

Avaliação da dinâmica de uso e cobertura da terra em municípios da BAP a partir da plataforma Web dos dados TerraClass Amazônia

Júlio César Dalla Mora Esquerdo ¹
João Francisco Gonçalves Antunes ¹
Alexandre Camargo Coutinho ¹
João Luís dos Santos ²
Talita Nogueira Terra Parizzi ²
Lídia Sanches Bertolo ²

¹ Embrapa Informática Agropecuária
Av. André Tosello, 209 - Caixa Postal 6041
13083-886 - Campinas - SP, Brasil
{julio.esquerdo, joao.antunes, alex.coutinho}@embrapa.br

² Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - Funcate
Av. Dr. João Gilhermino, 429 - 11º Andar
12210-131 - São José dos Campos - SP, Brasil
jluis_santos@terra.com.br
{talitanogueiraterra, bertolo.lidia}@gmail.com

Resumo. A Bacia do Alto Paraguai (BAP) tem grande importância ecológica para o Brasil, uma vez que abriga o Pantanal, uma das maiores planícies inundáveis do mundo. O monitoramento do uso e cobertura da terra é estratégico não só na planície da BAP como também em seu planalto, uma vez que as cheias do Pantanal são influenciadas pelo seu entorno. Parte do território da BAP na porção mato-grossense é contemplada pelos mapeamentos do Projeto TerraClass e, desta forma, a dinâmica de uso e cobertura da terra nessas localidades pode ser avaliada por meio desses dados oficiais. O objetivo deste estudo foi analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra em dois municípios do estado de Mato Grosso a partir das ferramentas geoespaciais disponibilizadas por um WebGIS, com base nos dados do Projeto TerraClass Amazônia. Os resultados mostraram que em Denise-MT, entre os anos de 2004 e 2014, houve aumento significativo das áreas de Cultura Agrícola Semiperene, cuja maior parte foi proveniente das áreas de Pastagem Cultivada Herbácea. Em Santo Afonso-MT, a classe de maior crescimento foi a de Culturas Agrícolas Temporárias, cuja maior parte foi proveniente da conversão entre pastagem e agricultura anual. Os resultados demonstram o potencial das ferramentas presentes na versão preliminar do WebGIS TerraClass Amazônia no suporte à gestão territorial, sobretudo o Diagrama de Sankey, uma representação gráfica que permite avaliar os fluxos de transição entre classes temáticas ao longo dos anos.

Palavras-chave: Web-GIS, sistemas de informações geográficas, mapeamento, gestão territorial, Diagrama de Sankey.

Abstract. The Alto Paraguay Basin (hereafter, by the Portuguese acronym BAP) has great ecological importance for Brazil, since it includes the Pantanal, one of the largest wetlands in the world. The land use and land cover (LULC) monitoring becomes strategic not only in the floodplain of BAP, but also in its plateau, since the Pantanal's floods are influenced by the surrounds. Some regions of BAP are covered by the maps produced by the TerraClass Project and, in this way, the LULC dynamics in these localities can be evaluated through these official data. The objective of this study was to analyze the LULC dynamics in two municipalities in the State of Mato Grosso, Brazil, using the geospatial tools available by a WebGIS, based on data from the TerraClass Amazonia Project. The results showed that in the municipality of Denise-MT, between 2004 and 2014, there was a significant increase in semi-perennial crops areas and most of them were converted from cultivated herbaceous pasture. In the municipality of Santo Afonso-MT, the annual crop areas presented the highest growth rate in the period, and most of the areas were converted from cultivated herbaceous pasture. The results demonstrate the potential of the tools available by the preliminary version of the TerraClass Amazon WebGIS to support the land management, mainly the Sankey Diagram, a graphical representation designed to evaluate the transition flows between the thematic classes over the years.

Keywords: WebGIS, geographic information system, mapping, land management, Sankey Diagram.

1. Introdução

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) possui aproximadamente 60% do seu território em terras brasileiras e tem grande importância ecológica para o país, uma vez que abriga o Pantanal, uma das maiores planícies inundáveis do mundo, com rica biodiversidade de fauna e flora. Apesar da planície representar apenas uma porção da BAP, suas cheias sazonais são influenciadas pelo regime hídrico de toda a bacia e, portanto, o monitoramento do uso e cobertura da terra na porção do planalto torna-se importante. Neste contexto, questões relacionadas aos impactos ambientais das atividades humanas na BAP, como as práticas agrícolas, precisam ser consideradas pelos gestores em diversos níveis governamentais, visando a manutenção dos ecossistemas pantaneiros.

O Projeto TerraClass Amazônia (Coutinho et al., 2013; Almeida et al., 2016), uma parceria entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), tem sido responsável pela execução dos mapeamentos oficiais do uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal. Atualmente, cinco mapeamentos estão disponíveis ao público, sendo referentes aos anos base de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014. As classes temáticas de uso e cobertura da terra são identificadas apenas nas áreas desflorestadas, seguindo as informações do Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) (Inpe, 2017). Algumas regiões inseridas na porção mato-grossense da BAP são contempladas por estes mapeamentos, como ocorre nos municípios de Denise e Santo Afonso, no sudoeste do estado de Mato Grosso e, portanto, a dinâmica de uso e cobertura da terra nessas localidades pode ser avaliada por meio dos dados TerraClass.

Com o crescente desenvolvimento das aplicações Web destinadas à obtenção e visualização dos dados geospaciais, bem como a disseminação de bases geográficas disponíveis em repositórios digitais, tem havido uma demanda por instrumentos mais eficientes de acesso às informações do Projeto TerraClass. Neste sentido, considerando a importância estratégica dessa demanda, a equipe do projeto vem desenvolvendo um novo ambiente computacional, baseado em aplicações Web, destinado a facilitar o acesso e a visualização dos dados geográficos a partir dos chamados Web-GIS ou Sistema de Informações Geográficas (SIG) pela Web. O objetivo é permitir que os usuários não familiarizados com as ferramentas de SIG possam, de forma simples e intuitiva, utilizar o próprio programa navegador de Internet para obter informações espacializadas dos resultados do projeto, bem como executar análises da dinâmica de uso e cobertura da terra a partir de um ferramental específico.

2. Objetivo

Avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra em dois municípios do estado de Mato Grosso a partir das ferramentas geoespaciais disponíveis em um WebGIS, com base nos dados do Projeto TerraClass Amazônia.

3. Material e Métodos

Todas as análises apresentadas neste estudo foram realizadas a partir das ferramentas presentes em uma versão preliminar do WebGIS TerraClass. Para tanto, foram selecionados os municípios de Denise e Santo Afonso, localizados na porção brasileira da Bacia do Alto Paraguai, no sudoeste do estado de Mato Grosso, conforme ilustra a **Figura 1**.

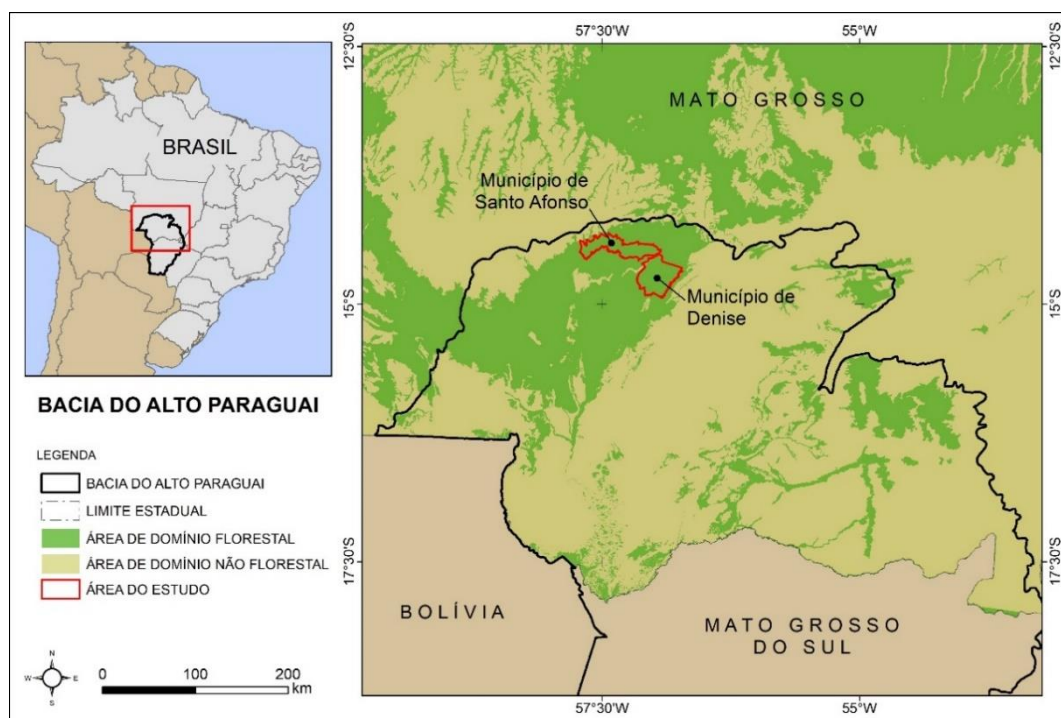


Figura 1. Municípios de Denise e Santo Afonso, no sudoeste do estado de Mato Grosso, inseridos na Bacia do Alto Paraguai e nas áreas de domínio florestal da Amazônia Legal.

Os municípios de Denise-MT, com área de 1.278 km², e Santo Afonso-MT, com área de 1.174 km², estão localizados dentro da Amazônia Legal Brasileira, e seus territórios abrangem, essencialmente, regiões de domínio florestal, de acordo com dados do PRODES. Em Denise-MT somente 16,3 km² estão localizados em áreas de domínio não florestal e, em Santo Afonso-MT, essas áreas somam apenas 3,6 km², de acordo com os limites do PRODES.

No sistema Web utilizado neste estudo estão disponibilizados os cinco mapeamentos do uso e cobertura da terra do Projeto TerraClass (2004, 2008, 2010, 2012 e 2014), além de um conjunto de ferramentas de análise espacial. Os mapas disponíveis referem-se à segunda versão dos dados TerraClass Amazônia, os quais passaram por aprimoramentos na qualidade da classificação e por ajustes das classes temáticas. Esta segunda versão conta com as seguintes classes: 1-Cultura Agrícola Perene, 2-Cultura Agrícola Semiperene, 3-Cultura Agrícola Temporária, 4- Não Observado, 5-Urbanizada, 6-Desflorestamento no Ano, 7-Mineração, 8-Outros, 9-Pastagem Cultivada Arbustiva, 10-Pastagem Cultivada Herbácea, 11-Silvicultura, 12-Vegetação Natural Florestal Secundária e 13-Vegetação Natural Florestal Primária, além da

classe Não Florestal e da classe Corpo D'água. Neste estudo foram consideradas as informações provenientes dos anos de 2004, 2010 e 2014.

No WebGIS TerraClass, desenvolvido a partir de ferramentas de código aberto, os dados são armazenados em um banco de dados PostgreSQL, o qual utiliza as funcionalidades da extensão PostGIS para implementar as consultas espaciais de forma otimizada, conforme metodologia descrita por Santos et al. (2017). Além das funcionalidades de visualização das camadas de cada ano, este sistema disponibiliza um conjunto de ferramentas que visam facilitar aos usuários a consolidação das informações dos mapas a partir de recortes geográficos específicos, como estados, municípios e bacias hidrográficas. Também são disponibilizadas ferramentas específicas para a análise da dinâmica de uso e cobertura da terra entre os anos, como o Diagrama de Sankey.

De acordo com Schmidt (2008), o Diagrama de Sankey foi inicialmente proposto para representar o fluxo de energia e sua distribuição ao longo de várias direções. Cada direção é representada por uma linha ou seta, cuja espessura indica a sua proporção ou quantidade de energia. Linhas mais espessas representam maior quantidade de energia sendo transmitida por aquela direção, enquanto que linhas mais finas representam menor energia sendo transmitida. O mesmo conceito pode ser aplicado a outros tipos de variáveis e magnitudes. No caso do WebGIS TerraClass, em que o Diagrama de Sankey foi implementado por meio da biblioteca D3 (Bostock, 2013), a variável adotada é a área e a origem/destino são as classes temáticas. Dessa forma, o diagrama é capaz de representar o fluxo de transições de áreas entre as classes temáticas ao longo dos anos.

4. Resultados

A **Tabela 1** apresenta as áreas, em km², de cada classe temática do Projeto TerraClass Amazônia nos municípios de Denise-MT e Santo Afonso-MT nos anos de 2004, 2010 e 2014, cujos valores foram exportados pelo WebGIS TerraClass.

Tabela 1. Área das classes temáticas mapeadas em 2004, 2010 e 2014 nos municípios de Denise-MT e Santo Afonso-MT de acordo com os dados do Projeto TerraClass.

	Denise-MT Áreas (km ²)			Santo Afonso-MT Áreas (km ²)		
	2004	2010	2014	2004	2010	2014
Corpo D'Água	1,39	1,39	1,39	0,30	0,30	0,30
Cultura Agrícola Semiperene	366,76	471,40	493,34	17,55	7,49	1,18
Cultura Agrícola Temporária	0,00	0,00	7,53	0,00	0,00	73,00
Desflorestamento no Ano	3,52	0,23	0,00	11,84	2,76	0,84
Mineração	0,00	0,00	0,00	3,42	3,28	0,00
Não Floresta	16,33	16,33	16,33	3,69	3,69	3,69
Não Observado	0,48	3,70	0,56	2,76	2,45	11,92
Outros	3,57	0,77	2,54	2,31	0,08	5,62
Pastagem Cult. Arbustiva	50,73	30,85	81,86	52,69	21,99	109,82
Pastagem Cult. Herbácea	556,13	471,14	383,86	726,80	787,42	629,03
Silvicultura	0,00	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00
Urbanizada	1,64	1,88	2,68	0,55	0,66	1,00
Veg. Nat. Florestal Primária	171,44	162,93	160,78	263,89	212,23	198,69
Veg. Nat. Florestal Secundária	106,54	117,39	127,68	88,43	131,87	139,15
Total Geral	1.278,54	1.278,54	1.278,54	1.174,22	1.174,22	1.174,22

Fonte: Projeto TerraClass Amazônia (Inpe e Embrapa).

4.1 Município de Denise-MT

A **Figura 2** apresenta os gráficos gerados diretamente pelo WebGIS TerraClass, ilustrando a frequência relativa de cada classe temática nos anos de 2004, 2010 e 2014 no município de Denise-MT.

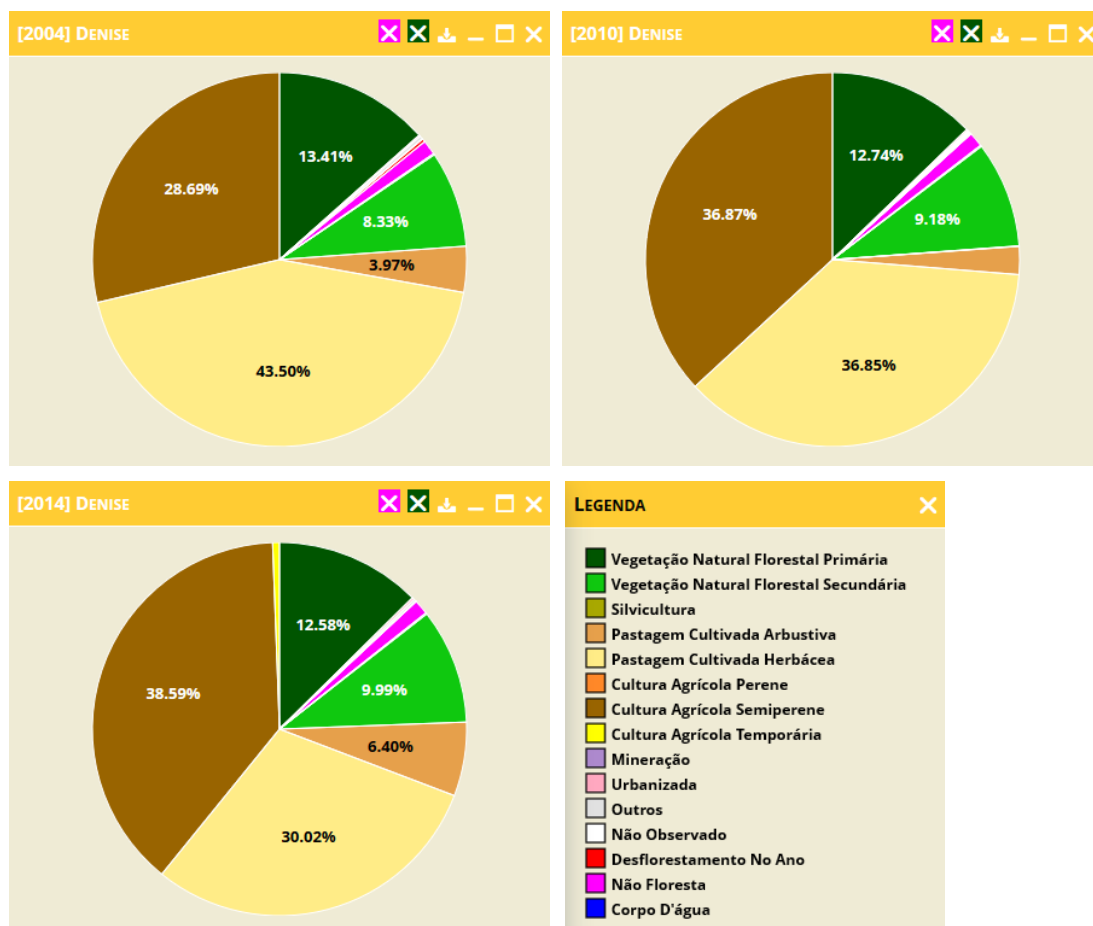


Figura 2. Frequência relativa das classes de uso e cobertura da terra no município de Denise-MT a partir dos mapeamentos TerraClass de 2004, 2010 e 2014.

Pelos resultados apresentados pela **Tabela 1** e pela **Figura 2**, verifica-se que no município de Denise-MT, houve um aumento significativo da classe temática Cultura Agrícola Semiperene, representada, essencialmente, pela presença da cana-de-açúcar entre 2004 e 2014. Em 2004 esta classe estava presente em 28,69% do município, passando para 36,87% em 2010 e 38,59% em 2014, o que representou um aumento de 126 km² dessa classe temática ao longo de 10 anos, embora o período de maior expansão tenha ocorrido entre 2004 e 2010, de acordo com os resultados apresentados.

Este dado corrobora a forte expansão do plantio da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste nos últimos anos, cujo objetivo é atender à crescente demanda interna por álcool combustível. De acordo com a União da Indústria da Cana-de-Açúcar (Unica), no estado de Mato Grosso a área cultivada de cana-de-açúcar dobrou entre 2004 e 2014, de acordo com os dados do Projeto Canasat (Unica, 2018; Rudorff et al., 2010). No âmbito da BAP, considerando que a planície pantaneira possui algumas especificidades restritivas das formas de uso e cobertura da terra, esse cenário extremamente dinâmico de transformação da paisagem tem ocorrido predominantemente na região do planalto (Silva e Carlini, 2015).

Pela **Figura 2** é possível verificar que a classe que mais perdeu espaço no município de Denise-MT no período analisado foi Pastagem Cultivada Herbácea, passando de 43,5% em 2004 para 30% em 2014, ou seja, uma redução de 172 km² em valores absolutos (**Tabela 1**). Grande parte dessa redução se deve à conversão das áreas de pasto para áreas de cana-de-açúcar. Para entender estes processos de dinâmica de uso e cobertura da terra, o Web-GIS TerraClass disponibiliza a ferramenta baseada no Diagrama de Sankey, que possibilita uma análise bastante robusta destas transições.

Na **Figura 3** é apresentado um Diagrama de Sankey gerado pelo WebGIS TerraClass. Neste exemplo foram selecionados os três anos de análise (2004, 2010 e 2014) e ativada a classe Cultura Agrícola Semiperene no ano de 2014. Nesta configuração, o sistema automaticamente realça na coloração ciano as linhas de todas as classes que são convertidas em Cultura Agrícola Semiperene em 2014. Obviamente, os maiores fluxos em direção à esta classe em 2014 são originários da própria classe Cultura Agrícola Semiperene em 2004 e em 2010 e, portanto, não indicam mudança de classes, mas sim sua manutenção ao longo do tempo.

Ao se desconsiderar os fluxos que se originam na própria classe, pode-se observar que Pastagem Cultivada Herbácea foi a classe cujas transições foram representadas por linhas mais espessas, ou seja, foi a que mais contribuiu para o aumento da classe Cultura Agrícola Semiperene, tanto entre 2004 e 2010, como entre 2010 e 2014. Ao posicionar o mouse sobre estas linhas em ciano, o usuário pode identificar a área referente a cada transição. Por exemplo, entre 2004 e 2010 a Pastagem Cultivada Herbácea cedeu 87,1 km² à classe Cultura Agrícola Semiperene e, entre 2010 e 2014, 69,5 km².

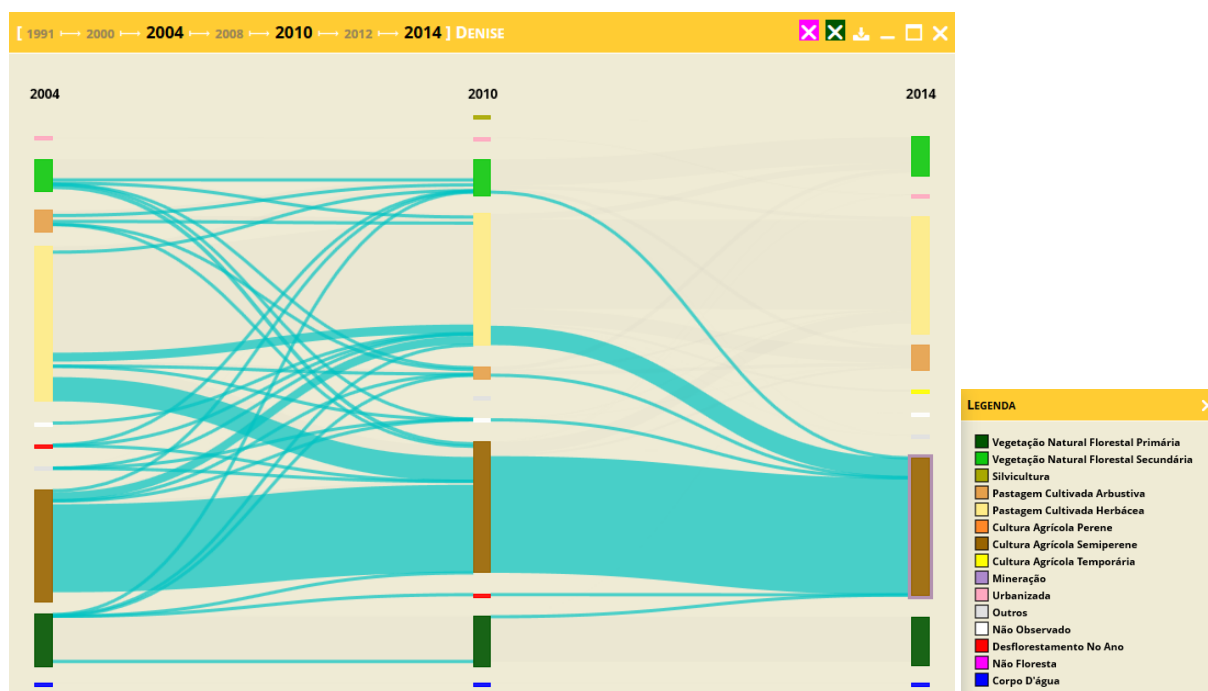


Figura 3. Diagrama de Sankey aplicado para os anos de 2004, 2010 e 2014 no município de Denise-MT. As transições em destaque mostram os fluxos de origem das áreas de Cultura Agrícola Semiperene em 2014. As linhas mais espessas representam as transições mais significativas: Pastagem Cultivada Herbácea → Cultura Agrícola Semiperene.

4.2 Município de Santo Afonso-MT

A **Figura 4** apresenta os gráficos gerados diretamente pelo WebGIS TerraClass, ilustrando a frequência relativa de cada classe temática nos anos de 2004, 2010 e 2014 no município de Santo Afonso-MT.

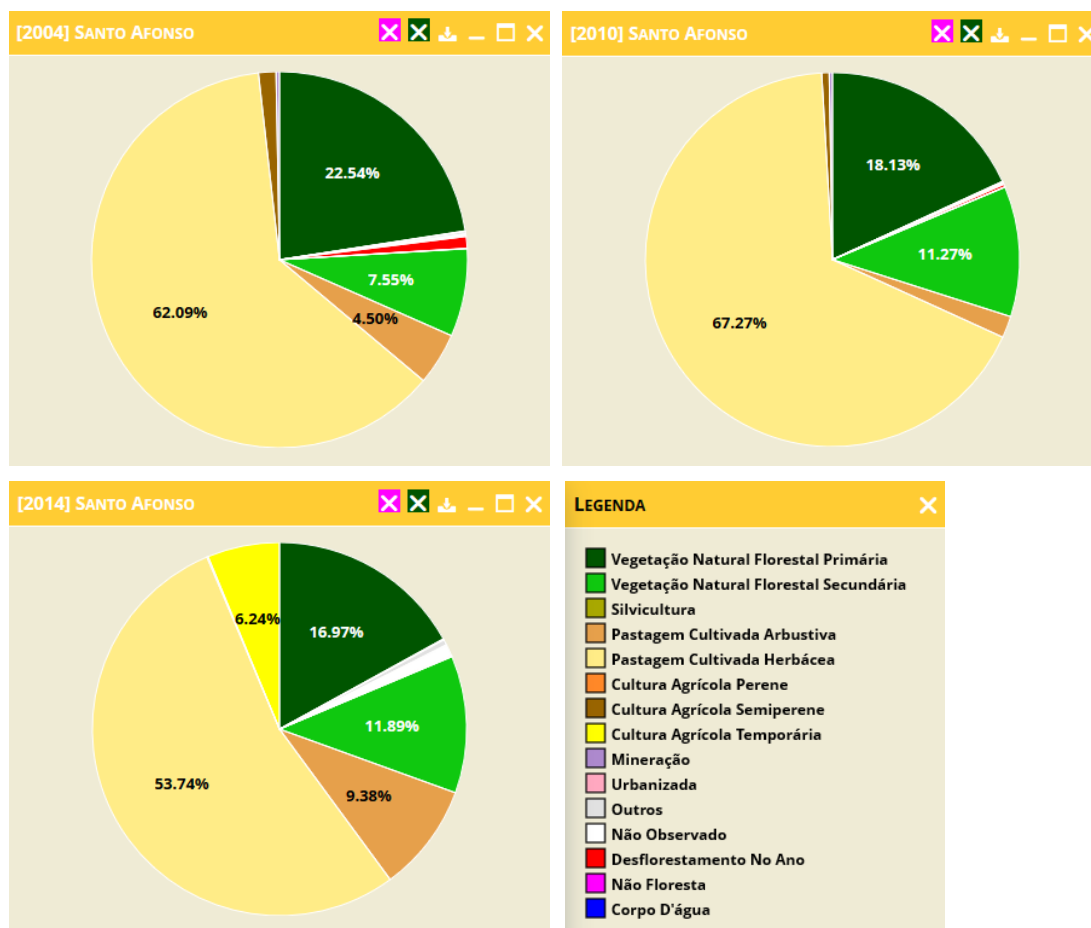


Figura 4. Frequência relativa das classes de uso e cobertura da terra no município de Santo Afonso-MT a partir dos mapeamentos TerraClass de 2004, 2010 e 2014.

Pelos resultados apresentados pela **Tabela 1** e pela **Figura 4**, verifica-se que no município de Santo Afonso-MT, houve um aumento significativo da classe temática Cultura Agrícola Temporária. Em 2004 e 2010 esta classe não havia sido encontrada no município, passando para 6,24% (74 km²) em 2014. Verifica-se também redução das áreas de Vegetação Natural Florestal Primária, que representavam 22,5% do território municipal em 2004, passando para cerca de 17% em 2014, em decorrência do corte raso das florestas. Em contrapartida, a classe Vegetação Natural Florestal Secundária, que representa as áreas em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea cortada, sofreu aumento no período analisado, passando de 7,5% em 2004 para quase 12% em 2014, com ganho em torno de 50 km².

A classe Cultura Agrícola Temporária é constituída por grandes áreas de agricultura anual empresarial, sobretudo pelos cultivos de soja, milho e algodão. O aumento dessa classe está relacionado ao processo de expansão dessas culturas por meio da conversão de áreas tradicionais de pastagem. Pela **Figura 4** verifica-se que as áreas de Pastagem Cultivada Herbácea sofreram redução no período analisado, uma vez que em 2004 representavam 62% do município de Santo Afonso-MT e em 2014 representavam aproximadamente de 54%.

Para avaliar quais classes sofreram transição para a Cultura Agrícola Temporária em 2014 foi gerado um Diagrama de Sankey, apresentado na **Figura 5**. Neste diagrama foram selecionados somente os anos de 2010 e 2014 e ativada a classe Cultura Agrícola Temporária em 2014.

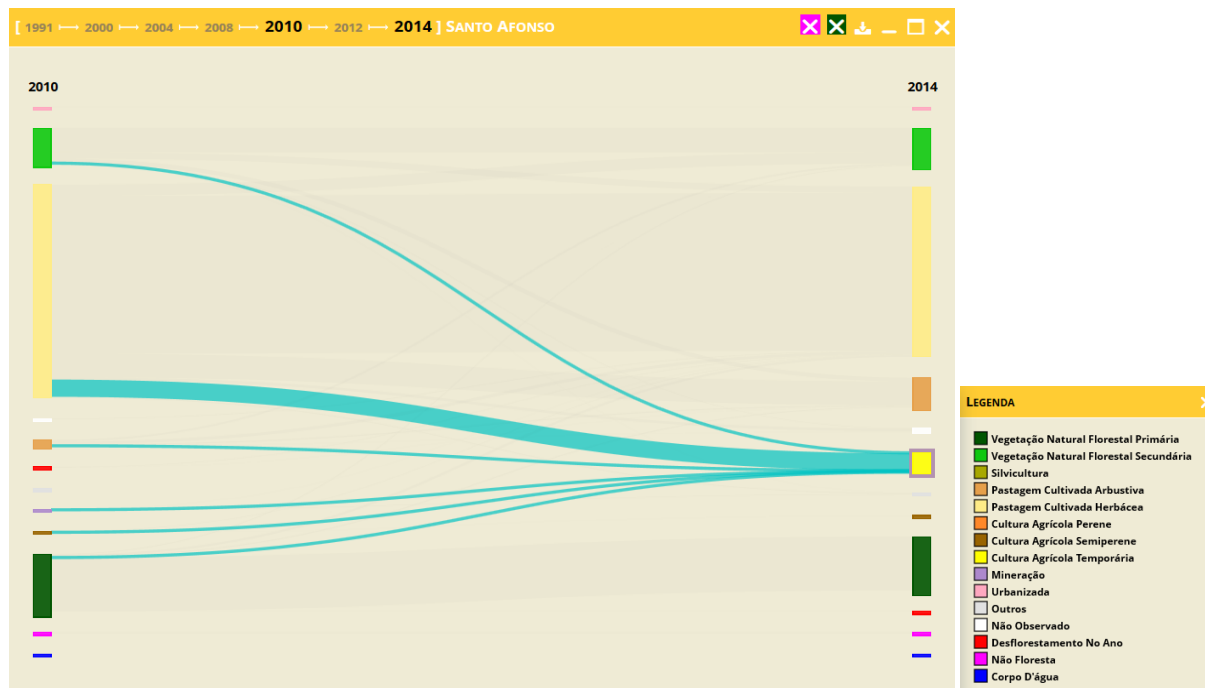


Figura 5. Diagrama de Sankey aplicado para os anos de 2010 e 2014 no município de Santo Afonso-MT. As transições em destaque mostram os fluxos de origem das áreas de Cultura Agrícola Temporária em 2014. A linha mais espessa indica a transição mais significativa: Pastagem Cultivada Herbácea → Cultura Agrícola Temporária.

As linhas realçadas representam as transições entre as diversas classes em 2010 para a classe Cultura Agrícola Temporária em 2014. Graficamente é possível notar que o fluxo que parte da classe Pastagem Cultivada Herbácea em 2010 é o mais espesso e, portanto, representa a origem da maior parte das áreas de Cultura Agrícola Temporária em 2014. Ao sobrepor o mouse sobre esta linha, o usuário tem a informação que este fluxo representa 63,7 km². Considerando que, de acordo com os dados da **Tabela 1**, a área da classe Cultura Agrícola Temporária em 2014 era de 73 km², pode-se concluir que aproximadamente de 87% foram provenientes da conversão pasto/agricultura anual. As demais linhas realçadas representam outros tipos de transição para a Cultura Agrícola Temporária, mas com menor significância.

Todos os gráficos aqui apresentados foram gerados de forma rápida por meio das ferramentas presentes no WebGIS TerraClass. As consultas geoespaciais são executadas de maneira eficiente e otimizada, num ambiente relativamente simples e de fácil manipulação, sem a necessidade de conhecimentos técnicos específicos.

Em relação às ferramentas de análise das dinâmicas de uso e cobertura da terra, a funcionalidade do Diagrama de Sankey é a principal delas e apresenta enorme potencial de uso. Inúmeras outras informações podem ser extraídas deste tipo de representação gráfica, de acordo com a seleção dos anos por parte do usuário e da escolha das classes de origem e destino. Além disso, ao selecionar qualquer fluxo de transição com o *mouse*, o usuário poderá visualizar no mapa a representação espacial de todos os polígonos relacionados a esta transição.

5. Conclusões

Por meio de ferramentas computacionais presentes em uma versão preliminar do WebGIS TerraClass, foi possível gerar informações de maneira rápida sobre o uso e cobertura da terra e suas transições em dois municípios inseridos na porção mato-grossense da BAP, com base nos dados do Projeto TerraClass. Os resultados mostraram que em Denise-MT, entre os anos de 2004 e 2014, houve aumento significativo das áreas de Cultura Agrícola Semiperene, cuja maior parte foi proveniente das áreas de Pastagem Cultivada Herbácea. Em Santo Afonso-MT, a classe de maior crescimento foi a de Culturas Agrícolas Temporárias, cuja maior parte foi proveniente da conversão entre pastagem e agricultura anual. Os resultados demonstram o potencial das ferramentas do WebGIS Amazônia no suporte à gestão territorial.

6. Referências Bibliográficas

- Almeida, C. A.; Coutinho, A. 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, set. 2016.
- Bostock, M. **Data-Driven Documents**. Disponível em: <<https://d3js.org>>. Acesso em: 4 jul. 2018.
- Coutinho, A. C.; Almeida, C. A.; Venturieri, A.; Esquerdo, J. C. D. M.; Silva, M. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal: TerraClass 2008**. Brasília-DF, São José dos Campos-SP: Embrapa, INPE, 2013.
- INPE. **PRODES — Coordenação-Geral de Observação da Terra**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 4 jul. 2018
- Rudorff, B. F. T.; Aguiar, D. A.; Silva, W. F.; Sugawara, L. M.; Adami, M.; Moreira, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. *Remote Sensing*, v. 2, n. 4, p. 1057–1076, 9 abr. 2010.
- Santos, J. L.; Antunes, J. F. G.; Esquerdo, J. C. D. M.; Coutinho, A. C.; Maziero, L. P. Otimização de um banco de dados geográficos utilizando PostGIS. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais...*, São José dos Campos/SP. *Anais...* São José dos Campos/SP: INPE, 2017.
- Schmidt, M. The Sankey diagram in energy and material flow management: Part I: History. *Journal of Industrial Ecology*, v. 12, n. 1, p. 82–94, 2008.
- Silva, J. dos S. V.; Carlini, F. J. Vegetation cover of the Upper Paraguai Basin in Mato grosso do Sul state: comparison between Pantanal wetland and the plateau. *Geografia*, v. 40, n. Número Especial, p. 211–226, 2015.