

A EXPANSÃO DA SOJA NO BIOMA PAMPA BRASILEIRO E SUA INTERAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL COM ARROZ E CAMPO

Gabriel da Silva Lemos

Engenheiro Agrônomo (UFPeI), Mestre em Ciências (UFPeI)
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água - UFPeI
E-mail: gabriel.faem@gmail.com

Rodrigo Rizzi

Engenheiro Agrônomo (UFSM), Mestre em Ciências (UFPeI), Doutor em Sensoriamento Remoto (INPE)
Professor do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - UFPeI
E-mail: rodrigo.rizzi@ufpel.edu.br

RESUMO

Este estudo utilizou imagens Landsat para mapear e quantificar a grande expansão da soja em um município do bioma Pampa brasileiro e sua interação espaço-temporal com o arroz irrigado (arroz) e o campo, além da dinâmica destas culturas em relação a três classes de declividade. Utilizaram-se imagens Landsat para mapear as culturas nas safras 2005, 2008 e 2014 em Bagé-RS. Posteriormente, relacionaram-se os mapas de duas safras subseqüentes visando quantificar: a) a interação espacial e temporal das culturas entre si e entre estas e o campo; b) as faixas de declividade relacionadas à permanência, expansão e recuo das culturas, às áreas exclusivas de uma cultura ou de rotação entre elas; c) a expansão de soja sobre arroz e vice-versa em declividades abaixo de 3%. Os resultados demonstraram que o município de Bagé-RS pouco alterou (+6,72%) sua área cultivada com soja entre 2005 e 2008, mas 56,9 e 9,4% da área cultivada em 2008 eram ocupados por campo e arroz em 2005. Entre 2008 e 2014, a área de soja passou de 12.923 para 43.275 ha, dos quais 79 e 5,1% ocorreram sobre áreas ocupadas por campo e arroz em 2008, respectivamente. As dinâmicas espaciais e temporais das áreas de soja deram-se predominantemente entre 3 e < 8%, enquanto que as de arroz ocorreram principalmente abaixo de 3%. A área de rotação entre tais culturas apresentou 6.824 ha, sendo 74% em declividades abaixo de 3%. A expansão soja para arroz abaixo de 3% de declividade foi muito maior de 2008 a 2014 do que de 2005 a 2008 em oposição à expansão arroz para soja. Em suma, os resultados corroboram com outros trabalhos que evidenciam o processo da expansão da soja no Bioma Pampa.

PALAVRAS-CHAVE: Expansão agrícola; Biodiversidade; Mapeamento; Mudança do uso e cobertura do solo; Landsat.

SOYBEAN EXPANSION OVER THE BRAZILIAN PAMPA BIOME AND ITS SPATIO-TEMPORAL INTERACTION WITH RICE AND GRASSLAND

ABSTRACT

In this paper we used Landsat images to map and quantify the great soybean expansion over a municipality within the Brazilian Pampa biome and its spatio-temporal interaction with irrigated rice (rice) and grassland as well as the dynamic of both crops for three slope ranges. We first used a set of Landsat images to map those crops in the 2005, 2008 and 2014 crop years in Bagé-RS. Then, we assessed maps of two successive crop years and a slope range map in order to quantify: a) the spatial and temporal interaction between both crops and between them and grassland; b) the slope

range regarding to permanence, expansion and retreat of each crop as well as to areas only cultivated with one crop and with rotation between themselves; c) the expansion of soybean over rice and vice-versa over the slope range below 3%. Results showed that Bagé municipality barely changed its soybean acreage between 2005 and 2008 (+6.72%), but 56.9 and 9.4% of the soybean acreage in 2008 were occupied respectively by grassland and rice in 2005. However, soybean acreage increased from 12,923 ha in 2008 to 43,275 ha in 2014, which 79% occupied by grasslands and 5.1% by rice in 2008. Regarding to slope ranges, soybean showed expansion area mainly between 3 and < 8% whereas rice was cropped mainly below 3%. The rotation area between both crops was 6,824 ha, with 74% below 3%. Soybean to rice expansion below 3% slope was much higher from 2008 to 2014 than from 2005 to 2008 as opposed to rice to soybean expansion. Overall, our results agreed with previous studies that showed the expansion of soybean over the Brazilian Pampa biome.

KEYWORDS: Agricultural expansion; Biodiversity; Mapping; Land use land cover change; Landsat.

INTRODUÇÃO

A valorização das commodities agrícolas no mercado internacional nos últimos anos impulsionou a expansão das áreas cultivadas no Brasil. De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a previsão para a safra 2019/20 para o país é de uma área cultivada por grãos de 65,8 milhões de ha, sendo que aproximadamente 37 milhões correspondem à soja (CONAB, 2020a). O Rio Grande do Sul (RS) possui grande relevância na agricultura brasileira. Na mesma safra, o estado deteve a segunda maior área cultivada de soja do país, com 5,9 milhões de ha. O RS possui também a maior área de arroz irrigado (arroz), perfazendo 940 mil ha, que equivaleram a 56,8% do total cultivado no país com este cereal, entre as modalidades irrigado e sequeiro (CONAB, 2020b).

Apesar da inegável importância econômica e social da atividade agrícola, estudos utilizando imagens de sensoriamento remoto demonstram que a expansão dos cultivos no Brasil tem ocorrido em áreas de grande importância ambiental, como os biomas Amazônia (DOMINGUES; BERMANN, 2012), Cerrado (GRECCHI *et al.*, 2016) e Pampa (SILVEIRA *et al.*, 2017). De acordo com Galford *et al.* (2008), determinar os padrões físicos e temporais da expansão e intensificação agrícola é o primeiro passo para entender suas implicações, como a produção agrícola de longo prazo e a sustentabilidade ambiental, agrícola e econômica. Uma vez que grandes modificações no uso da terra podem causar alterações no balanço de carbono no solo, na evapotranspiração, no escoamento superficial da água e promover a degradação do solo. No entanto, devido à grande extensão do território nacional, o monitoramento frequente e *in loco* dessas áreas é impraticável. Nesse contexto, as imagens obtidas por sensores remotos a bordo de satélites artificiais são uma

ferramenta indispensável para o monitoramento constante da dinâmica espaço-temporal dos cultivos agrícolas em grandes regiões, assim como sua expansão sobre áreas de vegetação natural.

O território do RS é dividido em dois biomas. O Mata Atlântica situa-se nas porções norte e centro-leste do estado, que desde os anos 1970 concentra o cultivo da soja. Já o Pampa ocorre principalmente na metade sul e na porção centro-oeste, perfaz 68,9% do território do estado (194 mil km²), caracteriza-se por uma vegetação rasteira com poucas árvores e arbustos esparsos (BENCKE, 2016) e é tradicionalmente explorado pela pecuária bovina sobre pastagem natural. Esse bioma possui ainda extensas áreas onde predominam solos de difícil drenagem em terrenos de baixa declividade (< 3%), que permitem o cultivo do arroz com alta produtividade. Nos últimos anos, a valorização da soja no mercado internacional e o preço atrativo das terras impulsionaram o seu cultivo na metade sul do estado, ocupando muitas vezes áreas anteriormente destinadas ao pousio entre duas ou três safras de arroz. Santos e Silva (2011) utilizaram imagens Landsat para mapear grande parte do bioma Pampa no RS entre os anos 2002 e 2003, concluindo que restavam 40,23% da vegetação natural, sendo 32,15% campestre e 8,08% florestal. Já Silveira *et al.* (2017), avaliando imagens do sensor MODIS para o RS, observaram que as áreas de cultivo de verão no bioma Mata Atlântica aumentaram 12% entre as safras 2001 e 2015. Já no bioma Pampa, tais áreas tiveram um acréscimo de 57% no mesmo período. Mengue *et al.* (2019), em um mapeamento que utilizou sobretudo imagens do sensor MODIS, concluíram que as áreas agrícolas e de silvicultura já representavam cerca de 34% do bioma Pampa em 2014. No entanto, em 2019, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) atualizou os limites dos biomas brasileiros, o que aumentou a região de abrangência do bioma Pampa (IBGE, 2019a).

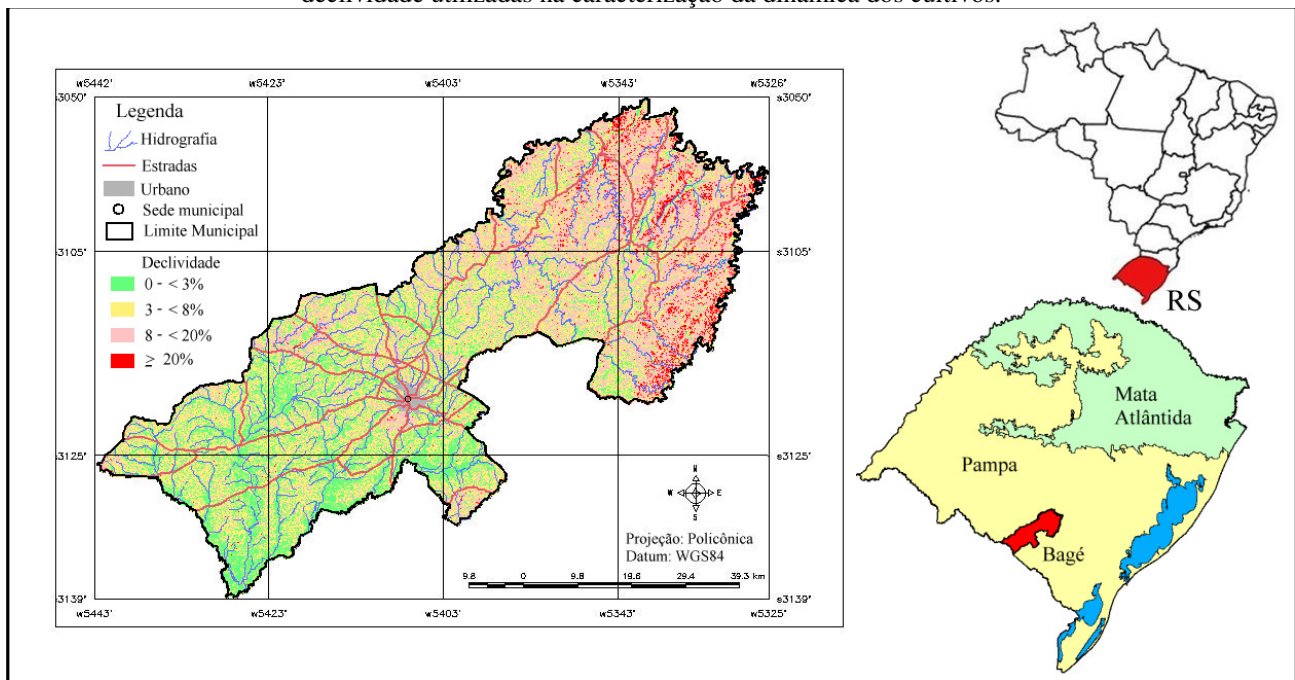
O entendimento desse novo cenário de expansão e competição da soja por áreas anteriormente destinadas ao arroz, bem como da pressão sobre as áreas de maior declividade e tradicionalmente ocupadas com pecuária extensiva sobre o bioma natural (campo nativo) é de fundamental importância para inferências a respeito do seu impacto ambiental sobre diversos aspectos e da degradação do bioma Pampa como um todo. A compreensão da dinâmica no tempo e no espaço dessas culturas e sua relação com a declividade do terreno permite ainda traçar cenários futuros em relação às áreas preferenciais de expansão da soja na região. Assim, este estudo utilizou um conjunto de imagens Landsat de três safras agrícolas para mapear e quantificar a grande expansão das áreas de soja em um município inserido no bioma Pampa brasileiro e sua interação espacial e temporal frente às de arroz e campo, além da dinâmica de tais culturas para diferentes faixas de declividade.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O município de Bagé foi escolhido como área de estudo por apresentar tradicional produção de arroz, além de exibir grande aumento das áreas cultivadas com soja nos últimos anos. Segundo dados do IBGE, enquanto a área cultivada com arroz teve um decréscimo de 12 mil para 10,3 mil hectares entre 2009 e 2018, a área de soja passou de seis mil para 35 mil hectares no mesmo período (IBGE, 2019b), o que enfatiza a grande expansão que a soja tem apresentado na região. Por consequência, Bagé pode ser um bom indicador do que está ocorrendo em relação à expansão da soja no bioma Pampa na porção sul do RS. Este município localiza-se na região da Campanha Gaúcha, na fronteira com o Uruguai, aproximadamente entre os meridianos 53°26' e 54°42' Oeste e os paralelos 30°50' e 31°39' Sul (Figura 1). O município situa-se inteiramente dentro do bioma Pampa, sua área supera os quatro mil km², sendo o oitavo município gaúcho em extensão territorial.

Figura 1 - Município de Bagé-RS e sua localização no contexto do Brasil, do RS e do bioma Pampa e as classes de declividade utilizadas na caracterização da dinâmica dos cultivos.



Fonte: Elaboração dos autores.

Mapeamento das áreas agrícolas

Para mapear as áreas cultivadas com soja e arroz, bem como identificar aquelas de campo, obtiveram-se imagens dos satélites da série Landsat para as safras 2005, 2008 e 2014 (ano da

colheita) em <https://glovis.usgs.gov/>, sem ônus. Escolheram-se tais safras em função destas apresentarem várias imagens livres ou com pouca cobertura de nuvens, de modo a permitir um mapeamento confiável. Para as duas primeiras safras utilizaram-se imagens dos sensores *Thematic Mapper* (TM) e *Enhanced TM Plus* (ETM+), já para a última, utilizaram-se imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI) (LOVELAND; IRONS, 2016), além de imagens do sensor ETM+ de forma auxiliar. O município de Bagé encontra-se nas órbitas 222 e 223 e ponto 82 do *Worldwide Reference System-2* e a sobreposição longitudinal das órbitas do Landsat aumenta a probabilidade de obtenção de várias imagens livres de cobertura de nuvens em boa parte do município durante a safra.

Tabela 1 - Data de obtenção e órbita/ponto das imagens Landsat utilizadas no mapeamento das áreas de arroz e soja em Bagé-RS, em cada safra.

Safra	Órbita/ponto	Data de aquisição
2005	222/82	02/12/04*; 27/01/05**; 28/02/05**
	223/82	07/11/04*; 18/01/05**; 26/01/05*; 27/02/05*; 07/03/05**; 16/04/05*
2008	222/82	17/11/07**; 03/12/07**; 12/01/08*; 05/02/08**; 16/03/08*; 09/04/08**
	223/82	08/11/07**; 10/12/07**; 04/02/08*; 07/03/08*; 16/04/08**
2014	222/82	27/12/13***; 28/01/14***; 09/03/14**
	223/82	18/12/13***; 19/01/14***; 08/03/14***; 24/03/14***; 09/04/14***

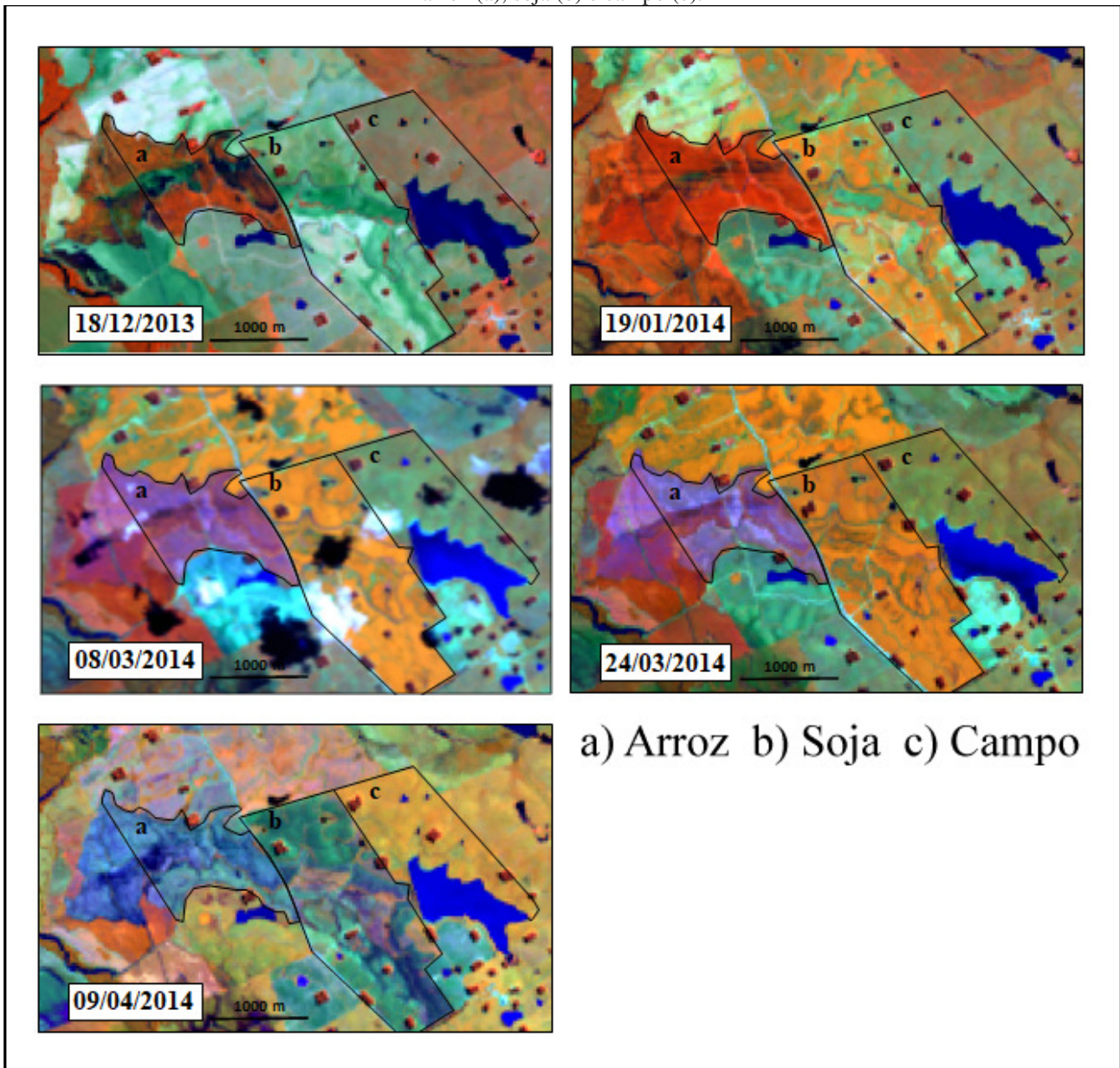
*Sensor TM; **Sensor ETM+; ***Sensor OLI

No processo de mapeamento, utilizaram-se as bandas espectrais do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas do espectro eletromagnético, sendo respectivas às bandas 3, 4 e 5 para os sensores TM e ETM+ e 4, 5 e 6 para o sensor OLI, organizadas em composições coloridas RGB453 e RGB564, respectivamente. Nessas composições, os alvos avaliados possuem comportamentos distintos e característicos, permitindo sua discriminação nas imagens. Além disso, utilizou-se uma metodologia de interpretação multitemporal, que consiste em uma análise visual conjunta de várias imagens adquiridas ao longo da safra. Deste modo, é possível identificar e mapear áreas em diferentes estádios de desenvolvimento, bem como evitar confusões espectrais com outros alvos que podem acontecer quando estes são avaliados em uma única imagem, o que resulta em um mapeamento muito próximo da realidade do campo. De forma contrária, utilizando-se apenas uma imagem adquirida num momento específico da safra, áreas que não estejam identificáveis no momento da sua aquisição (em função das plantas apresentarem ainda pouca

biomassa ou já estarem senescendo) não são contabilizadas no mapeamento. Tal metodologia é descrita em D'Arco *et al.* (2006) para o arroz e Lemos (2016) e Rizzi e Rudorff (2005), para a soja.

De forma geral, a soja e o arroz têm sua semeadura na região em outubro/novembro, alcançam o pleno desenvolvimento entre janeiro e março e a colheita se dá entre fevereiro e abril, dependendo da data de semeadura e do ciclo dos cultivares. A Figura 2 exibe uma sequência de imagens Landsat adquiridas durante a safra 2014, onde percebe-se a resposta espectral e temporal característica e distinta dos três alvos analisados (arroz, soja e campo) ao longo do tempo na composição colorida utilizada no mapeamento visual. Na imagem de dezembro, o talhão de arroz (a) já se encontra com sua típica tonalidade avermelhada, sinalizando a existência de biomassa, com algumas manchas escuras, características da presença da água utilizada para a irrigação desta cultura. A coloração avermelhada fica mais uniforme na imagem de janeiro, mas gradualmente torna-se magenta nas imagens do início e final de março, indicando que as plantas já se encontram nos estádios finais do ciclo fenológico. Em abril, o talhão apresenta características espectrais de vegetação seca/solo, indicando a senescência das plantas ou colheita. Já o talhão de soja (b) apresenta sua peculiar coloração amarelo/alaranjada a partir de janeiro, que se acentua nas imagens de março e dá lugar à coloração característica de vegetação seca/solo em abril. Já a área de campo (c) apresenta resposta espectral que pouco se altera durante a safra, uma vez que há pouca variação na biomassa ao longo do tempo. Fica evidente que as áreas agrícolas de cultivo anual somente são espectralmente visíveis e identificáveis nas imagens em um curto período da safra (durante o pleno desenvolvimento das plantas), em torno de dois a três meses (dependendo da duração do seu ciclo) e as imagens devem ser adquiridas nesse período para possibilitarem o mapeamento.

Figura 2 – Sequência de imagens Landsat, composição colorida RGB564 (sensor OLI), com destaque para áreas de arroz (a), soja (b) e campo (c).



Fonte: Elaboração dos autores.

O mapeamento foi realizado através do programa SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas; CÂMARA *et al.*, 1996), versão 5.2.7, disponibilizado gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em <http://www.dpi.inpe.br/spring/>. Para cada safra analisada, produziu-se um mapa temático contendo as classes soja, arroz e outros (composta pelos alvos campo, mata, corpos d'água, área urbana etc.) e calculou-se a área ocupada por cada cultura. Ressalta-se que o mapeamento da soja da safra 2014 foi previamente realizado por Lemos (2016).

Análise da dinâmica espacial e temporal

Neste processo, relacionaram-se os mapeamentos temáticos de duas safras subsequentes visando determinar a localização das seguintes interações: permanência (manteve a mesma cultura), expansão (passou a ser tal cultura) e recuo (deixou de ser tal cultura) de uma determinada cultura na safra subsequentemente analisada, caracterizando-se, assim, qual destino foi dado a uma área cultivada com arroz ou soja na referida safra. Com relação ao recuo e à expansão, verificou-se ainda se houve alternância entre as duas culturas ou entre estas e o campo. Dessa forma, obtiveram-se mapeamentos representando as diferentes combinações ocorridas entre soja, arroz e campo entre as safras subsequentes, ou seja, entre 2005 e 2008 e 2008 e 2014. Além disso, determinou-se a área abrangida por cada combinação e em cada interação de safras, bem como aquelas que apresentaram rotação entre os cultivos (cultivadas ora com arroz, ora com soja) e as que foram exclusivas de uma ou outra cultura.

Complementarmente, objetivou-se verificar a magnitude da expansão da soja em áreas planas e de várzea, preferencialmente aptas e cultivadas tradicionalmente com arroz. Para tanto, as regiões caracterizadas como áreas de permanência, expansão e recuo de ambas as culturas entre as safras avaliadas foram relacionadas a um mapa de faixas de declividade. Tal mapa foi obtido a partir de dados de altitude do modelo digital de elevação *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), versão 3, com resolução espacial aproximada de 30 metros (semelhante à das imagens Landsat), disponível em <https://earthexplorer.usgs.gov/>. As faixas de declividade adotadas foram (EMBRAPA, 2013): < 3% (relevo plano), de 3 < 8% (relevo suave ondulado) e de 8 < 20% (relevo ondulado) (Figura 1). Além disso, avaliaram-se as faixas de declividade em relação às áreas cultivadas exclusivamente com uma ou outra cultura. Por fim, no intuito de melhor compreender a rotação entre a soja e o arroz, relacionaram-se as regiões de menor declividade (< 3%), onde se espera que ocorram as maiores interações entre tais culturas, às áreas de expansão da soja sobre áreas anteriormente cultivadas por arroz e vice-versa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mapeamento e evolução da área plantada

A primeira análise diz respeito somente aos valores numéricos das áreas cultivadas com arroz e soja no município de Bagé-RS para as três safras (Tabela 2). Para as áreas de soja, observou-se que entre as safras 2005 e 2008 houve um aumento de apenas 6,72% (de 12.109 para 12.923 ha).

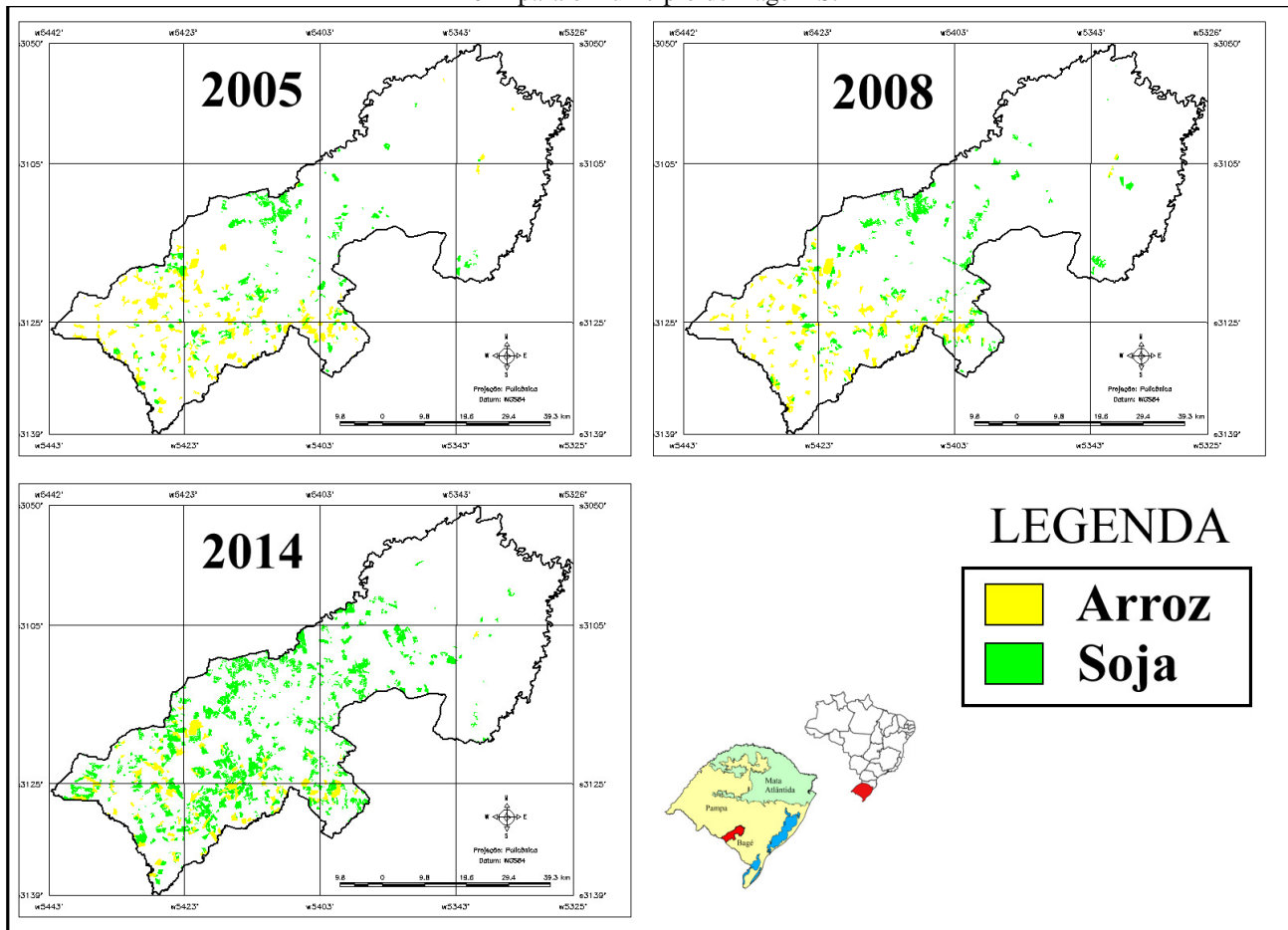
No entanto, entre as safras 2008 e 2014, houve um incremento de 30.352 ha, ou seja, quase 235% em apenas seis safras. A valorização da *commodity* no mercado internacional refletiu em uma grande expansão nas áreas de cultivo da soja no RS, principalmente na metade sul, anteriormente predominada pelo cultivo do arroz. Essa tendência de expansão agrícola no bioma Pampa já foi constatada por Baldi e Paruelo (2008) em períodos anteriores aos aqui analisados. Os autores utilizaram imagens Landsat para avaliar a dinâmica de uso e cobertura da terra sobre as pastagens nativas pertencentes ao bioma em oito locais do RS, Uruguai e Argentina, para as safras de 1985 a 1989 e de 2002 a 2004, concluindo que entre os dois períodos analisados, a cobertura de pastagem diminuiu de 67 para 61% e a área de agricultura aumentou de 22 para 26%. Outros trabalhos também apontam para o aumento da agricultura no bioma Pampa. Kuplich *et al.* (2013) relatam o expressivo aumento das áreas de soja em Bagé-RS e nos municípios limítrofes de Aceguá e Dom Pedrito, em uma análise a partir de imagens Landsat entre os anos 2005 e 2015. Mengue *et al.* (2018) analisaram a mudança da paisagem no bioma Pampa no município de Tupanciretã entre os anos de 1985 e 2015 a partir de imagens Landsat. Os autores citam que no período considerado a área de campo diminuiu de 159.144 para 66.992 hectares e a área de agricultura passou de 55.111 para 145.697 hectares, sendo que o município é o maior produtor de soja do RS.

Tabela 2 - Área cultivada (ha) de arroz e soja em Bagé-RS, para as três safras analisadas.

Cultura/Safra	2005	2008	2014
Arroz	15.218	12.562	11.279
Soja	12.109	12.923	43.275

A Figura 3 apresenta os mapas temáticos oriundos da classificação visual das imagens Landsat para as safras em estudo em Bagé-RS. É visível a expansão da soja a partir de 2008, que se concentrou na metade sul no município. Isto se deve provavelmente à presença de solos favoráveis ao cultivo e à declividade menos pronunciada, ao contrário da sua porção norte.

Figura 3 - Mapeamento das áreas cultivadas com arroz e soja através das imagens Landsat para as safras 2005, 2008 e 2014 para o município de Bagé-RS.



Fonte: Elaboração dos autores.

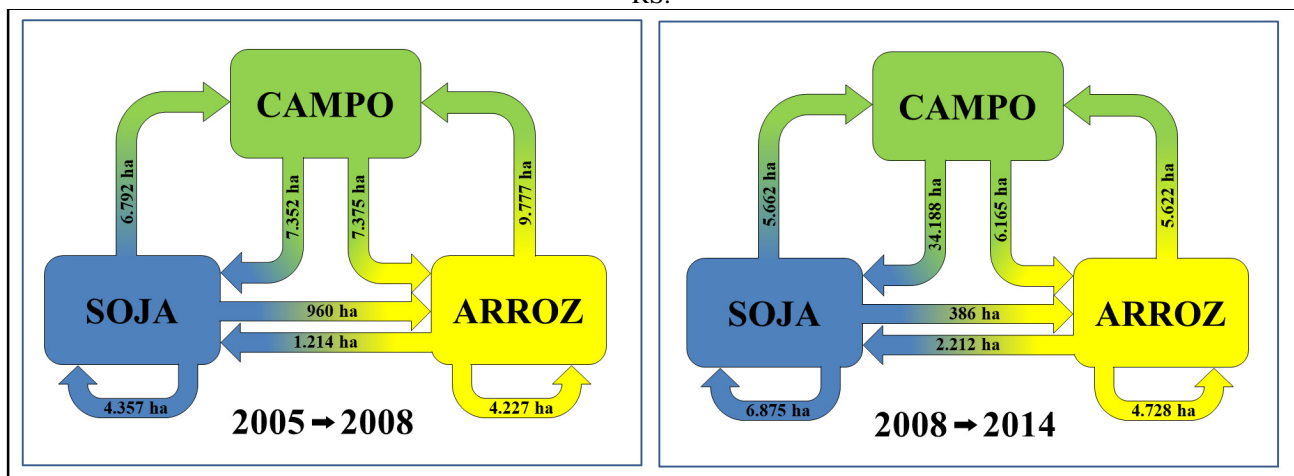
Por outro lado, o arroz apresentou redução sistemática na área de cultivo nas safras analisadas (Tabela 2). Tal redução foi de 17,45% entre 2005 e 2008 e de 10,21% entre 2008 e 2014. Silveira *et al.* (2017), avaliando dados do IBGE em relação à área cultivada no bioma Pampa no RS de 1990 a 2000 e de 2000 a 2015 (antes e após o aumento dos preços das *commodities*, respectivamente) observaram que o arroz foi a principal cultura antes do aumento de preços, apresentando um incremento de 124.897 ha mesmo durante o período após o aumento de preços. No entanto, entre 2003 e 2015, a soja tornou-se a principal cultura, com um incremento de 1,19 mi ha.

Dinâmica espacial e temporal

A Figura 4 apresenta a dinâmica espacial ocorrida nas áreas de arroz, soja e campo entre as três safras analisadas em Bagé-RS. Para a soja, apesar do pequeno aumento em sua área entre as

safras de 2005 e 2008, observou-se que do total cultivado em 2005 (12.109 ha), apenas 36% (4.357 ha) foram assim cultivados em 2008. Da área restante (7.752 ha), 87,6% (6.792 ha) recuaram para campo e apenas 12,4% (960 ha) recuaram para arroz em 2008. Por outro lado, 7.352 e 1.214 ha que eram ocupados respectivamente por campo e arroz em 2005 passaram a ser cultivados com soja em 2008 (expansão soja). Em outras palavras, mesmo com um pequeno aumento na área de soja no intervalo de três safras agrícolas (6,72%), 56,9% da área assim cultivada em 2008 deu-se sobre áreas que eram campo em 2005. Parte desta possivelmente composta por vegetação natural do bioma Pampa que foi convertida em agricultura em algum momento neste intervalo de tempo. Kuplich *et al.* (2018), ao avaliarem o avanço da soja no município a partir de imagens Landsat, comentam que o incremento na área de soja foi de 191,7% neste período, sendo que 9,2% deram-se sobre áreas de campo nativo do bioma Pampa. Entretanto, no presente trabalho, o mapeamento multitemporal detectou um aumento muito superior (257,4%) na área da cultura entre as safras de 2005 e 2014.

Figura 4 - Dinâmica espacial entre as áreas de soja, arroz e campo entre as safras 2005 e 2008 e 2008 e 2014, em Bagé-RS.



Fonte: Elaboração dos autores.

Outro ponto importante é que 56,1% (6.792 ha) da área cultivada com soja em 2005 recuou para campo em 2008, ou seja, não foi utilizada para agricultura. Contudo, trata-se de áreas onde o bioma natural já foi de alguma forma alterado pela atividade agrícola. Além disso, da área de campo convertida em agricultura entre 2005 e 2008, houve um equilíbrio entre o destino para uma ou outra cultura. No entanto, entre 2008 e 2014, 84,7% (34.188 ha) da área que deixou de ser campo passou a ser ocupada com soja, reiterando a grande pressão que esta cultura exerceu sobre o bioma Pampa.

É importante ressaltar que o termo “campo” aqui utilizado não se refere exclusivamente às áreas de pastagem natural não antropizadas do bioma Pampa (ou sem intervenção humana há um longo período e que, de certo modo, podem ter análoga função ecossistêmica). Mas também às áreas não utilizadas para agricultura nas safras analisadas e que são normalmente utilizadas para pastoreio. Em outras palavras, não se pode afirmar que uma área que passou a ser cultivada em uma das duas últimas safras analisadas substituiu a vegetação natural do bioma Pampa ou deu-se em uma área já antropizada, mas não utilizada para agricultura na safra anterior. É de se esperar que ambas as situações tenham ocorrido, sobretudo entre as safras 2008 e 2014 para as áreas de soja, quando se deu o elevado aumento na área dessa cultura. Tanto o avanço quanto a dinâmica espacial e temporal entre as áreas agrícolas e as de campo pode acentuar o processo de fragmentação da vegetação natural. Segundo Vélez-Martin *et al.* (2015), esse processo aumenta o efeito de borda e o isolamento geográfico. Os autores citam ainda que “a redução da dispersão dos indivíduos entre as manchas de campo limita as possibilidades de troca genética e da espécie encontrar condições de habitat mais adequadas, e com isso, muitas populações declinam ou se extinguem” (VÉLEZ-MARTIN *et al.*, 2015 p. 127).

No que se refere ao arroz, a despeito da redução de 17,5% em sua área cultivada entre 2005 e 2008, apenas 4.227 ha desta foi comum entre as duas safras. Ainda assim, 8% (1.214 ha) passaram a ser ocupados pela soja e 64,2% (9.777 ha) pelo campo em 2008. Por outro lado, 8.335 ha que não eram arroz em 2005 foram assim cultivados em 2008, sendo 88,5% oriundos do campo. A dinâmica entre o arroz e o campo é corroborada pelos resultados de Klering *et al.* (2013), que mapearam as áreas de arroz irrigado no RS através de imagens MODIS ao longo de dez safras, contabilizando mais de 3,3 mi ha como potenciais a este cultivo. Porém, apenas um terço desta área é cultivado a cada safra, havendo rotação entre elas.

Entre 2008 e 2014, quando se observou o grande aumento na área cultivada com soja no município, percebeu-se que, embora a soja tenha deixado de ser cultivada em 6.048 ha, tornando-se prioritariamente campo (93,6%), houve expansão (áreas que passaram a ser soja) de 36.400 ha para outras áreas do município. Deste total, apenas 2.212 ha (6,1%) ocorreram sobre áreas cultivadas com arroz e 34.188 ha (93,9%) ocuparam áreas que eram campo em 2008. É importante ressaltar que, apesar do elevado aumento na área cultivada entre as duas safras (235%), quase 44% da área de soja em 2008 não foi ocupada por nenhuma das duas culturas em 2014. Esta alta dinâmica temporal e espacial entre as áreas de soja e as de campo observada entre as três safras reforça a forte pressão que a vegetação natural do bioma Pampa vem sofrendo com a expansão da soja na região

nos últimos anos. Já para as áreas cultivadas com arroz, 4.728 ha (37,6%) mantiveram-se iguais para as safras 2008 e 2014 e 7.834 ha passaram a ser ocupadas por soja (2.212 ha) e campo (5.622 ha). Já as áreas que passaram a ser arroz em 2014 (6.551 ha), 6 e 94% ocorreram em áreas ocupadas respectivamente por soja e campo em 2008.

A Tabela 3 apresenta o resultado da dinâmica espacial das áreas cultivadas com soja e arroz com relação às faixas de declividade. Para a soja, a faixa preferencial para a expansão foi entre 3 e < 8%, com 6.060 ha (70,7%) entre 2005 e 2008 e 30.989 ha (85,1%) entre 2008 e 2014. A menor expansão verificou-se para a faixa de maior declividade (8 a < 20%), possivelmente pela maior dificuldade de mecanização, sendo de 630 ha (7,4%) entre 2005 e 2008 e de 1.389 ha (3,8%) entre 2008 e 2014. Já na faixa < 3%, a soja apresentou uma expansão de 1.876 ha (21,9%) entre 2005 e 2008 e 4.022 ha (11%) entre 2008 e 2014. Devido a maior facilidade de manejo de água, essa faixa de declividade apresenta-se como preferencial ao cultivo do arroz irrigado, embora, como demonstrado anteriormente, exiba rotação entre as culturas da soja e de arroz.

Tabela 3 - Dinâmica espacial das áreas de soja e arroz em relação à declividade para as safras analisadas em Bagé-RS.

Dinâmica	Faixa de declividade	Safras/área ha (%)	
		2005-2008	2008-2014
Expansão Soja	< 3%	1.876 (21,9%)	4.022 (11%)
	3 a < 8%	6.060 (70,7%)	30.989 (85,1%)
	8 a < 20%	630 (7,4%)	1.389 (3,8%)
Recuo Soja	< 3%	1.440 (18,6%)	1.026 (17%)
	3 a < 8%	5.978 (77,1%)	4.559 (75,4%)
	8 a < 20%	334 (4,3%)	463 (7,7%)
Permanência Soja	< 3%	454 (10,4%)	1.363 (19,8%)
	3 a < 8%	3.841 (88,2%)	5.483 (79,8%)
	8 a < 20%	62 (1,4%)	29 (0,4%)
Expansão Arroz	< 3%	7.571 (90,8%)	5.641 (86,1%)
	3 a < 8%	764 (9,2%)	910 (13,9%)
Recuo Arroz	< 3%	8.466 (77%)	7.246 (92,5%)
	3 a < 8%	2.525 (23%)	588 (7,5%)
Permanência Arroz	< 3%	4.101 (97%)	4.538 (96%)
	3 a < 8%	126 (3%)	190 (4%)

Mengue e Fontana (2015) utilizaram uma classificação de imagem MODIS aliada ao modelo digital de elevação SRTM a fim de separar as áreas de arroz e soja no estado do RS,

considerando que a soja não estava presente nas áreas mais baixas e planas. No entanto, os autores detectaram uma superestimativa de 16,72% para as áreas de arroz e uma subestimativa de 11,13% para as áreas de soja em relação aos dados do IBGE, isto é atribuído possivelmente à presença de cultivo de soja em terras baixas, fazendo com que este fosse identificado como arroz e por consequência subestimando a área de soja.

A mesma tendência observou-se para as áreas de recuo e permanência da soja, sendo que entre 8 e < 20% de declividade a área onde a cultura permaneceu foi muito pequena. Entre 2005 e 2008 a soja recuou 5.978 ha entre 3 e < 8% de declividade, mas permaneceu em 3.841 ha, nessa mesma faixa. Para a declividade menor que 3%, a soja recuou em 1.440 ha e permaneceu em 454 ha entre 2005 e 2008. Já entre 2008 e 2014 a soja permaneceu em 1.363 ha e recuou em 1.026 ha nessa mesma faixa de declividade, embora, como já comentado, tenha ocorrido uma expansão de 4.022 ha, demonstrando que a soja também expandiu consideravelmente em regiões de baixas declividades, tipicamente cultivadas com arroz na região.

Para o arroz, conforme o esperado, as áreas preferenciais para a expansão, recuo e permanência encontraram-se abaixo de 3% de declividade, de modo que entre as safras de 2005 e 2008 a expansão e a permanência apresentaram respectivamente 7.571 e 4.101 ha, embora também tenha recuado 8.466 ha em outras áreas com a mesma declividade. Da mesma forma, entre as safras 2008 e 2014 esta faixa de declividade apresentou expansão de 5.641, permanência de 4.538 e recuo de 7.246 ha. As demais faixas de declividade apresentaram menor expressão, mesmo que entre as safras 2005 e 2008, na faixa de 3 a < 8% as áreas de recuo da cultura tenham apresentado 2.525 ha.

Com respeito às áreas onde houve rotação entre soja e arroz nas três safras analisadas, apenas 26% (1.776 ha) ocorreram entre 3 e < 8% de declividade, sendo o restante (5.048 ha; 74%) encontrado na declividade < 3%. Esta foi também a faixa preferencial para as áreas cultivadas somente com arroz nas três safras (18.846 ha; 89,9%), sendo o restante cultivado na declividade de 3 a < 8% (2.121 ha). Para as áreas somente cultivadas com soja nas três safras, a classe preferencial de declividade foi de 3 a < 8%, com 43.008 ha (89,5%), sendo que as demais classes apresentam pouca expressão (2.764 ha para < 3% e 2.260 ha, de 8 a < 20%). Tais dados apontam que existe tanto a presença da soja em baixas declividades, como a de arroz em declividades de até 8% e, embora ao logo das três safras algumas áreas tenham sido ocupadas apenas por uma ou outra cultura, estas se encontram em declividades propensas à rotação.

Para as áreas de rotação entre ambas as culturas nas declividades < 3%, observou-se que a dinâmica *arroz para soja* foi de 839 ha entre 2005 e 2008 e de 1.069 ha entre 2008 e 2014, o que

correspondeu a 44,7 e 26,5% da área de expansão da soja nessa declividade, para os respectivos intervalos de safras. Já a dinâmica *soja para arroz* foi de 779 ha entre 2005 e 2008 e de 240 ha entre 2008 e 2014, correspondendo a 10 e 4% da área de expansão do arroz nessa declividade, para os respectivos intervalos de safras.

Em outras palavras, percebe-se que para a dinâmica das safras 2005 e 2008 houve aproximadamente um equilíbrio entre os valores de área que alternaram entre soja e arroz em regiões de baixa declividade. No entanto, para 2008 e 2014, em função do elevado aumento na área cultivada com soja no município, um valor maior de área de soja expandiu sobre as de arroz (1.069 ha), do que vice-versa (240 ha), demonstrando que a pressão pelo cultivo da soja não foi restrita às áreas de campo em maiores declividades, mas também às de várzea, onde predomina o cultivo do arroz. Neste caso, a soja provavelmente passou a ocupar áreas anteriormente destinadas ao pousio entre duas ou três safras de arroz. Assim, espera-se que a expansão da soja em tais áreas tenha impacto pouco relevante sobre o bioma original, pois estas já são tradicionalmente exploradas com agricultura. De forma antagônica, em ambos os períodos analisados, mais de 78% da expansão da soja deu-se em áreas com declividade acima de 3%, boa parte desta possivelmente composta ainda pela vegetação original do bioma Pampa.

Em suma, os resultados indicaram algumas interações importantes que ocorreram no município, assim como a forte expansão da cultura da soja sobre o bioma Pampa, principalmente a partir de 2008. Demonstraram, ainda, que as áreas de baixa declividade, onde tradicionalmente predomina o cultivo do arroz, também estão apresentando grande expansão de áreas de soja. Embora haja uma preferência do cultivo destas em declividades de 3 a < 8%, existe uma importante expansão da soja sobre áreas tipicamente de várzea.

No entanto, a questão mais proeminente envolve à forte alternância das áreas de soja e de campo nas safras analisadas (Figura 4), mesmo em um período em que ocorreu um pequeno aumento na área cultivada (6,72% entre 2005 e 2008). Conforme já mencionado, apesar do forte aumento observado na área cultivada com soja entre 2008 e 2014 (235%), 43,8% da área ocupada com soja em 2008 viraram campo em 2014. Isto remete ao fato de que, se mantidos os padrões de alternância entre a soja e o campo, supõe-se que o impacto da expansão da cultura sobre as áreas de campo do bioma Pampa e suas implicações sobre os diversos serviços por ele prestados, pode ser muito maior do que se pode inferir com a simples observação da evolução dos valores de área cultivada ao longo do tempo ou a partir do mapeamento das áreas de soja em apenas uma safra agrícola.

CONCLUSÕES

Para o município de Bagé-RS, a área de soja mapeada através de imagens Landsat foi de 12.109, 12.923 e 43.275 ha e a de arroz de 15.218, 12.562 e 11.279 ha para as safras 2005, 2008 e 2014, respectivamente.

Mesmo com a pouca variação nas áreas cultivadas com soja para as safras 2005 e 2008, observou-se forte alternância entre tais áreas e as de campo, sendo que apenas 36% da área de soja em 2005 foi assim cultivada em 2008. Já para 2008 e 2014, apesar do aumento de quase 235% entre tais safras, apenas 53,1% (6.875 ha) da área de soja em 2008 foi desta forma cultivada em 2014. Além disso, 79% da área de soja em 2014 era ocupada por campo em 2008. Assim, os resultados corroboram aos apresentados por outros trabalhos que evidenciam o processo de expansão da soja sobre o bioma Pampa.

Tanto o cultivo quanto a expansão da soja deram-se predominantemente entre 3 e < 8% de declividade, enquanto que para o arroz, as dinâmicas ocorreram predominantemente em áreas de declividade < 3%. Para 2005 e 2008, houve aproximadamente um equilíbrio entre os valores de área que alternaram entre soja e arroz nesta declividade. No entanto, para 2008 e 2014, um valor muito maior de área de soja expandiu sobre as de arroz, do que vice-versa, evidenciando que a pressão pelo cultivo da soja não foi restrita às áreas de campo em maiores declividades, mas também às de várzea, onde predomina o cultivo do arroz.

AGRADECIMENTOS

À FAPERGS/CAPES pela concessão da bolsa de mestrado do primeiro autor, à UFPel e ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água (PPG MACSA) pela oportunidade do aprimoramento científico. Os autores agradecem ainda aos revisores anônimos pelas valiosas contribuições que auxiliaram a aprimorar a primeira versão deste manuscrito.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

BALDI, G.; PARUELO, J. M. Land-Use and Land Cover Dynamics in South American Temperate Grasslands. **Ecology and Society**, v. 13, n. 2, 2008. doi: 10.5751/es-02481-130206

BENCKE, G. A. Biodiversidade. In: CHOMENKO, L.; BENCKE, G. A. **Nosso Pampa desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, p. 61-75, 2016.

BENCKE, G. A.; CHOMENKO, L.; SANT'ANNA, D. M. O que é o Pampa. In: CHOMENKO, L.; BENCKE, G. A. (Org.). **Nosso Pampa desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, p. 61-75, 2016.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n 3, p. 395-403, 1996. doi: 10.1016/0097-8493(96)00008-8

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acomp. safra bras. grãos, v. 7**. Décimo levantamento, safra 2019/20, julho 2020, p. 1-74, Brasília. 2020a. ISSN: 2318-6852 Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/32478_92eba4272b36b69bebc2063e5b766bf7. Acesso em: jul. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acomp. safra bras. grãos, v. 7**. Décimo levantamento, safra 2019/20, Tabela de levantamento, Brasília. 2020b. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/32328_df0c92e86a3d66569d4d10b966aab9e2. Acesso em: jul. 2020.

D'ARCO, E; ALVARENGA, B. S; RIZZI, R; RUDORFF, B. F. T; MOREIRA, M. A; ADAMI, M. Geotecnologias na estimativa da área plantada com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 3, p. 247-253, 2006.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 2, p. 1-22, 2012. doi: 10.1590/S1414-753X2012000200002

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

GALFORD, G. L.; MUSTARD, J. F.; MELILLO, J.; GENDRIN, A.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 2. p. 576-587, 2008. doi: 10.1016/j.rse.2007.05.017

GRECCHI, R. C.; BERTANI, G.; TRABAQUINI, K.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R. Análise espaço-temporal da conversão do cerrado em áreas agrícolas na região de sapezal, Mato Grosso, entre os anos de 1981 e 2011. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 1, p. 91-107, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Biomias e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250 000 / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2019a. 168 p. - (Relatórios metodológicos, ISSN 0101-2843; v. 45).ISBN 978-85-240-4510-3. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101676.pdf>. Acesso em: jul. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. 2019b. Acesso em: set. 2019.

KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; ALVES, R.; ROCHA, J.; BERLATO, M. A. Estimativa de área cultivada com arroz irrigado para o estado do Rio Grande do Sul a partir de imagens MODIS. **Ciência e Natura**, v. 35, n. 2, p. 126-135, 2013. doi: 10.5902/2179460X12567

KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, v. 31, p. 83-100, 2018.

LEMOS, G. S. **Mapeamento de áreas de soja em municípios da metade sul do estado do Rio Grande do Sul a partir de imagens de satélite**. Dissertação (Mestrado em manejo e conservação do solo e da água) - UFPel, 2016. 82 p.

LOVELAND, T. R.; IRONS, J. R. Landsat 8: The plans, the reality and the legacy. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 1-6, 2016. doi: 10.1016/j.rse.2016.07.03

MENGUE, V. P.; FONTANA, D. C. Avaliação da dinâmica espectro-temporal visando o mapeamento dos principais cultivos de verão no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v. 74, n. 3, p. 331-340, 2015. doi: 10.1590/1678-4499.0452

MENGUE, V. P.; FONTANA, D. C.; SILVA, T. S.; ZANOTTA, D.; SCOTTÁ, F. C. Methodology for classification of land use and vegetation cover using MODIS-EVI data. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 11, p. 812-818, novembro, 2019. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n11p812-818

MENGUE, V. P.; SILVA, T. S.; FONTANA, D. C.; SCOTTÁ, F. C. Detecção de mudanças espaciais relacionadas à expansão da fronteira agrícola no Bioma Pampa. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 40-70, janeiro/março, 2018. doi: 10.14393/rbcv70n1-45189

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 3, p. 226-234, 2005.

SANTOS, S.; SILVA, L. G. Mapeamento por imagens de sensoriamento remoto evidencia o bioma Pampa brasileiro sob ameaça. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 49-57, 2011. doi: 10.4025/bolgeogr.v29i2.12366

SILVEIRA, V. C. P.; GONZÁLEZ, J. A.; FONSECA E. L. Land use changes after the period commodities rising price in the Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, p. 1-7, 2017. doi: 10.1590/0103-8478cr20160647

VÉLEZ-MARTIN, E.; ROCHA, C. H.; BLANCO, C.; AZAMBUJA, B. O.; HASENACK, H.; PILLAR, V. P. Conversão e fragmentação. In: PILLAR, V.P.; LANGE, O. **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 125-134, 2015. ISBN 978-85-66106-50-3