes mesmo de submeter o processo ao órgão governamental responsável.

O Sisla (sisla.imasul.ms.gov.br) foi implantado no estado de Mato Grosso do Sul em outubro de 2008, quando os processos relacionados a pedidos de licenciamento ambiental para atividades em setores como infraestrutura, agropastoril, mineração, turismo, indústria, saneamento, pesca, fauna e florestas passaram a ser analisados pelo estado com o suporte do WebGIS.

Especificamente para o setor agropastoril, são passíveis de licenciamento ambiental no estado de Mato Grosso do Sul atividades como construção de barragens, estabelecimento de infraestrutura de irrigação, confinamentos para bovinos, equinos, ovinos e caprinos e construção de silos, armazéns e tanques para aquicultura, conforme definido pelo Imasul.

No desenvolvimento do Sisla foram utilizados softwares livres voltados para a temática de geotecnologia, como o I3Geo (Software Público Brasileiro, 2020; Speranza et al., 2011). Isso permite sua adaptação, com baixo custo, às demandas e às necessidades locais de cada governo, e até mesmo sua integração a sistemas corporativos para tramitação de processos. O principal módulo do sistema – a análise e a geração de relatório de entorno de empreendimento – permite ao empreendedor solicitante de licenciamento ambiental realizar o envio dos mapas georreferenciados de sua propriedade, contendo os limites do empreendimento, áreas de proteção permanente e afins, conforme regulamentado pelo órgão governamental. A partir desses mapas, o Sisla realiza consultas geoespaciais para verificar a proximidade ou a intersecção das áreas do empreendimento com relação a áreas protegidas pelo governo, tais como terras indígenas e unidades de conservação, além de análises de declividade para as áreas que compõem o empreendimento (Figura 7), gerando relatórios de análise espacial (Figura 8).

Outros módulos do Sisla foram desenvolvidos para acesso interno e exclusivo dos técnicos dos órgãos governamentais, como o cadastro e a consulta de andamento de processos por atividade solicitada; a consulta geoespacial para a geração de relatórios gerenciais contendo a distribuição espacial e a tramitação dos processos; e a análise técnica visual e individual de processos que permite ao especialista emitir um parecer sobre o deferimento ou não do processo (Figura 9).

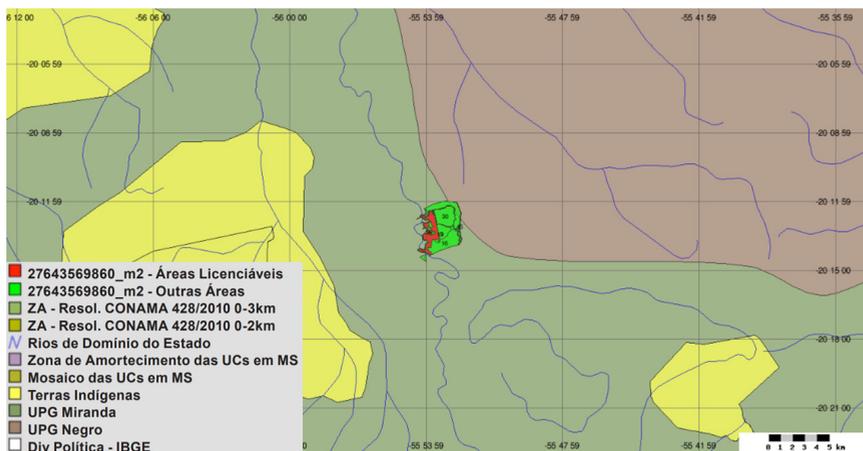


Figura 7. Mapa contendo os limites da propriedade onde deverá ser instalado o empreendimento e as áreas protegidas pelo governo.

Fonte: Silva et al. (2011b).

Figura 8.

Exemplo de relatório gerado pelo Sisla, com a identificação de áreas protegidas internas ou próximas à propriedade.

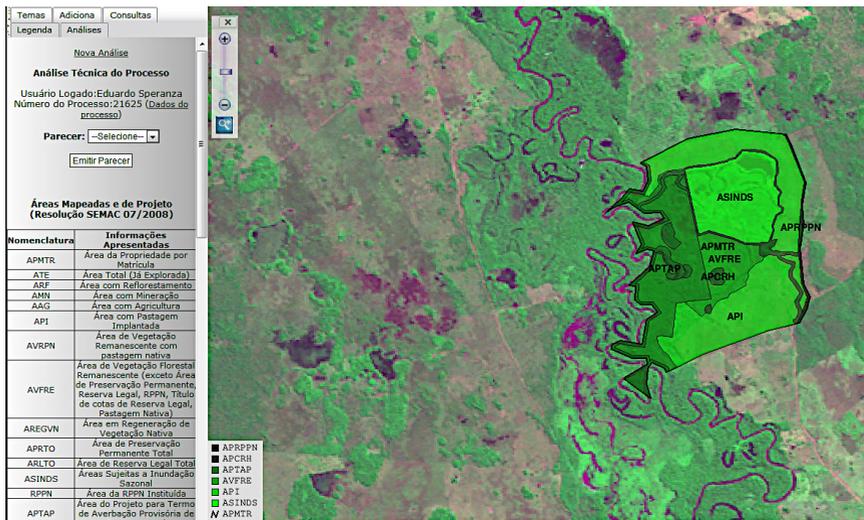
Fonte: Silva et al. (2011b).

| Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Zonas de Amortecimento, ZAs (Resolução Conama 428 0-2km) e ZAs (Resolução Conama 428 0-3km) internas à Propriedade | | |
|--|--|-----------|
| | Nome | Distância |
| Nada encontrado | | |
| Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Zonas de Amortecimento, ZAs (Resolução Conama 428 0-2km) e ZAs (Resolução Conama 428 0-3km) que contém totalmente a Propriedade | | |
| | Nome | Distância |
| Nada encontrado | | |
| Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Zonas de Amortecimento, ZAs (Resolução Conama 428 0-2km) e ZAs (Resolução Conama 428 0-3km) próximas até 15 km da Propriedade | | |
| | Nome | Distância |
| Unidades de Conservação encontradas | | |
| Nada Encontrado | | |
| Terras Indígenas encontradas | | |
| Taunay-Ipegue | 36 - Área do Projeto para Termo de Averbação Provisória de Reserva Legal (APTAP) | 11,012 km |
| Taunay-Ipegue | 36 - Área do Projeto para Termo de Averbação Provisória de Reserva Legal (APTAP) | 7,061 km |
| Zonas de amortecimento encontradas | | |
| Nada Encontrado | | |
| ZAs (Resol. CONAMA 428 0-2km) encontradas | | |
| Nada Encontrado | | |
| ZAs (Resol. CONAMA 428 0-3km) encontradas | | |
| Nada Encontrado | | |

Figura 9.

Exemplo de análise técnica visual e individual de processo de licenciamento ambiental disponibilizada pelo Sisla.

Fonte: Silva et al. (2011b).



Nos quase 12 anos de funcionamento no estado de Mato Grosso do Sul, o Sisla possui, dentre os seus usuários cadastrados, profissionais de diversos órgãos governamentais, empresas privadas, consultores, universidades e bancos, que fazem uso do sistema para a solicitação de licenças ambientais, bem como para o acesso às suas informações geoespaciais. Diversas normativas publicadas pelo governo estadual, relacionadas ao licenciamento ambiental, incluem as análises realizadas pelo Sisla como pré-requisito, em todas as fases do processo de licenciamento ambiental. Desse modo, é possível afirmar que

a sua implantação no estado de Mato Grosso do Sul obteve êxito, podendo ser estendida a outros órgãos municipais, estaduais e federais.

2.3.3 SIAGEO Amazônia - Sistema Interativo de Análise Geoespacial da Amazônia Legal

A Amazônia Legal é uma região do Brasil que foi instituída por lei federal com o objetivo de viabilizar o planejamento econômico e a definição de políticas públicas e de proteção de biodiversidade dessa parte do território nacional, a qual abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do estado do Maranhão, com área total de 5.217.423 km², ou seja, quase 60% do território do país.

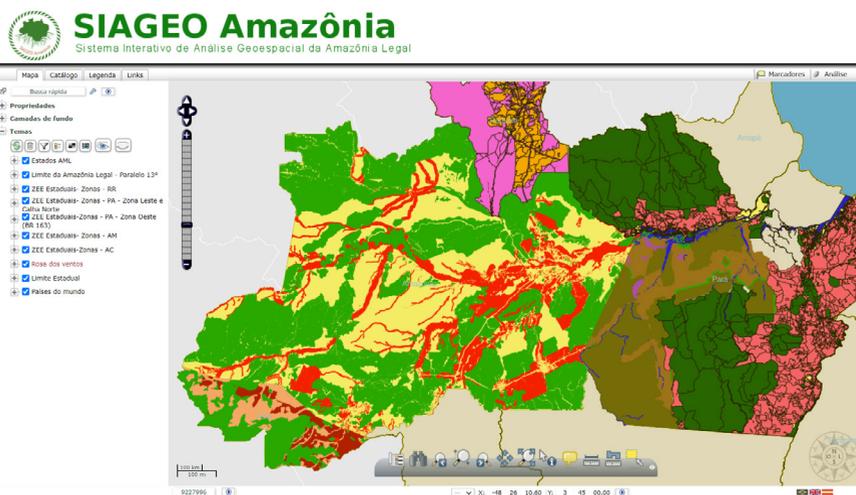
A ocupação desse território intensificou-se de forma desordenada a partir da década de 70, por meio da implantação de sistemas de produção incompatíveis com a sustentabilidade dos recursos naturais da região. O ZEE, instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, foi então estabelecido pelo Governo Federal com o objetivo de viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a proteção ambiental. Sua elaboração é baseada no diagnóstico dos meios físico, biológico, socioeconômico e jurídico-institucional e no estabelecimento de cenários exploratórios para a proposição de diretrizes para cada unidade territorial identificada, considerando, inclusive, ações voltadas à correção de impactos ambientais danosos existentes. As especificidades econômicas, sociais, ambientais e culturais, as vulnerabilidades e as potencialidades de cada estado, resultam na obtenção de diferentes diretrizes e orientações, em seus ZEE, para planejamento da ocupação e do uso de seus territórios (Brasil, 2020).

O projeto “Uniformização do Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal e Integração com Zoneamentos Agroecológicos da Região (UZEE)” foi realizado pela Embrapa com o objetivo de integrar os diferentes ZEE estaduais e fornecer uma caracterização global da Amazônia Legal, capaz de subsidiar a construção de políticas públicas macrorregionais de forma consistente e independente dos limites estaduais. A liderança desse projeto foi conduzida pela Embrapa Amazônia Oriental, contando com a participação da Embrapa Informática Agropecuária, com o apoio do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e dos estados cobertos pela Amazônia Legal para acesso e validação dos dados utilizados na construção dos ZEE estaduais. O projeto contou com apoio financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).

Para suprir a necessidade de organização, armazenamento e disponibilização das informações geoespaciais relativas ao projeto e às informações dos ZEE estaduais e dos respectivos dados básicos utilizados para construí-los, foi desenvolvido o Sistema Interativo de Análise Geoespacial da Amazônia Legal (SIAGEO Amazônia), mostrado na Figura 10. O SIAGEO Amazônia,

Figura 10.
Tela do SIAGEO
Amazônia.

Fonte: Embrapa
Informática
Agropecuária
(2020b).



disponível no endereço www.amazonia.cnptia.embrapa.br, possibilita a visualização e a obtenção de mapas georreferenciados e de dados tabulares de modo interativo, por meio da manipulação de diferentes níveis de informação de acordo com o interesse e a necessidade do usuário. Do mesmo modo, permite ao usuário efetuar análises espaciais tendo por base um dado vetorial de referência, na forma de um ponto, linha ou polígono, e um conjunto de mapas temáticos que se encontram estruturados no WebGIS, além de também disponibilizar o acesso aos documentos técnicos e aos marcos legais referentes a cada iniciativa de zoneamento.

Atualmente, o sistema conta com um total de aproximadamente sete mil camadas de dados geoespaciais, tanto na forma vetorial quanto matricial, devidamente catalogados e organizados, de forma que possam ser visualizados diretamente na ferramenta, baixados para consumo pelos usuários ou adotados como parâmetros para análises espaciais sobre regiões de interesse.

O SIAGEO foi desenvolvido com base em softwares livres, sendo que suas funcionalidades básicas são derivadas do software I3Geo. O sistema possui módulos para a geração de dois tipos de relatórios de entorno, que permitem a caracterização da vizinhança de uma região de interesse. O primeiro deles é o Módulo de Análise Espacial, que possibilita que um usuário envie os dados geoespaciais de sua área de interesse e obtenha um relatório da vizinhança com relação a um conjunto de temas selecionados dentre aqueles já catalogados no sistema. Já o Módulo Bancário oferece uma abordagem semelhante, porém os temas utilizados para a análise de vizinhança estão pré-selecionados e fixados naqueles determinados pelas instituições bancárias como relevantes para análises de financiamento de empreendimentos.

3 Considerações finais

Nas últimas décadas, a agricultura brasileira vem passando por intensos processos de transformações estruturais, tecnológicas, econômicas, sociais e ambientais, os quais têm reconfigurado as atividades do setor e suas dinâmicas territoriais. Neste capítulo apresentamos algumas iniciativas e produtos da Embrapa Informática Agropecuária que atendem, direta ou indiretamente, a demandas relacionadas ao tema da gestão territorial no Brasil, no qual a agricultura assume amplo protagonismo pela sua característica dinâmica e pela destacada contribuição no resultado do Produto Interno Bruto nacional. Todas as soluções tecnológicas citadas, desenvolvidas a partir de softwares livres, são públicas e de uso irrestrito, garantindo seu acesso e utilização por toda a sociedade.

As geotecnologias são ferramentas essenciais para a geração de dados e informações que contribuam nas discussões e nos posicionamentos oficiais dos governos em diferentes fóruns relacionados à gestão estratégica do território nacional, bem como no enfrentamento de crises e de questionamentos determinantes para a defesa e a manutenção da soberania nacional.

Novos desafios científicos se colocam para o tratamento, a organização e a disponibilização de volumes de dados geoespaciais, produzidos em velocidade e quantidade cada vez maiores a partir da evolução e do surgimento das novas geotecnologias. As perspectivas futuras indicam que, no processo da transformação digital, os dados geoespaciais estarão cada vez mais presentes no dia a dia das pessoas, aumentando a demanda por serviços geoespaciais e soluções para a melhoria dos processos produtivos e de tomada de decisões relacionadas à inteligência territorial e à gestão da dinâmica da paisagem.

4 Referências

ALMEIDA, C. A. de; COUTINHO, A. C. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291-302, jul./set. 2016. DOI: [10.1590/1809-43922015055504](https://doi.org/10.1590/1809-43922015055504).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Zoneamento ecológico-econômico**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial.html>. Acesso em: 8 maio 2020.

CASANOVA, M.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (ed.). **Bancos de dados geográficos**. Curitiba: MundoGeo, 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/>. Acesso em: 3 out. 2014.

COLWELL, R. N. (ed.). **Manual of remote sensing: interpretation and applications**. 2nd ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1983. v. 2, 2440 p.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg)**. 2020a. Disponível em: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 4 ago. 2020.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Sistema Interativo de Análise Geoespacial da Amazônia Legal (SIAGEO Amazônia)**. 2020b. Disponível em: <https://www.amazonia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 4 ago. 2020.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; COUTINHO, A. C.; SPERANZA, E. A.; KONDO, A. A.; SANTOS, J. L. SATVeg: a web-based tool for visualization of MODIS vegetation indices in South America. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, 105516, Aug 2020. DOI: [10.1016/j.compag.2020.105516](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105516).

GEOPORTAL TERRACCLASS. **O projeto TerraClass**. Disponível em: www.terraclass.gov.br. Acesso em: 4 ago. 2020.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 224-234, Sept. 1994. DOI: [10.1016/0034-4257\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90018-3).

Jensen, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007. 592 p.

LI, Z.; YAN, H. Transformation in scale for continuous zooming. In: GUO, H.; GOODCHILD, M. F.; ANNONI, A. (org.). **Manual of digital earth**. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 279-324. E-book. DOI: [10.1007/978-981-32-9915-3_8](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3_8).

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington, DC. **Proceedings**. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 1974. v. 1: technical presentations, p. 309-317. Compiled and edited by S.C. Freden, E. P. Mercanti, M. A. Becker. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022592>. Acesso em: 4 ago. 2020.

SCHMIDT, M. The Sankey diagram in energy and material flow management: part II: methodology and current applications. **Journal of Industrial Ecology**, v. 12, n. 2, p. 173-185, 2008. DOI: [10.1111/j.1530-9290.2008.00015.x](https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00015.x).

SILVA, J. dos S. V. da; POTT, A.; ABDON, M. de M.; POTT, V. J.; SANTOS, K. R. dos. **Projeto GeoMS: cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011a. 64 p.

SILVA, J. dos S. V. da; SPERANZA, E. A.; VENDRUSCULO, L. G.; ESQUERDO, J. C. D. M.; MAURO, R. de A.; BIANCHINI, S. L.; FLORENCE, R. de O. **Projeto GeoMS: melhorando o sistema de licenciamento ambiental do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011b. 64 p.

SMITH, M. J. de; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. **Geospatial analysis – a comprehensive guide to principles techniques and software tools**. Disponível em: <https://spatialanalysisonline.com/>. Acesso em: 28 maio 2020.

SOFTWARE PÚBLICO BRASILEIRO. **I3Geo**. Disponível em: <https://softwarepublico.gov.br/social/i3geo>. Acesso em: 8 maio 2020.

SPERANZA, E. A.; ESQUERDO, J. C. D. M.; SILVA, J. S. V.; ANTUNES, J. F. G.; LOURENCO, F. V.; CEZAR, V. M. SISLA- Interactive system for environmental licensing support. **Geografia**, v. 36, p. 57-72, 2011.