

CIRCULAR TÉCNICA

226

# Serviços Ambientais de Sistemas de Produção Integrados com Soja em Terras Baixas no RS

Lilian Terezinha Winckler  
Cláudia Bos Wolff  
Fábia Amorim da Costa

Pelotas, RS  
Novembro, 2021

OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL



## Serviços Ambientais de Sistemas de Produção Integrados com Soja em Terras Baixas no RS<sup>1</sup>

Terras baixas são referidas como planícies em baixas altitudes e normalmente associadas à agricultura irrigada e pecuária extensiva, possuindo especificidades de solo e de vegetação (Miura et al., 2015). No estado do Rio Grande do Sul estendem-se por todo o litoral, sendo que se localizam principalmente no Bioma Pampa, ocupando áreas também da Campanha e da Depressão Central. Também denominadas como várzeas no Sul do país, caracterizam-se pelo desenvolvimento a partir de sedimentos fluviolacustres, lagunares e marinhos e de sedimentos aluvionares oriundos de rochas sedimentares, ígneas e metamórficas (Pinto et al., 2004). Apesar do termo terras baixas não ter uma conceituação precisa, uma vez que é referido de acordo com a área de conhecimento ao qual está sendo aplicado, como geomórfico, hidrológico, agrônômico, florístico, antropológico ou hidrogeoquímico (Miura et al., 2015.), o interesse do presente trabalho é a abordagem agrônômica, voltada ao uso da terra em áreas historicamente destinadas ao plantio do arroz e pecuária de corte. Nesse contexto, de acordo com Pinto et al. (2004), as terras baixas ocupam cerca de 20% da área do estado, sendo os Planossolos e Gleissolos as classes de solo mais expressivas, uma vez que abrangem cerca de 56% do total dessas áreas.

O Bioma Pampa possui significativo potencial para a pecuária de corte com pastagens naturais e cultivadas. Os campos do Bioma Pampa apresentam grande quantidade de gramíneas, sendo que, além das C4, que crescem bem em clima tropical como o Cerrado, as gramíneas C3 estão muito presentes, sendo um diferencial no bioma. Isso propicia uma boa oferta de forragem mesmo em períodos de frio (Overbeck et al., 2009). Ainda assim, a produção pecuária do Pampa está aquém do potencial, devido a fatores como manejo inadequado (Nabinger et al., 2020).

A área do plantio de soja tem crescido nos últimos anos no estado do Rio Grande do Sul, mudança que também vem sendo observada nas terras baixas, apesar das dificuldades de drenagem nesses ambientes. A diversificação de culturas nas terras baixas apresenta vantagens como controle de plantas espontâneas e introdução de uma cultura com alto valor de mercado (Theisen et al., 2017; Cocenço et al., 2018).

A deficiente drenagem natural das terras baixas, principalmente em áreas situadas em patamares mais baixos (Pinto et al., 2004), leva à formação de várias áreas úmidas, as quais são ecossistemas de alta produtividade primária, que abrigam uma grande biodiversidade. Entretanto, estima-se que 90% das áreas úmidas do Rio Grande do Sul desapareceram (Maltchik et al., 2010), colocando em risco uma gama grande de espécies associadas a esses ecossistemas. Diversos estudos têm sido conduzidos avaliando a presença e a abundância de espécies aquáticas nas lavouras de arroz, tendo sido constatado seu potencial para proteção da biodiversidade, conforme as práticas de manejo utilizadas (Blanco et al., 2006; Dias; Burguer, 2005; Guadagnin et al., 2007; Guadagnin; Maltchik, 2007; King et al., 2010).

Alterações no uso da terra trazem retornos econômicos facilmente perceptíveis. Entretanto, políticas para o uso da terra devem levar em conta também a provisão de serviços ambientais, fundamentais para o bem-estar humano (Carreño et al., 2012). Os serviços ambientais correspondem aos benefícios gerados pelos ecossistemas que estão disponíveis aos homens e à sociedade. Também chamados de serviços ecossistêmicos, podem ser classificados como serviços finais ou intermediários (ou funções ecossistêmicas). Os serviços ambientais finais correspondem aos resultados dos ecossistemas que afetam diretamente o bem-estar das pessoas, ativa ou passivamente. Esses representam entradas na economia na forma de provisão (alimentos, energia) ou de serviços prestados (assimilação e processamento de resíduos, por exemplo), podendo ter valor social ou econômico. As funções ecossistêmicas ou serviços intermediários são os atributos e processos físicos, químicos ou biológicos que contribuem para a manutenção do ecossistema independentemente do uso ou demanda humana, que suportam e dão origem aos serviços ambientais finais. Um serviço ambiental pode ser produto de duas ou mais funções ecossistêmicas, e uma função ecossistêmica pode contribuir para

<sup>1</sup> Lilian Terezinha Winckler, engenheira-agrônoma, doutora em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Cláudia Bos Wolff, engenheira-agrônoma, mestre em Ciência do Solo, analista ambiental da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (Fepam), Porto Alegre, RS. Fábria Amorim da Costa, geógrafa, mestre em Engenharia Agrícola, analista da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS..

dois ou mais serviços ambientais (Lattera et al., 2015; Ferraz et al., 2019). Essas podem estar relacionadas à manutenção de ciclos biogeoquímicos e outros processos da biosfera, sendo então denominadas de funções de regulação. Quando provêm habitats para reprodução, alimentação e refúgio, são denominadas funções de habitat. Considerando-se os humanos e a influência do ambiente natural sobre o bem-estar, desenvolvimento cognitivo e outros, tem-se as funções de informação. Já a produção dos autótrofos, proporcionada pela fotossíntese, é classificada como função de produção (Groot et al., 2002). Essas funções proporcionam alimentos e bem-estar para os humanos, estando relacionados também com a resiliência dos ecossistemas, proporcionando regulação dos recursos hídricos, dos processos de ciclagem de nutrientes, possibilitando a polinização e outros tantos serviços essenciais para as sociedades humanas.

Percebe-se, assim, que os bens produzidos têm base no capital natural. Ou seja, necessitam dos processos e interações dos ecossistemas, como disponibilidade de água, fertilidade dos solos, polinização, entre outros. A integridade e equilíbrio ecológico dos ecossistemas influenciam os sistemas econômicos vigentes, dependentes desse capital (Campanha et al, 2019). Como forma de manter esse capital natural, as agendas políticas e o planejamento setorial estão incorporando cada vez mais a visão de manutenção e geração de serviços ecossistêmicos, recorrendo inclusive ao pagamento pelos serviços ambientais como forma de incentivo à conservação. A modificação de uso da terra, por exemplo, pode gerar mudanças sobre a biodiversidade e os recursos hídricos ou regulação de ciclos como o do carbono, podendo aumentar ou mitigar emissões. A sustentabilidade dos ecossistemas tem sido avaliada, entre outras formas, pela capacidade de manutenção e geração de serviços ambientais.

O planejamento do uso da terra é uma ferramenta útil na avaliação da sustentabilidade, buscando compatibilizar custos ambientais e benefícios econômicos, subsidiando informações para os tomadores de decisão (Barral; Oscar, 2012). Este trabalho, portanto, busca contribuir para o entendimento das modificações do uso da terra nas terras baixas do Extremo Sul do Brasil, elaborando um banco de dados geoespacial de áreas de produção agrícola com diferentes usos. Através da interpolação de dados de biomassa e carbono do solo, propõe-se também a estimar a provisão e modificação de alguns serviços ambientais, sob diferentes cenários.

## Material e Métodos

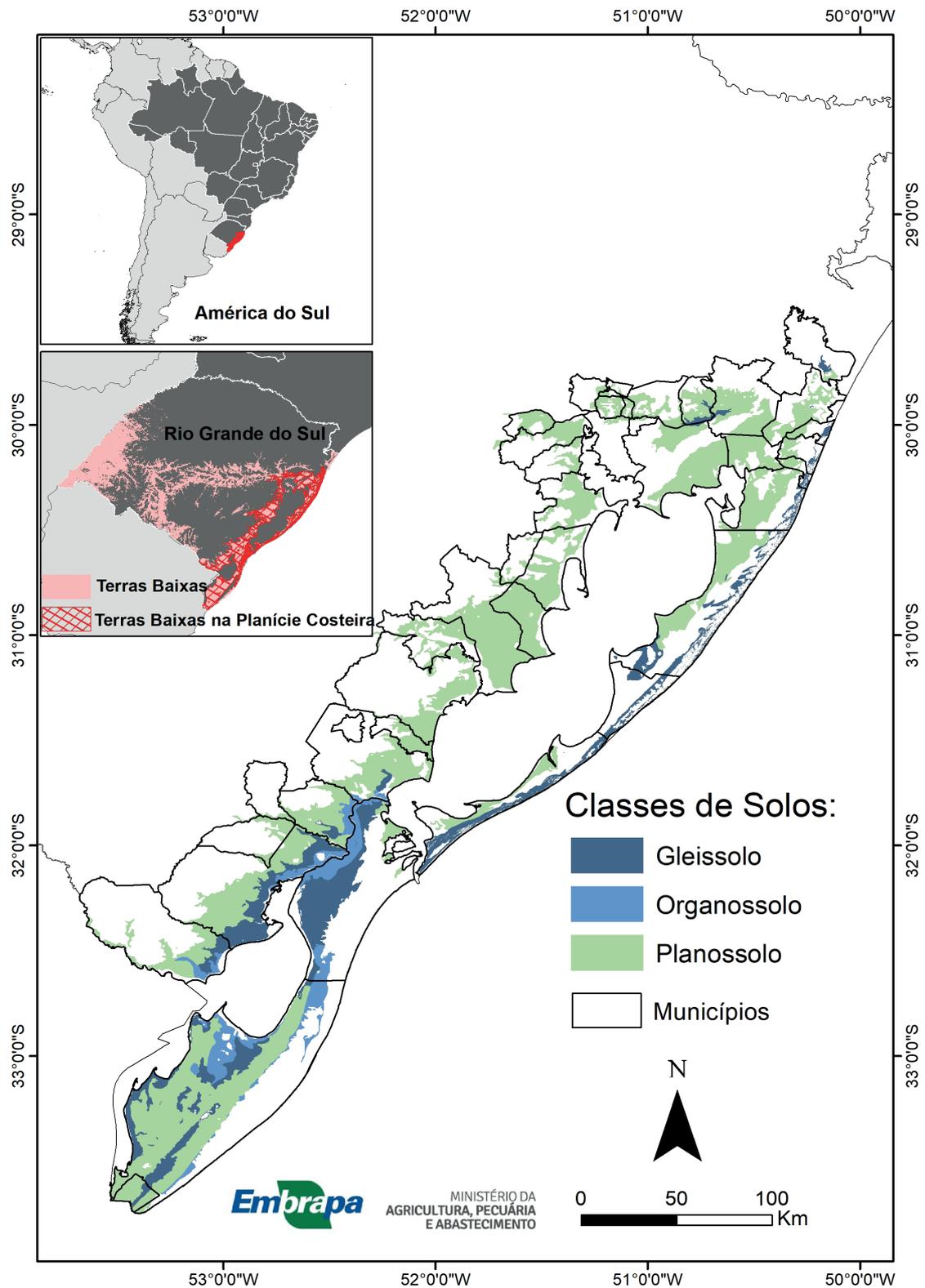
### Base de dados

A área de terras baixas do Rio Grande do Sul foi delimitada com base no mapeamento proposto por Miura et al. (2015). O mapa de solos do Rio Grande do Sul em escala 1:250.000 (IBGE, 1986), vetorizado pela UFRGS, a Embrapa e outras instituições, foi utilizado para delimitar as classes de solo de interesse deste estudo. Também foram utilizados os dados gerados pelo “Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil - MapBiomas” (Mapbiomas, 2020) para os anos de 1985, 2000 e 2019. Foram obtidos dados históricos de área plantada (ha) por município e a produção (t) de arroz e de soja por município no IBGE (2021). Os dados sobre carbono orgânico estocado no solo (COS) para a vegetação natural provêm do *International Panel on Climate Change* (IPCC) (2006) e Rosa et al. (2011), enquanto aqueles sobre estoque de carbono no solo e produção de biomassa para os diferentes usos e manejos abordados no presente estudo foram obtidos de IPCC (2006) e Theisen et al. (2017).

### Área de estudo

No mapeamento de terras baixas proposto, foram delimitados os Planossolos, Organossolos e Gleissolos, por serem as classes de solos verificados na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, onde também foram obtidos os resultados disponibilizados por Theisen et al. (2017). Para que os dados locais sejam representativos da região delimitada, em termos de clima e demais condições de produção, somente foram considerados os municípios do estado do Rio Grande do Sul inseridos na Planície Costeira e no Bioma Pampa.

A área de estudo está demonstrada na Figura 1, sendo indicadas as classes de solo: Gleissolos, Organossolos e Planossolos.



**Figura 1.** Mapa das classes de solos selecionadas, como área de estudo, na Planície Costeira interna e externa do Rio Grande do Sul, Brasil. Elaboração: Fábila Amorim da Costa.

## Análise dos dados

A estimativa das funções ecossistêmicas de armazenamento de carbono no solo, armazenamento de carbono na biomassa e de manutenção da biodiversidade foi realizada em ambiente de geoprocessamento no software ArcGIS, utilizando o protocolo ECOSER (Latterra et al., 2015; Barral, 2017).

Como os dados locais de carbono foram obtidos de Theisen et al. (2017), os sistemas de produção avaliados neste estudo foram os mesmos descritos por esses autores:

1 – Sistema “Arroz convencional”, que consiste no plantio de arroz por 3 anos consecutivos e pousio por mais 3 anos. Em parte do período de pousio, o gado de corte é inserido no sistema na lotação de 1,1 cabeça/ha.

2 – Sistema “Arroz e soja convencional”, sendo 2 anos consecutivos de plantio de arroz, seguidos de 2 anos de soja e, posteriormente, 3 anos de plantio de arroz. O preparo do solo consiste na aração e gradagem no período do inverno, e uma nova gradagem antes do plantio na primavera.

3 – Sistema “Arroz e soja direto”, composto por 2 anos consecutivos de plantio de arroz, seguidos de 2 anos consecutivos de soja e, posteriormente, 3 anos de plantio de arroz. Esse sistema difere do anterior pelo preparo do solo ocorrer logo após a colheita do arroz, não havendo preparo do solo após a colheita da soja. O plantio é realizado após controle da vegetação espontânea com o herbicida glifosato.

4 – Sistema “Camalhão com pastejo”, no qual se utilizam camalhões de base larga e há a rotação de soja e milho sequencialmente no verão. No inverno são cultivadas as pastagens azevém (*Lolium multiflorum* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), e o gado de corte é introduzido no sistema para pastejo, mantendo oferta diária de forragem em torno de 12 kg de matéria seca para 100 kg de peso vivo. Não há preparo do solo antes do plantio da soja e do milho, ocorrendo apenas o controle da vegetação espontânea com herbicida.

5 – Sistema “Camalhão com pastejo leve”, que também utiliza camalhões de base larga e rotação sequencial de soja e milho no verão. No inverno, porém, a cobertura do solo é mantida com azevém (*Lolium multiflorum* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Nos últimos dois ciclos, o gado de corte é introduzido no sistema com uma oferta de forragem de 24 kg de matéria seca para 100 kg de peso vivo.

Os cálculos de carbono se referiram à aplicação de diferentes manejos na área total mapeada com soja. Sendo assim, foram avaliados quatro cenários, considerando-se que a área total esteja inserida em um dos sistemas de produção descritos abaixo:

Cenário 1 – Área de soja com sistema “Arroz e soja convencional”

Cenário 2 – Área de soja com sistema “Arroz e soja direto”

Cenário 3 – Área de soja com sistema “Camalhão com pastejo”

Cenário 4 – Área de soja com sistema “Camalhão com pastejo leve”

Através dos mapas gerados, foram identificadas as modificações das funções ecossistêmicas que contribuem para os serviços de regulação climática (armazenamento de carbono orgânico no solo e carbono na biomassa) da região sob consideração.

## Resultados e Discussão

De acordo com a delimitação de área, o estudo abrangeu 41 municípios do estado do Rio Grande do Sul. A área total estudada foi de 1.743.796 ha, nos quais os Planossolos ocupam a maior área (1.210.472,79 ha ou 69,43%), os Gleissolos aparecem em segundo lugar, ocupando 323.439,55 ha (18,55%), e os Organossolos com 209.473,76 ha (12,02%).

As classes de uso e cobertura do solo nos anos de 1985, 2000 e 2019 estão descritas na Tabela 1, e as áreas e classes de interesse na Tabela 2.

**Tabela 1.** Classes de uso e cobertura do solo (%) na área de estudo observadas nos anos de 1985, 2000 e 2019. Fonte: MapBiomas (2020)

Classes de uso e cobertura do solo	Ano		
	1985	2000	2019
Formação florestal	4,06	4,71	5,05
Floresta plantada	0,63	0,85	1,38
Campo alagado e banhado	13,01	12,47	13,06
Formação campestre	17,78	16,84	12,86
Pastagem	0,00	0,00	0,00
Mosaico de agricultura e pastagem	0,00	0,00	0,00
Praia e duna	0,87	0,65	0,00
Infraestrutura urbana	0,51	0,96	1,39
Outras áreas não vegetadas	1,21	0,77	0,55
Afloramento rochoso	0,00	0,00	0,00
Mineração	0,00	0,00	0,00
Rio, lago e oceano	3,58	4,32	3,22
Soja	n.d.	0,26	7,81
Outras lavouras temporárias*	58,35	58,18	54,68
Total	100,00	100,00	100,00

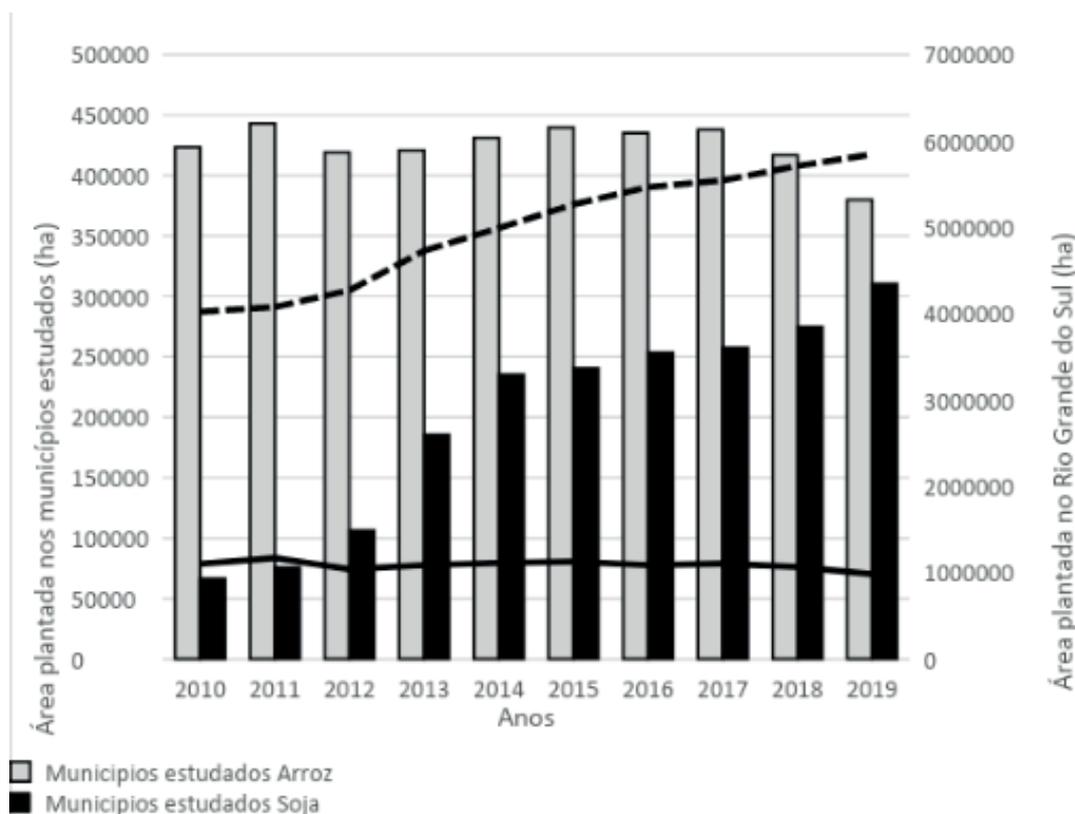
n.d. = não disponível

\* Essas áreas, nos solos e ambientes estudados, equivalem ao plantio de arroz e pousio.

Conforme o IBGE (2021), a área plantada com arroz nos municípios estudados no ano de 2019 foi de 373.249 ha, enquanto a soja totalizou 310.347 ha. A discrepância entre a área de arroz estimada pelo IBGE e a descrita na Tabela 1 deve-se ao fato de estar sendo considerada toda a área descrita como “outras lavouras temporárias” nos solos estudados desses municípios, como área em que o sistema de cultivo do arroz irrigado é utilizado, pois devido às características do solo e uso na região, as lavouras temporárias ali descritas são, praticamente na sua totalidade, áreas de arroz irrigado. Entretanto, parte dessa área pode estar momentaneamente ocupada com pastagem. Isso é esperado, uma vez que o sistema de cultivo de arroz convencional em terras baixas utiliza alguns esquemas de produção (Theisen, 2017), que consistem em:

- plantio de arroz por 2 anos consecutivos e 4 anos de pousio, em que o gado pasteja a área, e assim sucessivamente;
- plantio de arroz por 3 anos consecutivos e 3 anos de pousio, em que o gado pasteja a área, e assim sucessivamente;
- plantio de arroz por 2 anos consecutivos e 2 anos de pousio, em que o gado pasteja a área, e assim sucessivamente;

Já a diferença verificada entre os dados de soja do IBGE (2021) e os dados da Tabela 1 referem-se ao plantio da cultura em tipos de solo que não os classificados para o presente estudo. Esses dados confirmam a tendência de aumento da área de soja ao longo dos anos no estado do Rio Grande do Sul (Theisen et al., 2017, Zortea et al., 2019, Cocenço et al., 2020) e são descritos na Figura 2.



**Figura 2.** Área total plantada (ha) com arroz e soja nos municípios gaúchos estudados no período de 2010 a 2019. Fonte: IBGE (2021)

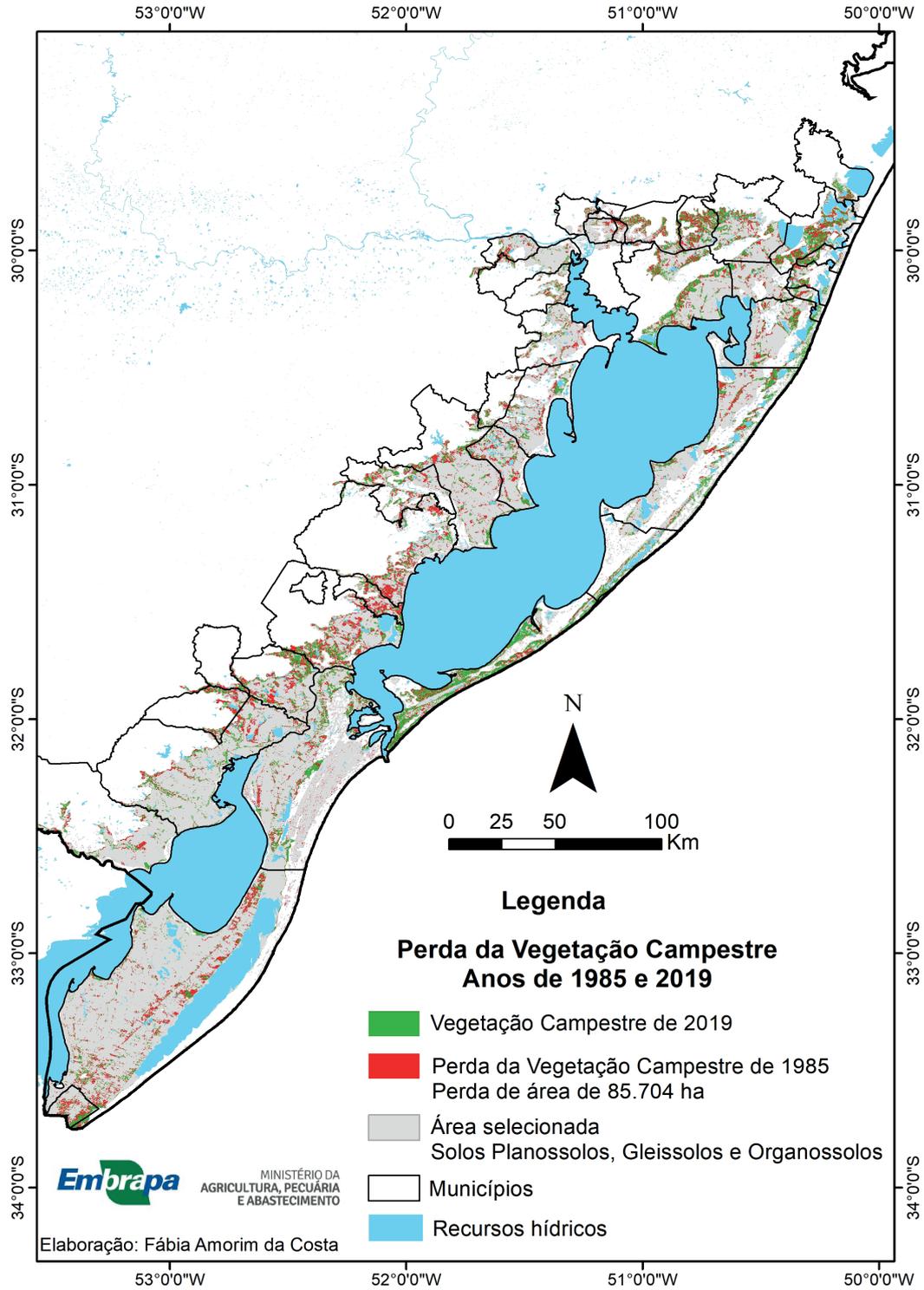
**Tabela 2.** Área (ha) ocupada pelas diferentes classes de uso dos solos (excluindo praias e dunas, afloramentos rochosos, infraestrutura urbana, área não vegetada, mineração e lagos, rios e oceanos) em 1985, 2000 e 2019 nos municípios em regiões de terras baixas no Bioma Pampa, nas áreas com Planossolos, Gleissolos e Organossolos, no estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Mapbiomas (2020).

Classes de uso dos solos	Ano		
	1985	2000	2019
Formação florestal	70.821	82.060	87.670
Floresta plantada	10.939	14.886	24.078
Campo alagado e banhado	226.611	217.336	227.230
Formação campestre	309.786	293.549	224.081
Soja	n.d.	4.476	135.826
Outras lavouras temporárias*	1.016.737	1.014.308	954.133

n.d.: não disponível (somente a partir de 2000 mapeada no Mapbiomas, 2020);  
 \* Essas áreas, nos solos e ambientes estudados, equivalem ao plantio de arroz e pousio.

Nas Tabelas 1 e 2, observa-se um aumento da área de formação florestal, bem como da área de floresta plantada. Essas situações ocorrem devido à dificuldade de distinção de algumas áreas como floresta plantada ou nativa. A categoria de campo alagado e banhado apresenta uma variação ao longo dos anos, provavelmente devido à acurácia das imagens, descrita na base de dados acessada como de 79,46% (Souza Júnior et al., 2020), e variações de períodos com maior ou menor acúmulo de precipitação.

A diminuição da formação campestre é perceptível, havendo decréscimo de 27,66% em 39 anos. Porém, somente nos últimos 19 anos, esse decréscimo foi de 23,66% nas áreas estudadas. Por outro lado, no ano de 2000 a soja ocupava apenas 3,29% da área atual. Apesar das outras lavouras temporárias - na região estudada, correspondendo às áreas de arroz - terem diminuído, essa redução foi de 5,93%. Isso indica uma tendência de expansão da cultura da soja tanto sobre as áreas de arroz irrigado, em menor proporção, mas principalmente sobre áreas de vegetação campestre (Rositano; Ferraro, 2014, Barral, 2015; Zortea et al., 2019; Moushani et al., 2021). Essa tendência é demonstrada na Figura 3. O uso da terra nos municípios estudados, para os anos de 1985, 2000 e 2019, está demonstrado nas Figuras 4, 5 e 6.



**Figura 3.** Perda de vegetação campestre observada na área estudada entre os anos de 1985 e 2019. Elaboração: Fábila Amorim da Costa.

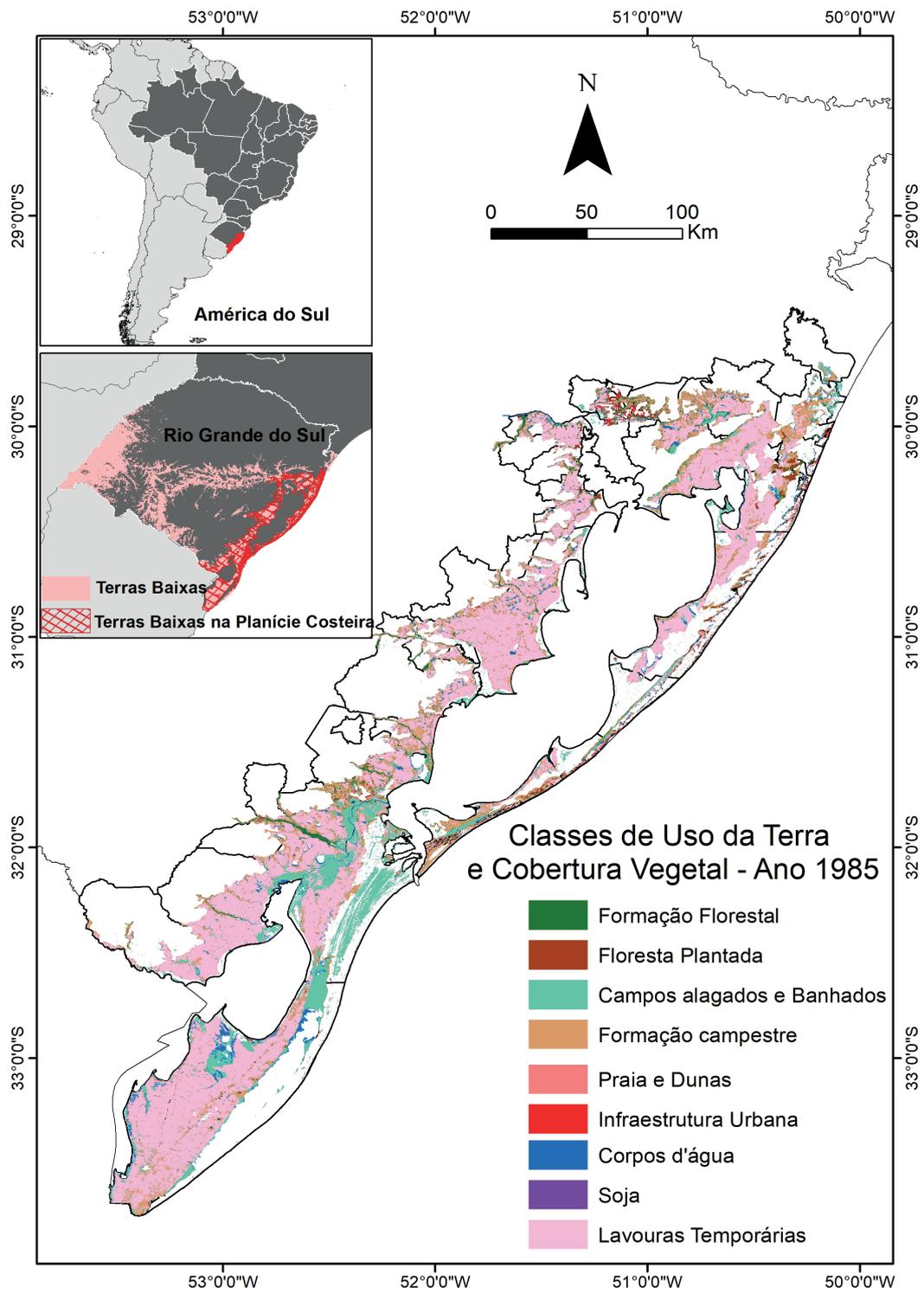


Figura 4. Classes de uso da terra e cobertura vegetal na área estudada no ano de 1985. (Fonte: Mapbiomas, 2020).

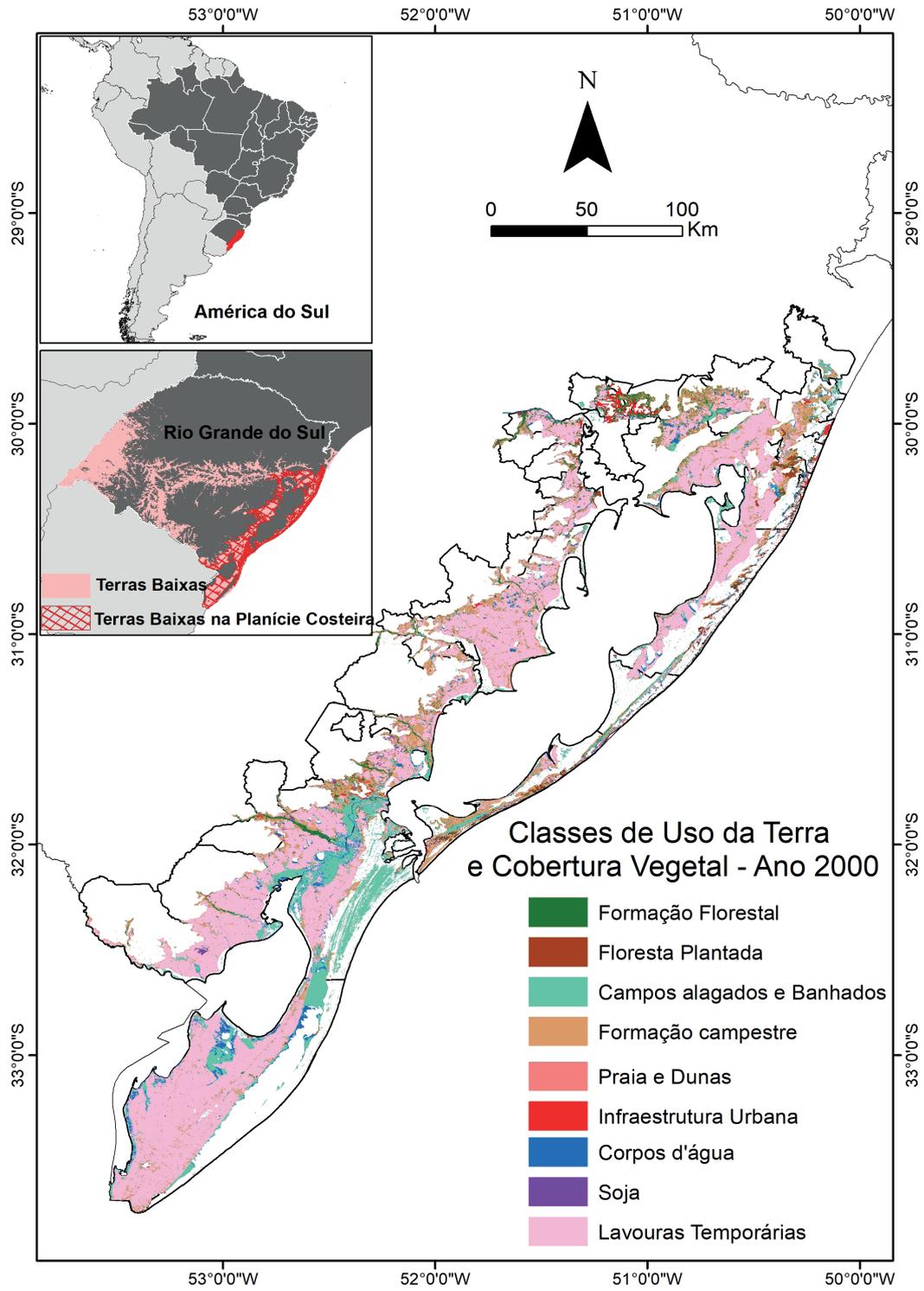


Figura 5. Classes de uso da terra e cobertura vegetal na área estudada no ano de 2000 (Fonte: Mapbiomas, 2020).

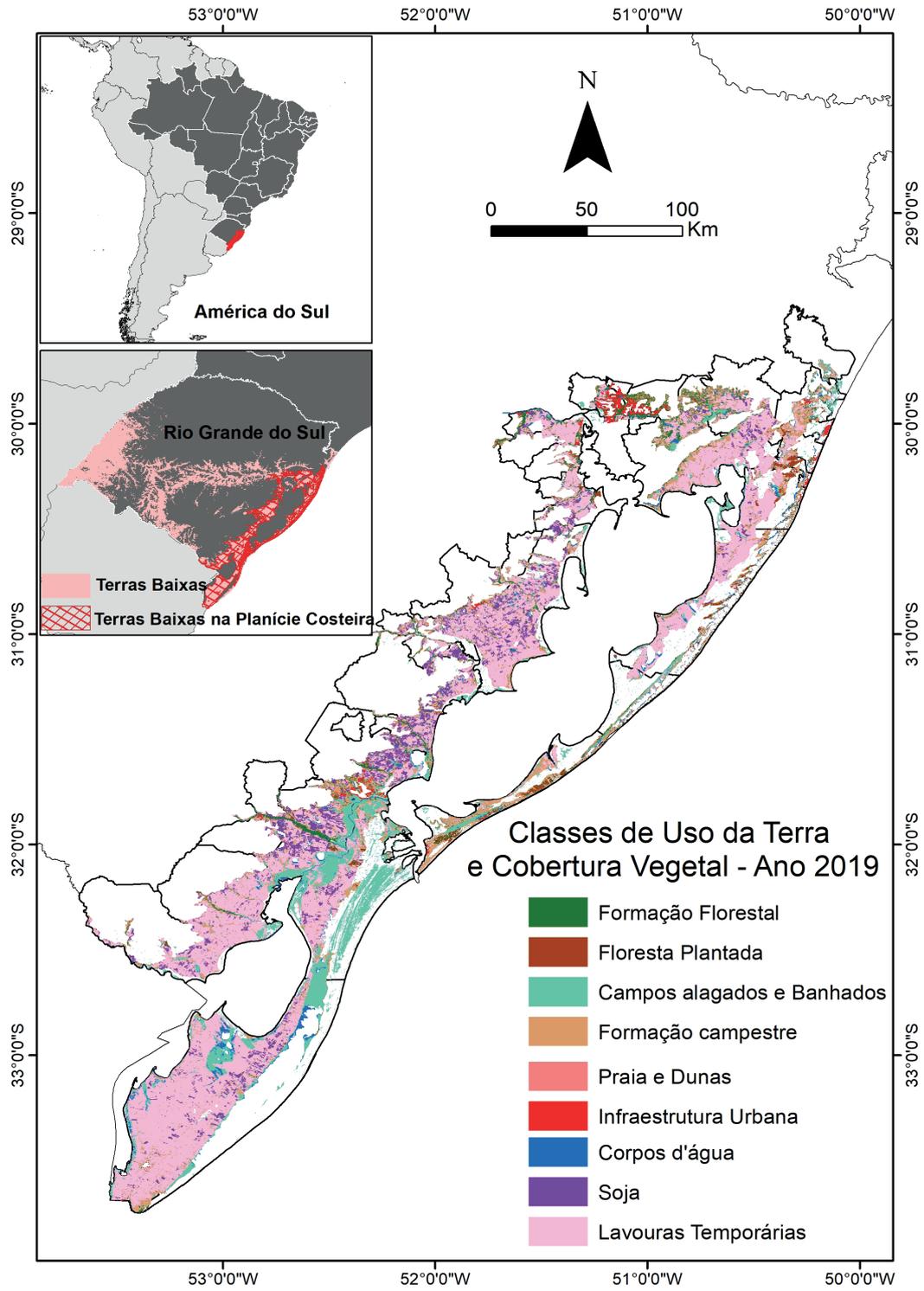


Figura 6. Classes de uso da terra e cobertura vegetal na área estudada no ano de 2019. (Fonte: Mapbiomas, 2020).

**Tabela 3.** Carbono na biomassa (Mg/ano), estimado a partir dos dados de carbono na biomassa (Mg/ha/ano), conforme IPCC (2006) e Theisen et al. (2017), para os diferentes usos de solo na região estudada nos anos de 1985, 2000 e 2019. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Classes de uso dos solos	Carbono na biomassa (Mg/ha/ano)	Carbono na biomassa (Mg/ano)		
		1985	2000	2019
Formação florestal	10,5	743.619	861.631	920.538
Floresta plantada	10	109.386	148.865	240.784
Campo alagado e banhado	4	906.444	869.343	908.920
Formação campestre	4	1.239.144	1.174.195	896.325
Arroz convencional *	4,617	4.694.273	4.683.061	4.405.232
Soja**				
Arroz e soja convencional	4,492		20.105	610.129
Arroz e soja direto	4,523		20.244	614.340
Camalhão com pastejo	8,713		38.997	1.183.449
Camalhão com pastejo leve	9,093		40.698	1.235.063

\* Totalidade da área mapeada como "outras culturas temporárias";

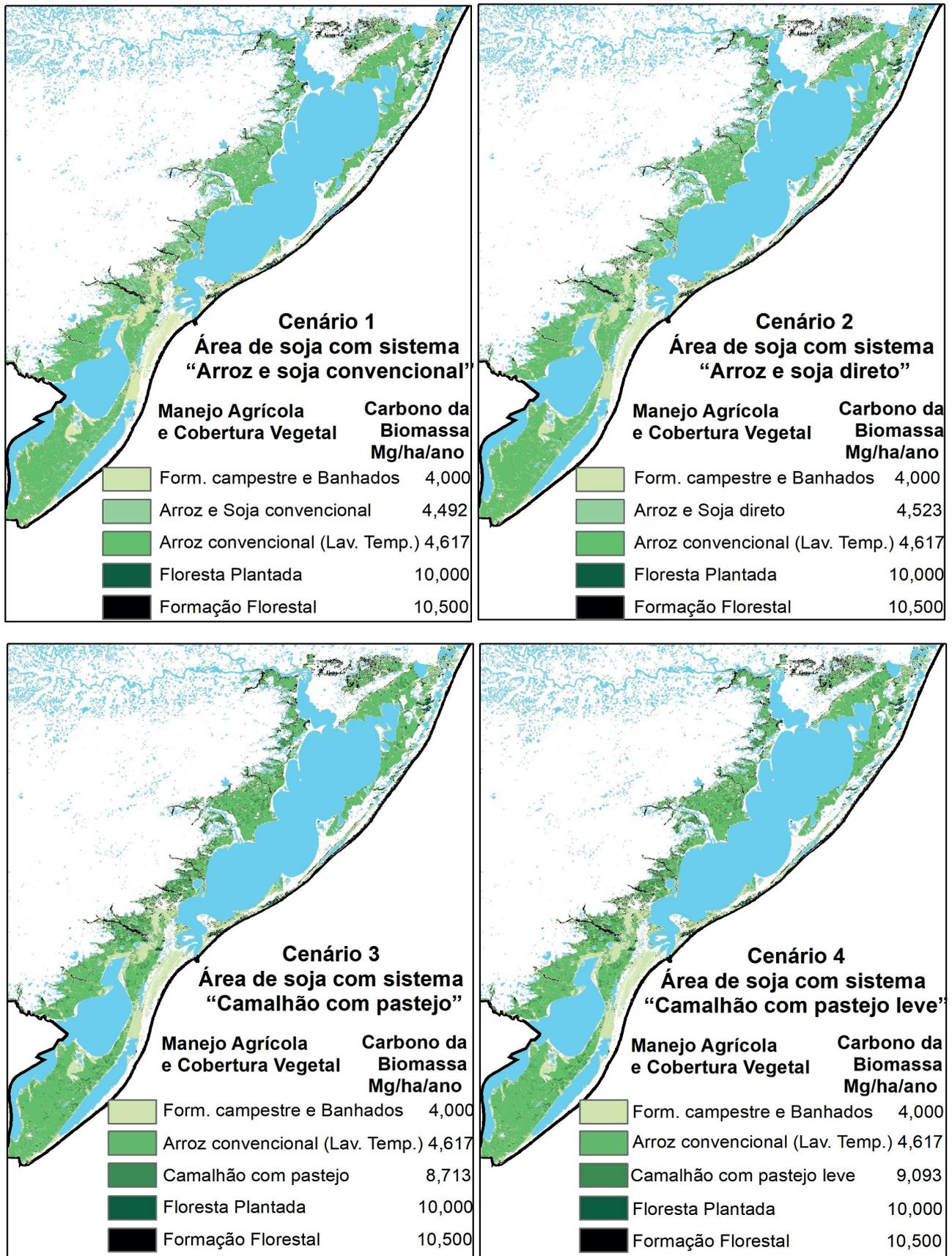
\*\*O C na biomassa foi calculado considerando os diferentes sistemas de produção propostos para a área de soja mapeada.

O armazenamento de carbono na biomassa da vegetação nos diferentes usos de solo está descrito na Tabela 3. Ao analisar o somatório de carbono na biomassa presente na área estudada, sob diferentes cenários propostos no presente trabalho, observa-se que o carbono presente na biomassa é incrementado com o novo sistema de produção nas terras baixas, especialmente pela possibilidade de cultivo no inverno (Tabela 4). A introdução de pastagens e/ou de plantas de cobertura nos solos drenados, em comparação ao sistema tradicional com pousio, agregou grande quantidade de biomassa (Theisen et al., 2017). Dessa forma, o serviço ambiental de regulação climática é favorecido, uma vez que o carbono na biomassa é uma das funções ecossistêmicas mais importantes para a provisão desse serviço (Laterra et al., 2015).

**Tabela 4.** Estimativa de carbono na biomassa (Mg/ha/ano) na área de terras baixas estudadas sob diferentes cenários de produção de soja nas terras baixas nos anos de 1985, 2000 e 2019: Cenário 1 (Área de soja com sistema "Arroz e soja convencional"), Cenário 2 (Área de soja com sistema "Arroz e soja direto"), Cenário 3 (Área de soja com sistema "Camalhão com pastejo") e Cenário 4 (Área de soja com sistema "Camalhão com pastejo leve"). Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Cenários	Ano		
	1985	2000	2019
Cenário 1	7.692.866	7.757.200	7.981.928
Cenário 2		7.757.339	7.986.138
Cenário 3		7.776.092	8.555.248
Cenário 4		7.777.793	8.606.862

Na Figura 7 é possível visualizar as diferenças de carbono considerando-se o uso do solo no ano de 2019. Foram demonstrados os quatro cenários descritos na Tabela 4. É possível perceber maiores áreas de soja, principalmente a oeste da Lagoa dos Patos, próximo ao município de Camaquã. Nos cenários 1 e 2, a soja não acrescenta carbono ao sistema através da biomassa, a qual é superior no plantio do arroz convencional. Já essa característica se modifica nos cenários 3 e 4, onde o sistema de arroz convencional irá sequestrar menor quantidade de carbono na biomassa do que os sistemas que incluem a soja e cultivos de inverno em camalhão. É importante salientar que os dados de carbono das áreas de banhados e formação campestre, e floresta plantada e formação florestal foram obtidos do IPCC (2006), enquanto as informações para as lavouras de arroz e soja, e demais sistemas associados foram obtidas em Theisen et al. (2017). Essa avaliação envolveu apenas o carbono da biomassa, e considerações sobre os conflitos (ou *trade-off*) entre os vários serviços prestados por esses ambientes devem ser avaliados (Ferraz et al., 2019).



**Figura 7.** Carbono na biomassa (Mg/ha/ano) estimado na área de terras baixas estudada no ano de 2019, sob os diferentes cenários propostos. Elaboração: Fábila Amorim da Costa.

**Tabela 5.** Carbono orgânico no solo (COS) conforme dados do IPCC (2006) para formação florestal, floresta plantada e campo alagado, e conforme Theisen et al. (2017) para demais usos, considerando-se os diferentes usos de solo na região estudada, nos anos de 1985, 2000 e 2019. Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Classes de uso dos solos	COS (Mg/ha)	Ano (Mg)		
		1985	2000	2019
Formação Florestal	88,00	6.232.236	7.221.284	7.714.985,52
Floresta Plantada	69,69	762.312	1.037.438	1.678.024,39
Campo alagado e área pantanosa	88,00	19.941.766	19.125.546	19.996.229,44
Formação Campestre	47,83	14.817.061	14.040.442	10.717.808,58
Arroz convencional *	27,92	28.387.285	28.319.486	26.639.391,96
Soja**		-		
Arroz e soja convencional	27,59		123.485	3.747.431
Arroz e soja direto	28,61		128.051	3.885.973
Camalhão com pastejo	34,33		153.652	4.662.896
Camalhão com pastejo leve	33,16		148.415	4.503.980

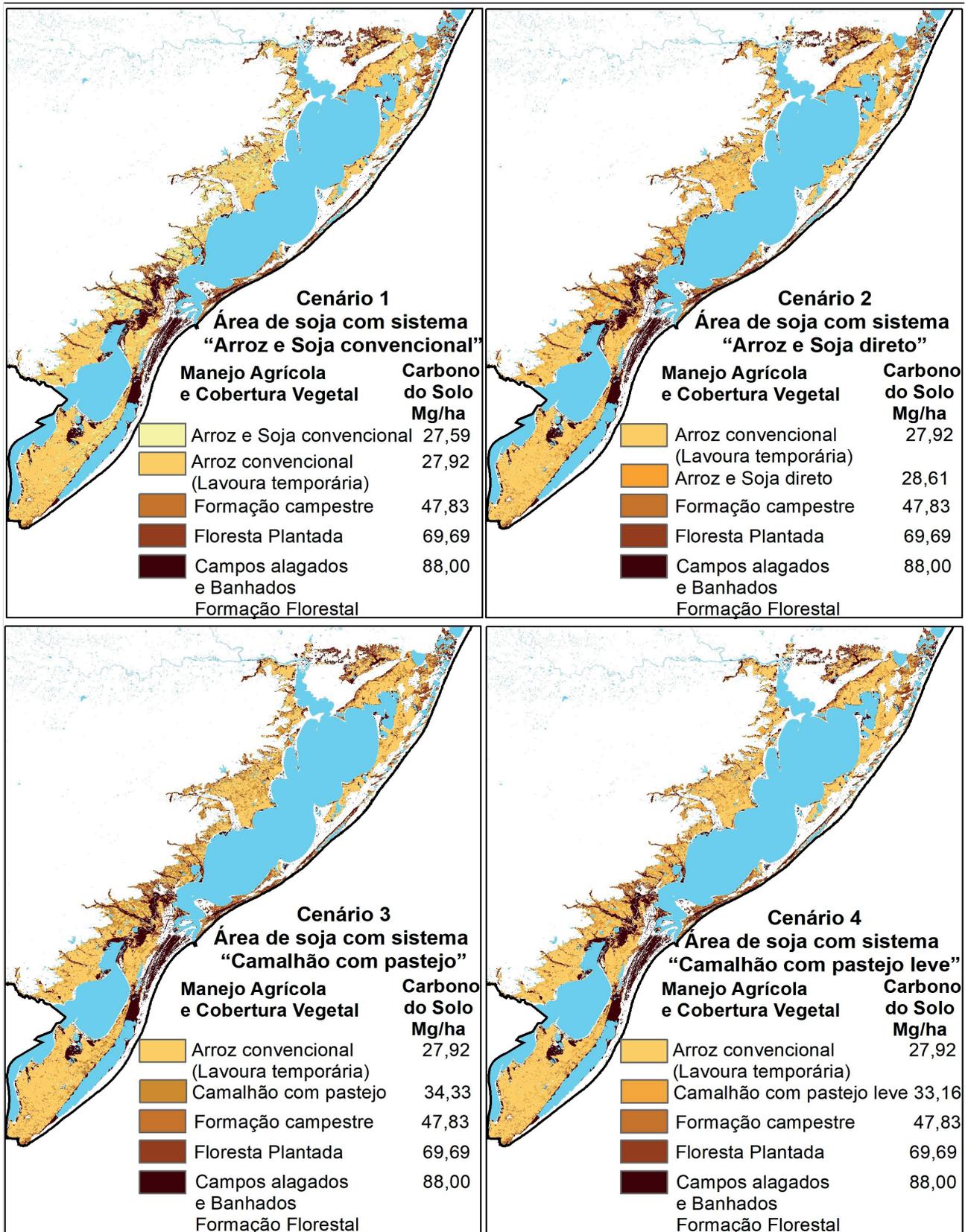
\* Totalidade da área mapeada como outras culturas temporárias.

\*\* O COS foi calculado considerando-se os diferentes sistemas de produção propostos para a área de soja mapeada.

**Tabela 6.** Estimativa de carbono no solo (Mg/ha) sob diferentes cenários de produção de soja nas terras baixas nos anos de 1985, 2000 e 2019: Cenário 1 (Área de soja com sistema “Arroz e soja convencional”), Cenário 2 (Área de soja com sistema “Arroz e soja direto”), Cenário 3 (Área de soja com sistema “Camalhão com pastejo”) e Cenário 4 (Área de soja com sistema “Camalhão com pastejo leve”). Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, 2021.

Cenários	Ano		
	1985	2000	2019
Cenário 1	70.140.660	69.867.681	70.493.870
Cenário 2		69.872.247	70.632.413
Cenário 3		69.897.848	71.409.335
Cenário 4		69.892.611	71.250.419

O carbono orgânico no solo (COS) na vegetação natural e floresta plantada apresenta os maiores valores (Tabela 5). Devido à grandeza das áreas ocupadas pela lavoura temporária (arroz irrigado), vegetação campestre e campos úmidos, esses três compartimentos são os responsáveis por cerca de 80% a 90% do estoque de carbono no solo, dependendo do cenário avaliado. Essas modificações podem ser visualizadas na Figura 8. O estoque de carbono no solo é função ecossistêmica de grande importância para a promoção de serviços ambientais de regulação climática. Uma observação intermediária, no ano 2000, permite verificar uma queda do estoque de COS para as áreas estudadas. Isso se deve, principalmente, à redução da área de campo alagado e área pantanosa, observada tanto em relação ao ano de 1985 como para 2019, além da redução da formação campestre verificada em relação ao ano de 1985. No estudo atual não foi possível analisar mapa com a cobertura original para estimar o estoque de COS de toda área antes de haver uso antrópico. Entretanto, os dados de Theisen et al. (2017) indicam uma importante diminuição nos valores de COS com a conversão de áreas de campos (47,8 Mg COS/ha) para implantação de lavouras de arroz (27,6 Mg COS/ha). Essa alteração representou uma perda aproximada de 20 Mg/ha dos estoques de COS, sendo que a implantação de melhores práticas agrícolas viabilizou a recuperação de apenas parte desse COS (obteve-se aproximadamente 34,33 Mg COS/ha no melhor cenário). Esses resultados são similares aos relatados por Martins et al. (2017).



**Figura 8.** Carbono orgânico no solo (COS) (Mg/ha) estimado na área de terras baixas estudada no ano de 2019, sob os diferentes cenários propostos. Elaboração: Fábía Amorim da Costa.

Ao se observar a Tabela 6 e a Figura 8, percebe-se que o Cenário 3 (Área de soja com sistema “Camalhão com pastejo”) seria o mais vantajoso do ponto de vista da manutenção do COS. O Cenário 2 (Área de soja com sistema “Arroz e soja direto”) resulta em um COS 0,19% maior em relação ao Cenário 1 (Área de soja com sistema “Arroz e soja convencional”). O Cenário 3 (Área de soja com sistema “Camalhão com pastejo”) apresenta um ganho de 1,29%, enquanto o Cenário 4 (Área de soja com sistema “Camalhão com pastejo

leve”) traria o aumento de 1,07% do COS para essa área. Apesar dos ganhos observados nos serviços de regulação climática, os serviços de suporte, como de biodiversidade e manutenção de habitats (Ferraz et al., 2019), podem ser afetados por essas mudanças.

A provisão de serviços ambientais de manutenção da biodiversidade pode ser estimada com base na cobertura vegetal da área, em especial a cobertura natural, a biomassa produzida, a existência de cursos hídricos e áreas úmidas, entre outros indicadores (Barral, 2017). A extensão de remanescentes de áreas naturais é um dos indicadores de biodiversidade propostos no Biomonitora - Sistema de Monitoramento da Biodiversidade do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2016). A análise do percentual de ocupação da área de estudo com lavouras temporárias indica que, em 1985, a cobertura natural já havia sido reduzida para pouco mais de 39% do total, enquanto no período de 1985 a 2019 observou-se perda de 5% de áreas naturais. Barral (2015) observou associação negativa entre a diversidade de aves com os sistemas de cultivo no Pampa argentino. Maltchick et al. (2017) salientam a alta diversidade de plantas aquáticas, anfíbios, macroinvertebrados bentônicos e aves em áreas de arroz irrigado e campos alagados. Os autores demonstram uma modificação na composição de espécies em áreas drenadas, além do aumento de espécies desses grupos com o número de anos de manutenção de plantio de arroz irrigado na área.

A necessidade de melhor entendimento sobre as relações entre os diferentes serviços ecossistêmicos em diferentes escalas se faz necessária para evitar um estímulo a um serviço em detrimento de outros, ocasionando mudanças bruscas e perdas inesperadas na provisão de serviços (Bennett et al., 2009).

## Considerações finais

As terras baixas no Rio Grande do Sul vêm passando por modificações no uso ao longo dos anos. A entrada de sistemas de produção com inserção da cultura da soja é o que mais vem crescendo. A possibilidade de inclusão de plantas de cobertura de solo e de pastagens em áreas tradicionalmente deixadas em pousio apresenta um ganho potencial em termos de serviços ambientais de regulação. Entretanto, pode haver perdas nesses serviços ambientais, caso a introdução do cultivo de soja ocorra em áreas de vegetação campestre.

Os sistemas de manejo adotados, bem como sua extensão de adoção podem levar a ganhos em serviços ambientais de regulação, porém conduzem a perdas em outros serviços, em especial os relacionados à biodiversidade.

Este trabalho avaliou apenas os serviços de regulação climática através da avaliação de COS e carbono na biomassa. Entretanto, estudos de demais serviços em nível de paisagem devem ser avaliados para auxiliar na tomada de decisão de condições de maior interesse para a provisão de diferentes serviços ambientais.

## Referências

- BARRAL, M. P. **Provisión de servicios ecosistêmicos em paisajes rurales: desarrollo de criterios y herramientas para el ordenamiento territorial rural**. 2015. 193 p. Tese. Programa de Posgrado em Ciências Agrárias, Facultad de Ciências Agrárias, Universidad de Mar del Plata.
- BARRAL, M. P. **Tutorial para el mapeo de funciones ecosistémicas y servicios ecosistémicos con ECOSER**, versión 2.1. 2017. Disponível em: <http://eco-ser.com.ar/>.
- BARRAL, M. P.; OSCAR, M.N. Land-use planning based on ecosystem-m service assessment: A case study in the southeast Pampas of Argentina. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 154, p. 34-43, 2012.
- BENNETT, E. M.; PETERSON, G. D.; GORDON, L. J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. **Ecology Letters**, v. 12, p 1-11, 2009.
- BLANCO, D. E.; LÓPEZ-LANÚS, B.; DIAS, R. A.; AZPIROZ, A.; RILLA, F. **Use of rice fields by migratory shorebirds in southern South America - Implications for conservation and management**. Totnes: Wetlands International, 2006.
- CAMPANHA, M. M.; PEDREIRA, B. C. C. G.; FIDALGO, E. C. C.; PARRON, L. M.; PRADO, R. B.; LIMA, I. B. T.; MONTEIRO, J. M. G.; FERRAZ, R. P. D.; TURETTA, A. P. D.; TONUCCI, R. G.; SILVA, G. B. S.; MATTOS, L. M.; SIMÕES, M. G.; PEIXOTO, R. T. G. Serviços ecosistêmicos: histórico e evolução. In: FERRAZ, R. P. D.; PRADO, R. B.; PARRON, L. M.; CAMPANHA, M. M. (ed). **Marco Referencial em Serviços Ecosistêmicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 37-54.
- CARREÑO, L.; FRANK, F. C.; VIGLIZZO, E. F. Tradeoffs between economic and ecosystem services in Argentina during 50 years of land-use change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 154, p. 68-77, 2012.
- COCENÇO, G.; AGUILA, L. S. H.; PARFITT, J. M. B.; SCIVITTARO, W. B. **Manejo da soja em terras baixas para alta produtividade**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2020. 9 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 207).
- COCENÇO, G.; PARFITT, J. M. B.; THIEL, C.H.; DEUNER, S.; TIMM, P. A.; CAMPOS, A. D. S.; AIRES, T. A.; SILVA, J. T. **Estabelecimento da cultura da soja em terras baixas em função do manejo e umidade do solo**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 25 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 290).
- DIAS, R. A.; BURGER, M. I. A assembléia de aves de áreas úmidas em dois sistemas de cultivo de arroz irrigado no extremo sul do Brasil. **Ararajuba**, v. 13, n. 1, p. 63-80, 2005.
- FERRAZ, R. P. D.; PRADO, R. B.; SIMÕES, M. G.; CAMPANHA, M. M.; FIDALGO, E. C. C.; LIMA, I. B. T.; TURETTA, A. P. D.; TONUCCI, R. G.; MONTEIRO, J. M. G.; PARRON, L. M. Serviços ecosistêmicos: uma abordagem conceitual. In: FERRAZ, R. P. D.; PRADO, R. B.; PARRON, L. M.; CAMPANHA, M. M. (ed.). **Marco Referencial em Serviços Ecosistêmicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 19-35.
- GUADAGNIN, D. L.; PERELLÓ, L. F. C.; MENEGHETI, J. O. A situação atual da caça de lazer e manejo de áreas úmidas no Rio Grande do Sul. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 2, n. 2, p. 63-70, 2007.
- GUADAGNIN, D. L.; MALTCHIK, L. Habitat and landscape factors associated with neotropical waterbird occurrence and richness in wetland fragments; **Biodiversity Conservation**, v. 16, p. 1231–1244, 2007.
- GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 393-408, 2002.
- IBGE. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 06 nov. 2021.
- IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2006.
- Disponível em: [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html). Acesso em: 06 nov. 2021.
- KING, S.; ELPHICK, C. S.; GUADAGNIN, D.; TAFT, O.; AMANO, T. Effects of landscape features on waterbird use of rice fields. **Waterbirds**, v. 33, p. 151-159, 2010.
- LATERRA, P.; BARRAL, P.; CARMONA, A.; NAHUELHUAL, L. **ECOSER**: protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistêmicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial. Inta, 2015. (Publicación Técnica, 99). Disponível em: <http://eco-ser.com.ar/>.
- MALTCHIK, L.; STENERT, C.; ROLON, A.; MACHADO, I.; GUADAGNIN, D. Diversidade em áreas úmidas. Lavouras de arroz podem proteger organismos aquáticos no Sul do Brasil? **Ciência Hoje**, v. 45, n. 269, p. 28-33, 2010.
- MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil**: Coleção 5.0. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 06 out. 2020.

- MARTINS, A. P.; DENARDIN, L. G. O. BORIN, J. B. M.; CARLOS, F. S.; BARROS, T.; OZÓRIO, D. V. B.; CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I.; CAMARGO, F. A. O.; CARVALHO, P. C. F. Short-term impacts on soil-quality assessment in alternative land uses of traditional paddy fields in southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 28, p. 534-542, 2017.
- MIURA, A. K.; IRIBARREM, P. C.; CHAVES, R. D.; CUNHA, H. N.; PRANKE, L. V. discriminação e delimitação das terras baixas no estado do Rio Grande do Sul: primeira aproximação. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 12 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 313).
- MOUSHANI, S.; KAZEMI, H.; KLUG, H.; ASADI, M. E.; SOLTANI, S. Ecosystem service mapping in soybean agroecosystems. **Ecological Indicators**, v. 121, 107061, 2021.
- NABINGER, C.; JAURENA, M. A.; OLIVEIRA, L. V.; COSTA, J. L. B. Manejo pecuário e conservação do campo nativo. In: CONGRESSO SOBRE O BIOMA PAMPA: REUNINDO SABERES, 1. **Anais**. TEIXEIRA FILHO, A.; WINCKLER, L.T. (ed.). Pelotas: Editora UFPel. 2020. p. 44-61.
- OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. P.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R.; FORNECK, E. D. Os campos sulinos: um bioma negligenciado. In: PILLAR, V. de P. (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: MMA, 2009. p. 26-41.
- PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J. A.; PAULETTO, E. A. Solos de várzea do sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: ARROZ irrigado no sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 75-95.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Projeto RS Biodiversidade. **Caderno de Resultados III: Sistema de Monitoramento da Biodiversidade**. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/projeto-rs-biodiversidade>. Acesso em: 06 nov. 2021.
- ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; PILLON, C. N.; LEAL, O. A. Conteúdo de carbono orgânico em planossolo háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 1769-1776, 2011.
- ROSITANO, F.; FERRARO, D. O. Ecosystem services provided by agroecosystems: a qualitative and quantitative assessment of this relationship in the Pampa region, Argentina. **Environmental Management**, v. 53, p. 606-619, 2014.
- SOUZA JÚNIOR, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2735, 2020. doi:10.3390/rs12172735.
- THEISEN, G.; SILVA, J. J. C.; SILVA, J. S.; ANDRES, A.; ANTEN, N. P. R., BASTIAANS, L. The birth of a new cropping system: towards sustainability in the subtropical lowland agriculture. **Field Crops Research**, v. 212, p. 82-94. 2017.
- THEISEN, G. **A comprehensive assessment of agriculture in lowlands of south Brazil**: characterization and comparison of current and alternative concepts. 2017. 234 f. Tese (Doutorado) - Wageningen University & Research, Wageningen, Netherlands, 2017. Orientadores: Niels P. R. Anten (Promotor) e Lammert Bastiaans (co-promotor).
- ZORTEA, R. B.; MACIEL, V. G.; MENEZES, W.; CYBIS, L. F. A.; SEFERIN, M. Cálculo de emissões de CO2 provenientes da mudança do uso da terra para produção de soja no estado do Rio Grande do Sul. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 727-735, 2019.

**Embrapa Clima Temperado**  
BR 392, Km 78, Caixa Postal 403  
Pelotas, RS - CEP 96010-971  
Fone: (53) 3275-8100  
[www.embrapa.br/clima-temperado](http://www.embrapa.br/clima-temperado)  
[www.embrapa.br/fale-conosco](http://www.embrapa.br/fale-conosco)

**1ª edição**  
Obra digitalizada (2021)



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações

Presidente

*Luis Antônio Suíta de Castro*

Vice-Presidente

*Walkyria Bueno Scivittaro*

Secretária-Executiva

*Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros

*Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando*

*Jackson, Marilaine Schaun Pelufê,*

*Sonia Desimon*

Revisão de texto

*Bárbara Chevallier Cosenza*

Normalização bibliográfica

*Marilaine Pelufê*

Editoração eletrônica

*Fernando Jackson*

Foto da capa

*Lilian Winckler*