

**I Congresso Brasileiro de Sistemas
Integrados de Produção Agropecuária**

IV Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil

ISBN: 978-85-99584-10-1

PALESTRAS

Intensificação com Sustentabilidade

UTFPR Câmpus Pato Branco

Pato Branco

2017

I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção
Agropecuária
e
IV Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil

ISBN: 978-85-99584-10-1

Palestras

intensificação com sustentabilidade

UTFPR Câmpus Pato Branco
Pato Branco
2017



Reitor: Luiz Alberto Pilatti.

Vice-Reitora: Vanessa Ishikawa Rasoto.

Diretor do Câmpus Pato Branco: Idemir Citadin.

Editor Científico da Editora UTFPR Câmpus Pato Branco: Jorge Jamhour.



© 2017 Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Pato Branco.
Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons -
Atribuição - Não Comercial - Sem Derivações 4.0 Internacional.

Esta licença permite o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.
Disponível também em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/cursos/coagr/eventos/cbsipa-eilpsb>>.

Palestras: intensificação com sustentabilidade

1. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária e
 4. Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil
- 21 a 24 de agosto de 2017 – Centro de Convenções de Cascavel, Cascavel-PR

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

P157

630. I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária e IV Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil / Jorge Jamhour, Tangriani Simioni Assmann (orgs.). – Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. 165 p.: Il.

Modo de acesso: Word Wide Web:
<<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/cursos/coagr/eventos/cbsipa-eilpsb>>
Inclui bibliografia
ISBN: 978-85-99584-10-1

1. Agronomia. 2. Fitotecnia. 3. Pastagem. 4. Adubação
5. Bovinos - Criação. I. Jamhour, Jorge, org. II. ; Assmann, Tangriani Simioni, org. III. Título.

CDD (22. ed.) 630

Ficha Catalográfica elaborada por
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Câmpus Pato Branco

Organizadores

Jorge Jamhour, Dr.
UTFPR/ Pato Branco – Brasil

Tangriani Simioni Assmann, Dr^a.
UTFPR/ Pato Branco – Brasil

Composição e diagramação final

Jorge Jamhour
LabEditor – UTFPR Câmpus Pato Branco

UTFPR Câmpus Pato Branco
Via do Conhecimento, km 01
Pato Branco – PR 85503-390

Eixo Temático 4:

Avanços técnico-científicos

Avanços técnico-científicos em SIPA no subtropico brasileiro

Anibal de MORAES ¹; Adelino PELISSARI ¹; Paulo César de Faccio CARVALHO ²; Ibanor ANGHINONI ³; Sebastião Brasil Campos LUSTOSA ⁴; Alvadi Antonio BALBINOT JUNIOR ⁵; Claudete Reisdorfer LANG ¹; Tangriani S. ASSMANN ⁶; Alceu ASSMANN ⁷; Jonatas Thiago PIVA ⁸; Maurício Zanovello SCHUSTER ¹; Taise Robinson KUNRATH ²; Amanda Posselt MARTINS ³

¹ Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo – UFPR, anibalm@ufpr.br

² Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia – UFRGS, paulocfc@ufrgs.br

³ Departamento de Solos – UFRGS, anghinoni@ufrgs.br

⁴ Departamento de Fitotecnia – UNICENTRO, slustosa@unicentro.br

⁵ Embrapa Soja, alvadi.balbinot@embrapa.br

⁶ Departamento de Solos – UTFPR, tangrisimioni@gmail.com

⁷ Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, assmann@iapar.br

⁸ Departamento de Solos – UFSC, jonatas.piva@ufsc.br

Abstract – This chapter tries to tell the history of the research in Integrated Crop Livestock Systems (ICLS) in the Brazilian subtropics, from the origin, to the most recent scientific works, the institutions and groups of researchers involved. The long-term SIPA research protocols, as well as the evolution in the knowledge of the main indicators, which can help in understanding the intricate process of soil-plant-animal-atmosphere relationships, are described. The research groups registered with the CNPq working on ICLS in the South of the Country are: GPILP and GPPIA of UFPR, which became known as the Nucleus of Technological Innovation in Agriculture (NITA), GPSIPA-UFRGS, which together with the NITA formed the ICLS Alliance, the GISPA-UTFPR and the SIPA-UFSC research group. The performance of educational institutions culminated in a total of 141 theses and dissertations defended in ICLS. Because of this, there was an exponential increase in the number of articles published in indexed journals over the last 23 years. The main indicators evaluated were aimed at understanding the impact of the replacement of the winter cover crop by pasture. It was, mainly, evaluated the effect of grazing on the agricultural systems, since much of the soil-plant-animal-atmosphere relationships are mediated by the effect of the animals on the system. The new research challenges contemplate the search for answers to the following question: "What are the emerging processes involved in the different routes of energy and mass fluxes at the soil-plant-animal-atmosphere interface, which contribute to increasing the efficiency of the system?"

Keywords: Soil and water conservation. Nutrient cycling. Integrated Crop-Livestock Systems. Pastures. Animal production.

Resumo – Este capítulo procura contar a história da pesquisa em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) no subtropico brasileiro, abordada desde a origem, até os mais recentes trabalhos científicos, as instituições e grupos de pesquisadores envolvidos. Estão descritos os protocolos de pesquisa em SIPA, considerados como de longa duração, além da evolução no conhecimento dos principais indicadores, que podem ajudar no entendimento do intrincado processo das relações solo-planta-animal-atmosfera. Os Grupos de Pesquisa registrados no CNPq atuando em Integração Lavoura-Pecuária no Sul do País são: GPILP e GPPIA da UFPR que passaram a atuar sob a denominação de Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA), o GPSIPA-UFRGS, que junto com o NITA constituíram a Aliança SIPA, o GISPA-UTFPR e o grupo de pesquisa SIPA-UFSC. A atuação das instituições de ensino culminou em um total de 141 teses e dissertações defendidas em SIPA. Em decorrência disto, constatou-se um aumento exponencial no número de artigos publicados em revistas indexadas ao longo dos últimos 23 anos. Os principais indicadores avaliados tiveram por objetivo entender o impacto da transformação da cobertura vegetal no inverno, em área de pastagem, avaliando o efeito do pastejo sobre os sistemas agrícolas, na medida em que boa parte das relações solo-planta-animal-atmosfera, é mediada pelo efeito dos animais no sistema. Os novos desafios para a pesquisa contemplam à busca de respostas para a seguinte pergunta: "Quais são os processos emergentes envolvidos nas diferentes rotas dos fluxos de energia e massa na interface solo-planta-animal-atmosfera, que contribuem para o aumento da eficiência do sistema?"

Palavras-chave: Conservação do solo e da água. Ciclagem de nutrientes. Sistemas Integrados de Cultivo-Pecuária. Pastagens. Produção animal.

Como Citar (NBR 6023)

MORAES, Anibal de et al. Avanços técnico-científicos em SIPA no subtropico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4., 2017, Cascavel. **Palestras:** intensificação com sustentabilidade. Pato Branco: UTFPR. 2017. p. 102–124. ISBN - 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>

INTRODUÇÃO

No sul do Brasil os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) têm sido propostos pela diminuição de risco no negócio agrícola e como alternativa ao menor interesse nas rotações com culturas de inverno.

Na região sul do Brasil há intensa ocupação das áreas cultivadas na primavera/verão, destacando-se o cultivo da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), com aproximadamente 11,5 milhões de ha. A área com milho primeira safra (*Zea mays* L.) é estimada em 1,7 milhões de ha, de feijão primeira safra (*Phaseolus vulgaris* L.) cerca de 0,3 milhões de ha e a de arroz (*Oryza sativa* L.) em torno de 1,2 milhões de ha com cultivo anual (CONAB, 2017). No entanto, no outono/inverno, a área semeada com trigo (*Triticum aestivum*), aveia branca (*Avena sativa* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.), triticale (*X triticosecale* Witt.) e centeio (*Secale cereale* L.) tem sido de, aproximadamente 2,0 milhões de ha. Por sua vez, a área de milho safrinha em 2017 foi de, aproximadamente, 2,4 milhões de ha, sobretudo no oeste e norte do PR (CONAB, 2017). Nesse contexto, subtraindo a área com cereais de inverno e milho safrinha, restam cerca de 10,3 milhões de hectares sem renda durante o outono/inverno, com áreas em pousio ou com culturas de cobertura, que em sua maioria são compostas por gramíneas (principalmente aveia preta e azevém anual) com potencial uso como forragem. É justamente neste exato período em que falta alimento para a pecuária tradicional no Sul do Brasil, que é baseada em pastagens naturais ou cultivada de ciclo estival (em sua maioria composta de espécies tropicais, com concentração da distribuição da produção entre os meses de outubro a março).

A utilização de culturas de coberturas promove diversos benefícios para o agroecossistema, por exemplo, melhoria da qualidade do solo, redução da infestação por plantas daninhas, redução do potencial de erosão do solo, entre outras. Entretanto, no contexto econômico e social que vivemos atualmente (i.e., estimativa de aumento da população mundial em 34% até 2050 [FAO, 2016]). Não há justificativas plausíveis para que essas áreas não produzam alimento, riqueza e empregos ao longo de todo ano. Isso evitaria a necessidade de exploração de novas fronteiras agrícolas para atender a demanda alimentar crescente e consequentemente reduziria a pressão sobre os recursos naturais existentes.

A esse modelo tradicional do uso do solo (i.e., com uso de culturas de coberturas) é que se contrapõe o sistema de SIPA no Sul do Brasil, ou seja, todas as áreas deixadas apenas com cobertura para o plantio direto, que no verão são cultivadas por lavoura (milho, feijão, soja, arroz), são destinadas à produção animal, sob pastagens anuais de inverno, a fim de aumentar a produção de alimento por unidade de área e, consequentemente aumentar o retorno econômico. Contudo, após a proposição dessa nova forma de utilização das áreas agrícolas, surgiram indagações sobre possíveis impactos negativos do pastejo sobre a cultura de cobertura para o sistema plantio direto (i.e., perda dos benefícios da cultura de cobertura para o agroecossistema). Diversos paradigmas ainda persistem no meio agropecuário, como o fato de que o animal possa extrair nutrientes do sistema, afetar as características físicas do solo e/ou não possibilitar, após o pastejo, a manutenção de uma cobertura vegetal no solo, suficiente para uma adequada semeadura direta sobre a palhada.

Como veremos nesta revisão, a maioria dos trabalhos de pesquisa, desenvolvidos no subtropical brasileiro, tiveram por objetivo entender e desmistificar o impacto da transformação da cobertura vegetal no inverno em área de pastagem, avaliando o efeito do pastejo sobre os sistemas agrícolas, na medida em que boa parte das relações solo-planta-animal-atmosfera, decorrentes da integração da pecuária com a lavoura, é mediada pelo efeito dos animais no sistema.

Pelo fato do tema tratar de avanços técnico-científicos, cabe em um primeiro momento apresentar o histórico da pesquisa em SIPA no subtropical brasileiro, descrevendo a origem dos primeiros trabalhos, as instituições e grupos de pesquisadores envolvidos. Em um segundo momento, são descritos os protocolos de pesquisa em SIPA, considerados como de longa duração, além da apreciação da evolução no conhecimento dos principais indicadores, que podem ajudar no melhor entendimento do intrincado processo das relações solo-planta-animal.

2. HISTÓRICO DA PESQUISA EM SIPA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO

O primeiro projeto de pesquisa em SIPA no subtrópico brasileiro teve seu início no ano de 1995 no Paraná, numa parceria entre a UFPR com a Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), pertencente à Cooperativa Agrária, situada no município de Guarapuava. Em razão dos resultados alcançados e da amplitude das demandas que surgiram, foi proposta a criação de uma linha de pesquisa em Integração Lavoura-Pecuária junto ao curso de Pós-graduação em Agronomia-Produção Vegetal da UFPR, que teve sua aprovação no ano de 1999, vindo logo adiante, chamar-se Sistemas Integrados na Produção Vegetal, por sugestão da CAPES. A novidade da pesquisa em SIPA, iniciada em meados dos anos 90 em Guarapuava, e que a ciência brasileira apresentou ao mundo, foi o uso desse sistema sob os pilares da agricultura conservacionista. Pela primeira vez a pesquisa demonstrou o efeito positivo do pastejo em áreas que rotacionavam a pastagem com as lavouras em plantio direto, interagindo de forma sinérgica e, aportando aos sistemas integrados, novas propriedades. A partir desta pesquisa, iniciada com o apoio da Cooperativa Agrária por intermédio da sua fundação de pesquisa – FAPA, outras pesquisas foram estabelecidas dentro da mesma linha, em outras regiões do subtrópico brasileiro.

A partir de 1998 começam a ser publicados os primeiros resultados obtidos no da parceria da UFPR com a FAPA, podendo citar-se a produção da dissertação defendida junto ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração de Ciência do Solo: Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema de plantio direto, de autoria de Sebastião Brasil Campos Lustosa.

Igualmente, pode-se citar a produção dos primeiros artigos científicos publicados a partir desta parceria, sendo que Assmann et al. (2003) publicaram trabalho em que avalia o efeito residual de adubação nitrogenada aplicada na fase de pastagem sobre a produtividade de lavoura de milho cultivada na sequência. Ainda avaliando os resultados desta parceria Assmann et al. (2004) avaliaram o efeito de adubações nitrogenadas e a presença ou não de leguminosa na pastagem sobre a produção animal em sistema integrado de produção agropecuária.

Após divulgação dos primeiros resultados deste projeto houve o interesse da multinacional Monsanto em financiar um projeto para o desenvolvimento regional no arenito, na região oeste do Paraná, em três municípios - Umuarama, Mandaguaçu e Planaltina, utilizando o mesmo conceito dos sistemas integrados, mas voltado para áreas de pastagens degradadas. O projeto teve início em 1996, inspirado na experiência do Sr. Nono Pereira, produtor de Palmeira-PR, que já utilizava o plantio direto de soja sobre campo nativo degradado, e ao fato do solo ser também de textura arenosa. Constatou-se após cinco anos do início deste projeto, um grande avanço no uso do solo desta região com lavouras de verão (i.e., mais de 300 mil hectares). Anteriormente os solos desta região não eram cultivados com lavouras, por se considerar como inaptos ao cultivo agrícola e, em sua maioria cobertos com pastagens degradadas. Em decorrência dos resultados exitosos alcançados, a Cooperativa Coamo iniciou em 2002, um projeto de pesquisa em SIPA numa parceria com a UFPR e o IAPAR, que serviu como local para a difusão deste sistema aos seus cooperados por uma década (2002-2012).

Outra cooperativa que buscou apoio na pesquisa em SIPA foi a Castrolanda, situada no município de Castro-PR, financiando durante cinco anos um projeto de sistemas integrados lavoura-pecuária de leite, tendo seu início em 2003. Neste projeto buscou-se responder as principais questões levantadas pelos produtores desta cooperativa como: a) é viável economicamente a produção de leite e a criação de novilhas tendo como base alimentar a pastagem integrada com as lavouras de verão, b) as vacas que apresentam um padrão genético voltado para a produção em sistema confinado estariam adaptadas a proceder sua busca de alimento em pastejo? c) A presença dos animais em pastejo poderia trazer alguma consequência negativa ao solo agrícola? e, d) a criação das novilhas poderia ser feita exclusivamente a pasto sem prejuízo futuro ao seu potencial leiteiro? Todas estas questões foram respondidas ao longo dos cinco anos em várias reuniões técnicas e dias de campo promovidos pela cooperativa, UFPR e Fundação ABC. O paradigma do efeito negativo da introdução de animais para pastejo em áreas agrícolas foi quebrado e atualmente integração lavoura-pecuária passou a ser uma realidade em muitas propriedades dessa região.

Em 2003 na região do Sudoeste do Paraná, estabeleceu-se uma parceria entre o IAPAR e a UTFPR – campos Pato Branco, onde se criou um protocolo de pesquisa para estudar vários aspectos para o desenvolvimento do SIPA voltado à agricultura familiar, principalmente para o crescimento e desenvolvimento na produção de leite a pasto. Esta parceria buscou encontrar soluções para os principais problemas na produção de forragem durante o período de maior escassez de alimento na região (i.e., outono/inverno) com a intensificação da produção agropecuária sustentável. Os estudos tiveram como foco a conservação do solo, manejo da adubação e da pastagem, consórcio entre gramíneas e leguminosas forrageiras, adaptação e recomendação das forrageiras anuais de inverno e a produção de pastagens e grãos. Com os avanços científicos obtidos e consequente adoção das tecnologias pelos produtores rurais, o período tradicional de escassez de forragem (i.e., outono/inverno) foi revertido no de maior quantidade e qualidade de forragem, favorecendo o desenvolvimento sustentável da região.

No ano de 2006 a UNICENTRO de Guarapuava, estabeleceu um protocolo de pesquisa em parceria com a UFPR que perdura até os dias atuais.

Na região Noroeste do PR, a Embrapa e o IAPAR têm desenvolvido uma parceria com a Cooperativa Cocamar para estudar modelos de SIPA adequados à realidade de solos arenosos. O objetivo inicial dos trabalhos foi de viabilizar a inserção da cultura da soja em áreas de pastagem perene, sobretudo formadas por braquiárias, que geralmente estavam em estado de degradação com a produção animal comprometida.

Na região Norte do PR, em que predomina a sucessão soja/milho safrinha, trabalhos com SIPA têm sido desenvolvidos com maior intensidade na última década, principalmente para disponibilizar sistemas mais diversificados para os produtores da região. Nesses trabalhos, verificou-se a grande contribuição de pastagens de braquiárias (i.e., *Urochloa brizantha* e *U. ruziziensis*) na melhoria de atributos de solo, gerando ganhos expressivos na soja em sucessão (i.e., 5 a 10 sacas/ha) em relação ao modelo tradicional de cultivo da soja após o milho safrinha. Além disso, o consórcio do milho safrinha com braquiárias, possibilita a produção de forragem nos meses de junho a setembro, momento de grande escassez de alimento.

Em Santa Catarina a pesquisa em sistemas integrados de produção agropecuária tem sido desenvolvida por diversas instituições de ensino e pesquisa, a partir dos resultados dos primeiros estudos realizados no Paraná na década de 90, como descrito anteriormente. O primeiro trabalho de pesquisa iniciou em 2006, numa parceria entre a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) e a UFPR no município de Canoinhas. Esse trabalho visou avaliar a viabilidade técnica e econômica da integração de lavouras de primavera/verão (especialmente milho para produção de grãos ou silagem, soja e feijão comum) e, no outono/inverno, o uso das áreas com pastagens consorciadas com aveia-preta e azevém, para produção de leite ou carne. As principais instituições que estão atuando na pesquisa em SIPA atualmente em Santa Catarina são: EPAGRI, EMBRAPA, UDESC, UNOESC e UFSC com seu campus no município de Curitiba, região central do estado.

No Rio Grande do Sul, no início dos anos 2000, a UFRGS iniciou a pesquisa em SIPA, já em plantio direto e na concepção de SIPA que entendemos atualmente, pela criação do protocolo experimental hoje denominado de SIPAmgp (ver Item 3). Esse experimento surgiu precisamente em 2001, da demanda de um aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS, então Professor do CEFET Pato Branco/PR (hoje, UTFPR). A pesquisa em sistemas de integração lavoura-pecuária era uma demanda importante e prioritária do seu grupo de pesquisa naquela instituição. Dessa demanda, houve a junção de professores de dois Departamentos da Faculdade de Agronomia – um de Solos e outro de Forrageiras e Agrometeorologia, cuja parceria científica perdura até os dias de hoje e deu origem ao GPSIPA – Grupo de Pesquisa em Sistema Integrado de Produção Agropecuária. Esse experimento foi instalado na propriedade da Família Garcia de Garcia, mais precisamente na Fazenda do Espininho, em São Miguel das Missões/RS, e trata-se, atualmente, de um dos protocolos mais antigos de SIPA no RS. Os tratamentos consistem de diferentes alturas de manejo do pasto hibernar (aveia preta + azevém), sendo 10, 20, 30 e 40 cm, além de áreas de exclusão do pastejo, com lavoura de soja no verão. A proposta inicial era simples: como manejar o gado de modo a não impactar negativamente o solo e, ao mesmo tempo, fornecer resíduo

suficiente para a consolidação do plantio direto. Entretanto, a partir da sua implantação, houve o deslumbramento de uma série infindável de possibilidades, envolvendo a multidisciplinaridade dos objetos de pesquisa e a necessária abordagem sistêmica, para o entendimento dos processos e o avanço científico-tecnológico.

Posteriormente, em 2003, um novo experimento sobre SIPA foi instalado no município de Eldorado do Sul/RS (hoje denominado de SIPApp – ver Item 3), na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, com lavoura no verão (soja/milho) e pastoreio de ovinos no inverno (pasto de azevém). Os objetos de estudo consistiram em avaliar as diferenças entre: 1) métodos de pastoreio (rotativo e contínuo); e 2) rotação soja/milho ou sucessão soja/soja no verão; além de áreas de exclusão do pastejo. Inicialmente, os estudos foram concentrados na produção animal e forrageira; mas, nos anos mais recentes, estudos multidisciplinares começaram a ser desenvolvidos com maior atenção ao componente solo. Após a safra agrícola de 2016/2017, o experimento foi reformulado, realizada a correção da acidez do solo e novos tratamentos foram aplicados em sua área, após uma análise criteriosa de diferenças no terreno oriundas dos tratamentos anteriores. Assim, atualmente o experimento testa a adoção ou não do SIPA, com pastejo de ovinos no inverno e lavoura de soja no verão, e a adubação de sistemas, com aplicação total do fósforo e do potássio na pastagem ou na lavoura e, o nitrogênio, sempre na pastagem.

Por fim, o mais recente experimento de SIPA oriundo do GPSIPA da UFRGS é o SIPAtb (ver Item 3). Ele foi iniciado em 2013 e está sendo conduzido em área pertencente à Fazenda Corticeiras, no município de Cristal/RS. O trabalho nasceu de uma parceria entre a UFRGS, EMBRAPA, Integrar, SIA e IRGA e aborda sistemas de produção agrícola (arroz irrigado, soja e milho) integrados com pecuária de corte em terras baixas. A principal questão que levou à idealização desse experimento é a crescente descapitalização dos produtores de arroz no RS, pelo esgotamento das fontes de financiamento a juros baixos para a produção do cereal e sua comercialização, bem como o processo de globalização e liberação das economias, que não mais permitem que se alcancem as margens de ganhos obtidas no passado, mesmo com os atuais níveis de produtividade, que se equiparam ao dos países mais produtivos. O binômio de produção arroz irrigado-pecuária extensiva tem se mostrado ineficiente, pouco diverso e de alto risco, também determinado pela dominância do sistema de arrendamento, gerando receita única para os parceiros: carne ao proprietário e arroz ao arrendatário. Nesse sentido, o propósito do projeto e do experimento é o de fomentar a diversificação de culturas integradas à produção pecuária em manejos conservacionistas do solo, em áreas historicamente destinadas ao cultivo de arroz; a partir da introdução de soja, milho, capim sudão e forrageiras de inverno no contexto das propriedades rurais na metade sul do RS. O que se testa são, portanto, sistemas de produção de arroz irrigado, que variam a diversidade dos cultivos agrícolas e a intensidade temporal da fase pastagem e do cultivo do arroz irrigado, em cenários que se aplicam a todas as regiões arrozeiras do RS.

3. A PRODUÇÃO CIENTÍFICA EM SIPA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO

Instituições e grupos de pesquisa atuando em SIPA

A atuação das instituições de ensino culminou em um total de 141 teses e dissertações defendidas em SIPA. Sendo formados 88 mestres e 52 doutores (Figura 1). O grande volume de teses e dissertações em SIPA é decorrência da forte motivação dos grupos de pesquisadores que geram e difundem a importância de modelos sustentáveis de desenvolvimento para um público mais amplo. As informações geradas pela pesquisa das teses e dissertações (efeito imediato ou de curto prazo) têm sido úteis na atualização de gerações de técnicos, de estudantes das ciências agrárias e de produtores que apresentem um perfil de busca constante pela inovação tecnológica. Também têm sido relevantes para o avanço científico do subtropico brasileiro promovendo a ampliação da competitividade da agricultura sul brasileira o que contribui, entre outras coisas, para a soberania nacional. Já o capital humano formado, decorrente desse legado de teses e dissertações em SIPA no subtropico brasileiro (um verdadeiro exercito de 88 mestres e 52 doutores em SIPA), no médio e longo prazo, está

habilitado a gerar transformações ainda mais profundas no modelo agropecuário sul brasileiro nas próximas décadas.

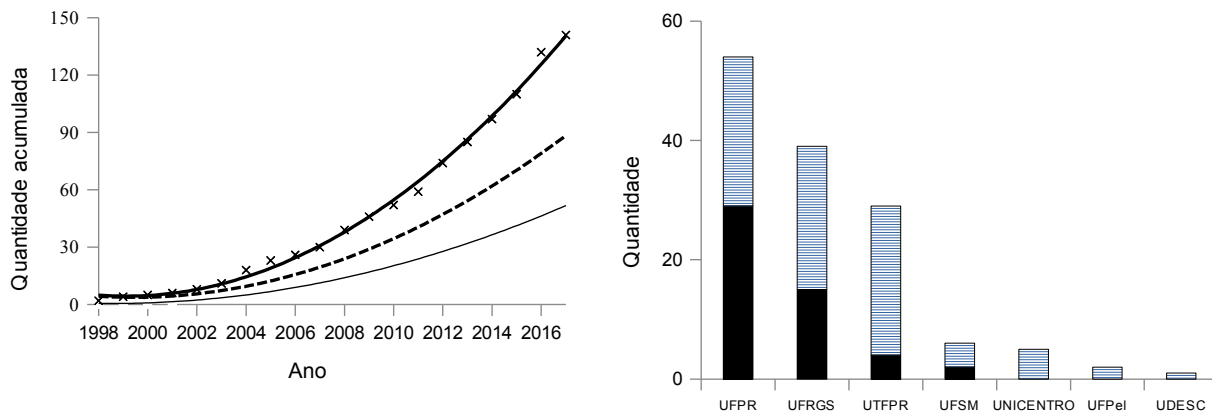


Figura 1 – Quantidade e quantidade acumulada de teses e dissertações defendidas no subtropico brasileiro com o tema de sistemas integrados de produção agropecuária de 1998 a 2017.

O primeiro Grupo de Pesquisa em Integração Lavoura-Pecuária (GPILP) do País, foi registrado pela UFPR junto ao CNPq em 2002 (atualmente, a UFPR apresenta o maior número de defesas de mestrado e doutorado com, respectivamente, 25 e 29 defesas registradas [Figura 2]), que passou a atuar sob a denominação de Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA). Ainda no mesmo ano foi criado pela UTFPR o Grupo de pesquisa interação solo-planta-animal (GISPA) que passou a focar em estudos para o entendimento do conceito da adubação de sistema, como forma de aumentar a eficiência de uso dos nutrientes na produção de alimentos. No Rio Grande do Sul, em 2002 foi criado o Grupo de Pesquisa em Ecologia do Pastejo (GPEP), que aninhava o atual GPSIPA (Grupo de Pesquisa em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária – criado em 2014). Em Santa Catarina foi criado em 2013 junto ao CNPq, o grupo de pesquisa em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA-UFSC).

As teses e dissertações defendidas com o tema de SIPA no subtropico brasileiro se concentram em três grandes áreas: produção vegetal, zootecnia e ciência do solo (Figura 2). Quase metade do recurso humano formado em SIPA foi da área de produção vegetal (i.e., 69 mestres e doutores).

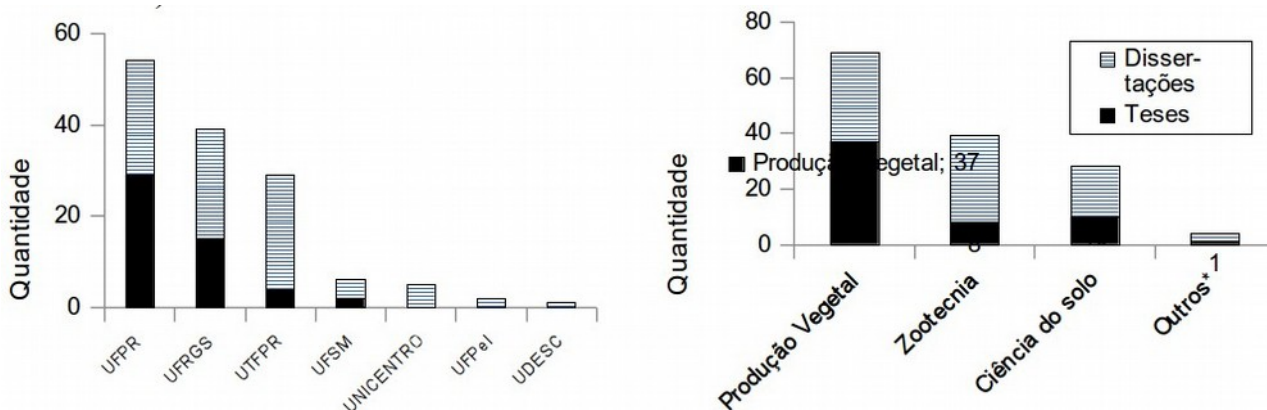


Figura 2 – Quantidade de teses e dissertações defendidas no subtropico brasileiro com o tema de sistemas integrados de produção agropecuária de 1998 a 2017 por instituição de ensino e programa de Pós-graduação. *Outros programas: Agricultura de precisão; Sistemas de produção agrícola familiar; Engenharia Agrícola; Agrobiologia.

Aliança SIPA

A Aliança SIPA é liderada pelo Grupo de Pesquisa em Sistema Integrado de Produção Agropecuária (GPSIPA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e pelo Núcleo de Inovação em Tecnologia Agropecuária (NITA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), reconhecidos como os mais sólidos e capilarizados grupos de trabalho em integração lavoura-pecuária no Brasil. Somam-se a estes, pesquisadores e gestores de instituições nacionais e internacionais, como Estados Unidos, França, Uruguai, Argentina, Colômbia e Austrália, compondo uma rede de trabalho multidisciplinar de pesquisa em sistemas integrados, consolidada ao longo das últimas duas décadas. Em nível nacional participam: UFSM, UNICENTRO, IAPAR, UTFPR, MAP, CNPq, CAPES, Fundação Agrisus, EMBRAPA, Juntos para competir (Sistema FARSUL), Integrar - Gestão Agropecuária e Serviço de Inteligência em Agronegócio. Em nível internacional participam: University of California - Davis (EUA), INRA (França), Udelar (Uruguai), INIA (Uruguai), The Ohio State University e The University of Queensland (Austrália).

Protocolos experimentais liderados pelo GPSIPA/NITA

O projeto Aliança SIPA engloba quatro protocolos experimentais de longa duração envolvendo sistemas integrados de produção agropecuária no ambiente subtropical brasileiro: 1. Sistema integrado para médias e grandes propriedades em terras altas (coxilha) -SIPAmgp; 2. Sistemas integrados para pequenas propriedades em terras altas (coxilha) -SIPApp; 3. Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas (várzea) - SIPAtb; e 4. Sistemas integrados de produção agropecuária na promoção da sustentabilidade em área de proteção ambiental (SIPA-APA).

Todos os protocolos visam à produção de alimentos, a diversificação de renda, a sustentabilidade dos empreendimentos rurais e a preservação do ambiente. O primeiro aborda um modelo de integração que alterna lavouras de soja com pastejo bovino no inverno. Este modelo de exploração tem potencial de aplicação em 3,2 milhões de hectares na região do Planalto e das Missões no estado do RS, em associação com as culturas de soja e milho no verão. O segundo, para a solução de problemas de escala na pequena propriedade rural, presente em 45,3% dos imóveis rurais no RS, onde lavouras de pequeno porte não atingem sustentabilidade (Região da Depressão Central, Campanha e Fronteira Oeste do estado do RS). O terceiro, para a sustentabilidade das terras baixas, que constituem mais de 20% do RS (Região das Planícies Costeiras, Depressão Central e Zona Sul do estado do RS), onde dos mais de três milhões de hectares com estrutura de irrigação, o arroz ocupa somente uma área de 1,0 milhão de ha, anualmente, muito embora produza 65 % do arroz brasileiro. O quarto, visa à geração de modelos agrícolas sustentáveis em área de proteção ambiental, contemplando as diretrizes da política nacional de baixa emissão de gases do efeito estufa na agricultura. Nos protocolos 1 e 3, o contexto é o do produtor de média e grande escala que tem sua atividade colocada em risco pela insustentabilidade da especialização (i.e., monocultivo) e pela filosofia de produção pautada em tecnologia de insumos. No protocolo 2 o cenário de fundo é o da pequena propriedade com problema de escala e de diversidade naqueles produtos que são comercializados "fora da porteira". A questão científica comum está na hipótese de que a diversidade espacial e temporal dos componentes do sistema afetam o grau das interações sinérgicas, e a riqueza e magnitude dos ciclos biogeoquímicos.

Protocolo 1. Sistema integrado para médias e grandes propriedades (SIPAmgp)

O experimento está sendo conduzido em semeadura direta, desde 2001, em área pertencente à Fazenda do Espinilho (São Miguel das Missões). O solo é classificado como Latossolo Vermelho argiloso, profundo e bem drenado. O sistema compara a introdução de pastagens de inverno em rotação com lavouras de soja com áreas sem integração. A área total do experimento é de aproximadamente 22 hectares, dividida em 12 parcelas, com tamanhos de 1,0 a 2,5 hectares e parcelas de referência (sem integração), entre os blocos. Os tratamentos constam de diferentes alturas de manejo do pasto: 10, 20, 30 e 40 cm e um tratamento sem pastejo. Utilizam-se bovinos jovens, com idade ao redor de 12 meses em pastoreio contínuo da primeira quinzena de julho e se estendendo até

a primeira quinzena de novembro, quando dá lugar ao cultivo da soja até abril/maio. A hipótese porta sobre o impacto das intensidades de pastejo sobre a produção animal e de soja em sucessão.

Protocolo 2: Sistema integrado para pequenas propriedades (SIPApp)

O experimento vem sendo conduzido sob plantio direto desde 2003 na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul) em Argissolo Vermelho de textura franco-arenosa, com relevo levemente ondulado e área total de 4,8 ha. No inverno, as unidades experimentais recebem azevém anual, manejado com dois métodos de pastoreio: contínuo e rotativo, e duas intensidades de pastejo: 2,5 e 5,0 vezes o potencial de consumo de cordeiros em terminação. O ajuste de carga dos animais é feito a cada fim de ciclo do pastoreio rotativo e a lotação é variável e reajustada pela previsão da produção do pasto no ciclo de pastejo. No verão, as unidades são subdivididas em dois sistemas de produção: um com monocultura de soja e outro com rotação anual de soja/milho. A hipótese porta sobre o impacto do manejo da pastagem introduzida nas rotações agrícolas e a diversidade dessas rotações sobre o rendimento de soja e milho.

Protocolo 3: Sistemas integrados para terras baixas (SIPAtb)

O protocolo vem sendo conduzido desde 2013 na Fazenda Corticeiras, (município de Cristal), em Planossolo Háplico, com relevo plano e área de 18 ha em plantio direto em quatro dos cinco sistemas. Os sistemas investigados representam diferentes cenários de produção para terras baixas na metade sul do RS. O ciclo pastagem utiliza novilhos de corte em pastoreio contínuo. A hipótese porta sobre o impacto da pastagem introduzida nas rotações agrícolas e a diversidade espacial (intensidade) e temporal (duração) dessas rotações.

Sistema 1: Testemunha padrão (TP): arroz – soca – arroz: Sistema dominante na maioria dos casos e serve de testemunha em relação aos demais sistemas, caracterizando-se como monocultivo, o único com preparo do solo, sucedendo a colheita o arroz.

Sistema 2: Sucessão rápida, com baixa diversidade: arroz – azevém pastejado – arroz, que engloba o perfil das pequenas e médias propriedades da Depressão Central e Planícies Costeiras com cultivo anual de arroz irrigado.

Sistema 3: Rotação rápida, com moderada diversidade: arroz – azevém pastejado – soja – azevém pastejado – arroz, que é comum nas seis regiões orizícolas do RS, tanto em pequenas quanto em médias e grandes propriedades.

Sistema 4: Rotação lenta, com alta diversidade: arroz – azevém + trevo branco pastejados – capim sudão pastejado – azevém + trevo branco pastejados – soja – azevém + trevo branco pastejados – milho – azevém + trevo branco pastejados – arroz. Este cenário atende as demandas das médias e grandes propriedades das regiões da Campanha, Fronteira Oeste e Zona Sul do RS.

Sistema 5: Rotação lenta, com muito alta diversidade: arroz – azevém + trevo branco + cornichão pastejados – campo de sucessão pastejado – azevém + trevo branco + cornichão pastejados – campo de sucessão pastejado – azevém + trevo branco + cornichão pastejados – campo de sucessão pastejado – azevém + trevo branco + cornichão pastejados – arroz. Este cenário também engloba as médias e grandes propriedades das regiões da Campanha, Fronteira Oeste e Zona Sul do RS.

Protocolo 4: Sistemas integrados de produção agropecuária na promoção da sustentabilidade em área de proteção ambiental (SIPA-APA)

O protocolo experimental está localizado na Fazenda Experimental Canguiri da UFPR no município de Pinhais no Paraná desde 2012, em uma Área de Proteção Ambiental (APA) do Iraí, que é uma unidade territorial criada em 1996 para "proteção e conservação da qualidade e quantidade de água para fins de abastecimento público". Nessas áreas não é permitida a utilização de agrotóxicos. O

delineamento está disposto em blocos ao acaso com 3 repetições e 7 tratamentos que exploram combinações de rotações de milho, aveia+ azevém, capim Áries e eucalipto. A área possui 32 ha. Cada parcela com tratamento contendo a pecuária tem aproximadamente 1,5 ha e as parcelas sem a pecuária integrada tem entre 0,5 e 1,0 ha. A hipótese central é que o incremento da complexidade do sistema promove o surgimento de propriedades emergentes que atuam na regulação do agroecossistema

Artigos científicos publicados relacionados aos SIPA

Foi realizado um levantamento dos artigos publicados em periódicos indexados com o tema SIPA no subtropico brasileiro. Os artigos foram contabilizados no Web of Knowledge usando os termos de indexação: SIPA, integração lavoura-pecuária, sistema integrado de lavoura e pecuária e seus respectivos em inglês. Com esses critérios foram selecionados 175 artigos com foco em SIPA (Figura 3). Após a seleção, os artigos foram separados por ano e categorizados em quatro componentes do sistema: solo, planta, animal e outros e em três fatores: social, ambiental e econômico.

O número de trabalhos encontrados nos últimos 23 anos permite inferir que as pesquisas em SIPA têm experimentado significativo aumento (Figura 3). Registre-se que o maior valor encontrado no ano de 2011 se deve a um número especial da revista Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB (v. 46, n. 10, 2011), onde foram publicados 39 artigos referentes a sistemas integrados de cultivos de grãos e pastagens. Nos últimos dez anos a quantidade ficou na média de 14 artigos por ano, sendo que, dos 45 periódicos elencados, cinco concentram 53% das publicações em SIPA (i.e., Pesquisa Agropecuária Brasileira, Revista Brasileira de Zootecnia, Ciência Rural, Revista Ciência Agronômica, Revista Brasileira de Ciência do Solo). Do ponto de vista científico, poucos grupos de pesquisa geraram informações dos componentes solo-planta-animal-atmosfera em trabalhos de longa duração. A geração do conhecimento em sistemas integrados de grãos e pastagens é resultado de pesquisas quase que exclusivas de instituições e universidades públicas, como resultados da pesquisa geradora de teses e dissertações nos diferentes cursos de pós-graduação.

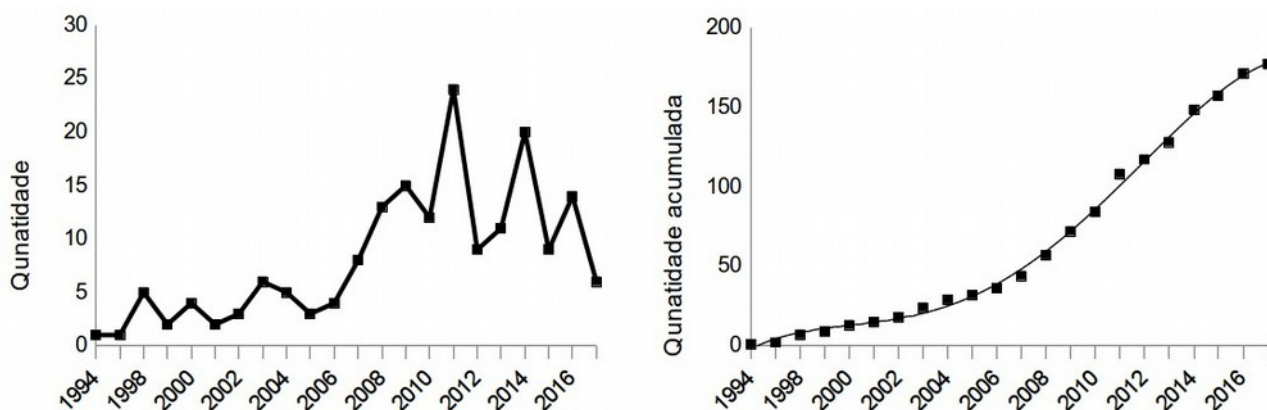


Figura 3 – Quantidade e quantidade acumulada de artigos publicados de 1994 a 2017 com o tema de sistemas integrados de produção agropecuária no subtropico brasileiro.

A distribuição relativa nos componentes Planta, Solo, Animal e outros da produção científica no subtropico brasileiro revela que a informação disponível para o SIPA se concentra nos componentes Planta e Solo, que somados representam 79% dos artigos publicados (Figura 4). Os trabalhos em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária inicialmente tratavam de alternativas aos cultivos de cereais de inverno e rotação de culturas em plantio direto na região sul, mas sem a preocupação de estudar o componente animal (componente este que apresenta apenas 10% dos artigos publicados). Posteriormente, visto a viabilidade da pastagem hibernal nas rotações utilizadas no sul, passou-se a verificar seus efeitos nas características físicas do solo, aspecto que mais assombrava o ideário da maioria dos técnicos e produtores.

A grande maioria dos trabalhos de pesquisa encontrados dá ênfase ao fator econômico, principalmente buscando a melhoria na eficiência da produção das lavouras anuais e das pastagens e consequente conversão em produto animal (i.g., carne, leite), mas a pesquisa pouco evoluiu no fator social que ainda perdura como uma lacuna no conhecimento sobre SIPA (Figura 4). Na última década, os artigos sobre o fator ambiental começaram a surgir com maior frequência, entretanto o seu total ainda é menos da metade do que existe publicado para fator econômico em SIPA. A percepção é que ainda há dissociação entre estes fatores, sendo que os pesquisadores, por motivos variados, acabam por desconsiderar suas inter-relações, ou seja, atualmente, a pesquisa está voltada para a busca de um sistema viável (Ambiental+Econômico). Para alcançarmos o tripé da sustentabilidade (Social, Ambiental e Econômico) a pesquisa deve evoluir para a busca coletivamente de um sistema equitável (Social+Econômico), suportável (Social+Ambiental) e viável (Ambiental+Econômico).

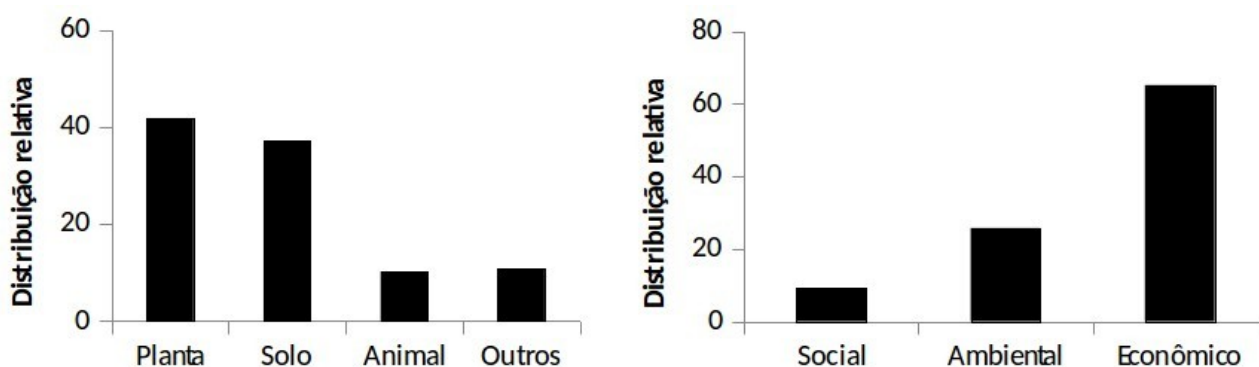


Figura 4 – Distribuição relativa (%) dos componentes planta, solo, animal e outros e dos fatores social, ambiental e econômico, entre 175 artigos científicos publicados de 1994 a julho de 2017 em SIPA.

No componente planta, as forrageiras de clima temperado e tropical são, em alguns casos, tratadas meramente como coberturas de solo, ou somente avaliadas em sua produção, muitas vezes sem o efeito animal, em função de tratamentos como adubação, época de implantação, formação de consórcios com plantas de lavoura, tolerância a sub-doses de herbicidas. Outra constatação é que as espécies estudadas se limitam a poucas alternativas, como por exemplo, aveia preta e azevém, embora existam diversas opções forrageiras para o subtropico.

4. AVANÇOS CIENTÍFICOS NOS PRINCIPAIS INDICADORES DE AVALIAÇÃO DO SIPA

Indicadores do componente “pasto”

O grande diferencial dos SIPA em relação aos demais sistemas é a participação do animal em pastejo (CARVALHO et al., 2015). O manejo correto do pasto em SIPA é decisivo, não somente para a obtenção de elevados rendimentos na fase da produção animal, mas também para garantir a sustentabilidade do sistema. Uma das grandes questões amplamente discutida na esfera científica, mas que ainda gera dúvidas entre os produtores, gira em torno do pastejo das culturas de cobertura. Diversos trabalhos demonstram que, a cultura de cobertura, quando pastejada, produz ao longo de seu ciclo, maior quantidade de matéria seca do que se ficasse apenas como cobertura (KUNRATH et al., 2014; KUNRATH et al., 2015a). Quantidade esta, suficiente para alimentar os animais e ainda assim deixar quantidade suficiente de resíduo sobre o solo para a manutenção da sustentabilidade e proteção do sistema (Figura 5). Numa condição de manejo adequado, o pastejo resulta em maior renovação de perfilhos, reduzindo a idade média, aumentando as taxas de aparecimento e alongamento de folhas e, conseqüentemente, a produção total de matéria seca (KUNRATH et al., 2015a).

A pesquisa do subtropico brasileiro é rica em apresentar evidências de que a utilização de N provoca aumentos significativos de produção de matéria seca das pastagens. Por exemplo,

Sandini et al. (2011) e Sartor et al. (2014) constataram que a aplicação de até 200 kg/ha de N resultaram em um aumento de aproximadamente 30% na produção de massa seca de aveia preta e papuã, respectivamente. Nesse contexto, na região subtropical brasileira, as principais forrageiras utilizadas são as poáceas e consórcio dessas com leguminosas forrageiras (i.g., trevo branco) constitui uma alternativa para o aumento da qualidade nutricional das pastagens, além da contribuição da fixação biológica de nitrogênio (MORAES et al., 1991; SCHUSTER et al., 2013; COUGNON et al., 2014). Em ensaios de campo de longa duração e de casa de vegetação, Louarn et al. (2015) verificaram que o trevo branco ao longo de 3 anos forneceu 147 kg de N/ha ao azevém perene resultando em um aumento na produção de matéria seca da gramínea de, em média, 2 para 7 t/ha, no segundo e terceiro anos do consórcio. Ainda, Assmann et al. (2010) encontraram que a inclusão de trevo branco em consórcio com aveia preta aumentou o ganho de peso vivo de bovinos de corte em 7%, quando comparado a utilização exclusiva de pastagem de aveia preta.

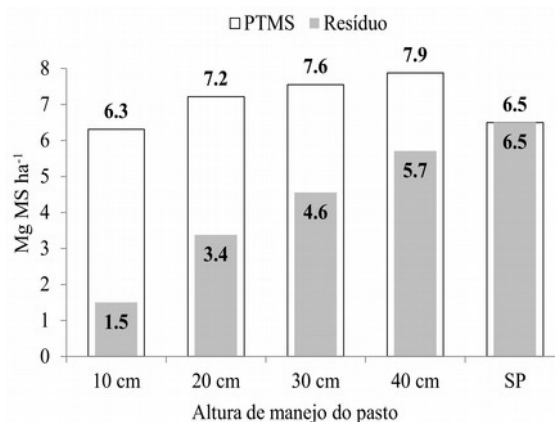


Figura 5 – Produção total de matéria seca e resíduo em função de diferentes alturas de manejo do pasto misto de azevém e aveia preta, que representam diferentes intensidades de pastejo. Compilação de 17 anos de dados (2001 – 2016) obtidos em experimento na Região do Planalto Médio do RS. PTMS = Produção Total de Matéria Seca.

É fundamental adequar a taxa de lotação à disponibilidade de forragem, colocando os animais em uma oferta adequada de pasto, para que possam se alimentar de forma a não causarem prejuízos ao solo e ao sistema (FLORES et al., 2007; LANZANOVA et al., 2007; CONTE et al., 2007, 2008, 2011; SPERA et al., 2010; BALBINOT JR. et al., 2011; SPERA et al., 2012; ANGHINONI et al., 2013, 2015; CECAGNO et al., 2016). Além disso, diversos trabalhos demonstram que o excesso de animais prejudica o crescimento do pasto e penaliza o seu desempenho, enquanto lotações muito baixas são ineficientes em transformar pasto em renda (KUNRATH et al., 2015a). O manejo correto do pastejo deve permitir remover uma quantidade de área foliar tal que não prejudique a interceptação de luz, além de otimizar o crescimento do pasto, a produção animal e deixar cobertura vegetal satisfatória para a lavoura em sucessão. Diversos trabalhos ligados à produção vegetal e animal, características de carcaça e de produto nos mais diferentes sistemas de produção (soja- milho/bovinos e ovinos) demonstram que a adequação da carga animal eleva a produtividade, melhora as características de produto e a eficiência de produção, garantindo a sustentabilidade do sistema e a associação entre produção versus conservação (AGUINAGA et al., 2006; CAUDURO et al., 2006; BARBOSA et al., 2007; LOPES et al., 2008; CARVALHO et al., 2010; ROCHA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2013; BARTH NETO et al., 2013 e 2014; KUNRATH et al., 2014; KUNRATH et al., 2015a; WESP et al., 2016).

A heterogeneidade espacial induzida pelos animais em pastejo pode ser um componente crucial para o manejo sustentável dos ecossistemas (SALTON; CARVALHO, 2007; NUNES, 2016). Quando em pastejo, os animais não consomem uniformemente a forragem ao longo do ambiente, de mesmo modo que a distribuição do esterco e da urina não ocorre de forma homogênea, o que os torna principais atores na construção de ambientes heterogêneos (FRANZLUEBBERS et al., 2000). Ainda assim, a maioria das intervenções realizadas pelo homem tende à homogeneização dos ambientes, incluindo o manejo dos animais, que na maioria das vezes promove a uniformização do pastejo (ADLER et al., 2001). Para Anghinoni et al. (2013), esta tendência ocorre devido à complexidade

inerente a ambientes mais heterogêneos, a despeito das importantes funções ecológicas dos mesmos, decorrentes de sinergismos entre os compartimentos solo-planta-animal. A existência de heterogeneidade decorrente da presença de animais em SIPA é bastante reconhecida (SALTON; CARVALHO, 2007).

O manejo das pastagens em SIPA fazendo uso da intensidade de pastejo como ferramenta deve vislumbrar a construção de uma estrutura de vegetação que consiga otimizar a colheita de forragem pelos animais (WESP et al., 2016), pois a estrutura do pasto determina a disposição das folhas e colmos e conseqüentemente sua acessibilidade, influenciando diretamente a taxa de ingestão dos mesmos (AGREIL et al., 2006). Em recente trabalho realizado no RS, Albuquerque (2015), demonstra que a heterogeneidade espacial da vegetação aumenta com a diminuição da intensidade de pastejo. Maior heterogeneidade e estruturação espacial foram identificadas com o avanço do período vegetativo do pasto na presença de animais em pastejo. Áreas com altas intensidades de pastejo apresentam dossel homogêneo composto em sua maior parte por uma vegetação excessivamente pastejada (<10 cm), e conseqüentemente baixos resultados produtivos, tanto do pasto quanto dos animais. Áreas com intensidades de pastejo adequadas apresentaram maior participação de alturas ótimas para a maximização da taxa de ingestão (15 a 30 cm) ao longo do ciclo de pastejo, potencializando o crescimento vegetal e a produção animal.

Indicadores do componente “lavoura”

O efeito sobre a produtividade das lavouras de verão, quando da utilização das áreas agrícolas para pastejo no inverno no subtropical brasileiro, tem sido objeto de estudo de diversos autores (LUSTOSA, 1998; ASSMANN, 2001; CASSOL, 2003; FLORES, 2004; CONTE, 2007; FLORES et al., 2007; LOPES, 2008; DE OLIVEIRA et al., 2013; SILVA et al., 2014; KUNRATH et al., 2015; SCHUSTER et al., 2015; BORTOLLI, 2016; CECAGNO et al., 2016; CAETANO, 2017), os quais mostram que a presença de animais para pastejo no inverno não reduz a produtividade da cultura subsequente, mas pelo contrário, em sua maioria melhora o rendimento dessas (MORAES et al., 2014a). A presença dos animais em SIPA, em função do processo de pastejo e conseqüentes dejeções, promove a ciclagem de nutrientes em maior magnitude. Por exemplo, Silva et al. (2014) demonstraram que as concentrações de fósforo (P) e potássio (K), nutrientes de maior demanda em quantidade pela cultura da soja, foram maiores na presença de esterco, tanto no solo quanto em plantas de soja, ao final do período de florescimento. A presença de esterco impulsionou a produtividade, havendo um incremento de 23% no rendimento de grãos para pontos com a presença de esterco. Igualmente, algumas evidências vêm mostrando que o pastejo no SIPA aumenta a biodisponibilidade do P no solo e reduz a presença de formas orgânicas de P mais recalcitrantes (DEISS et al., 2016) o que resulta em possibilidade de um melhor aproveitamento do mesmo pela cultura subsequente.

A ciclagem de nutrientes em SIPA consiste em uma importante fonte de nutrientes para as culturas subsequentes (ANGHINONI et al., 2013). Neste contexto, no Sul do Brasil, muitos estudos têm demonstrado que o SIPA (i.e., cultivo de milho em sequência a pastagens de inverno) apresenta uma maior sincronia entre a absorção de nitrogênio pelas plantas e a liberação deste dos resíduos vegetais e do solo. Tal fenômeno é evidenciado por um melhor estado nutricional observado nos estágios de desenvolvimento de plantas de milho, inclusive com possibilidades de omissão ou redução de adubação nitrogenada no cultivo do milho com manutenção do teto produtivo da cultura (ASSMANN et al., 2003; SANDINI et al., 2011; BORTOLLI, 2016).

Apesar de não haver diferenças na produtividade de áreas pastejadas sobre diferentes intensidades, alguns outros fatores podem ser influenciados pelo ajuste da carga animal durante as fases de pastejo. Por exemplo, Kunrath et al. (2015c) demonstraram que o estabelecimento da soja é influenciado pelas diferentes intensidades de pastejo, porém nenhum dos outros componentes de rendimento, apresentam diferença entre as intensidades de pastejo. Caetano (2017) demonstra que apesar de haver diferenças entre os componentes de rendimento em diferentes grupos produtivos de soja, a plasticidade que esta cultura apresenta, corrobora para o nivelamento da produtividade, quando comparados sistemas com diferentes intensidades de pastejo.

Em áreas de várzea (sujeitas a alagamentos), diversos trabalhos têm demonstrado as vantagens produtivas dos SIPA. A diversificação dos sistemas, com a inclusão de animais em pastejo, aumenta as fontes de renda do produtor, assim como os próprios rendimentos do arroz (CARVALHO et al., 2017), além de diminuir a incidência de plantas indesejáveis e melhorar os atributos biológicos do solo (MARTINS et al., 2016a).

Outro fator importante, que a pesquisa em SIPA tem dado atenção nos últimos anos, é para as plantas indesejáveis cuja ocorrência na lavoura após o pastejo no inverno está intimamente ligada à altura de manejo do pasto. Isto porque, à medida que aumenta a intensidade de pastejo, diminui a quantidade de resíduo que promove a cobertura do solo, o que leva a uma maior expressão das plantas indesejáveis do banco de sementes (KUNRATH et al., 2015c; LUSTOSA et al., 2016; SCHUSTER et al., 2016). Os resultados encontrados por Schuster et al. (2016) indicam a quase absoluta ausência de invasoras na área com baixa intensidade de pastejo, cuja ocorrência aumenta linearmente com o aumento da intensidade de pastejo, chegando a 30% de cobertura no pastejo mais intenso. O pastejo menos intenso, quando comparado ao mais intenso, reduz em mais de 90% a ocorrência de buva, papuã, poaia branca e guanxuma no cultivo da soja (SCHUSTER et al., 2016). Vale ressaltar que em função da intensidade de pastejo ocorre a alteração da ocorrência de plantas invasoras no SIPA, tanto em composição de espécies como em densidade (SCHUSTER et al., 2016; LUSTOSA et al., 2016). Além disso, a intensidade do pastejo afeta significativamente o tamanho do banco de sementes, sendo este 48% menor em áreas pastejadas em intensidades moderadas do que em áreas sem pastejo. No entanto, quando as áreas de inverno são intensamente pastejadas (i.e., altura do pasto menor que 10 cm) o tamanho do banco de sementes das plantas invasoras aumenta em 300% em relação a áreas sem pastejo (SCHUSTER et al., 2016).

Indicadores do componente “solo”

Apesar do animal ser o grande diferencial dos SIPA (CARVALHO et al., 2015), é o componente solo que vem recebendo especial destaque para a compreensão dos processos envolvidos nesses sistemas (ANGHINONI et al., 2013; MORAES et al., 2014a, b). Isso porque, além de ser um componente fundamental na produção de alimentos, sendo o alicerce e o meio pelo qual boa parte da água e dos nutrientes é absorvida pelas plantas, o solo é também capaz de “armazenar” os impactos de manejo a ele impostos. Assim, o solo é considerado a “memória física” do sistema, sendo o compartimento centralizador dos processos e aquele que captura as modificações. Enquanto os demais componentes se alternam, tanto no espaço como no tempo, é o solo que vai incorporando os impactos de longo prazo da sucessão e/ou rotação dos componentes, bem como dos seus manejos (ANGHINONI et al., 2015; CARVALHO et al., 2015).

O componente solo é um dos principais objetos de estudo em SIPA no mundo e no Brasil. No levantamento sobre as publicações em SIPA, apresentado anteriormente, de cada 2,5 trabalhos publicados que envolvam SIPA, um é sobre os impactos no solo. E, destes, a maioria tem como principal variável a diversificação das culturas e, sobretudo, o manejo da pastagem. No caso específico do SIPA no sul do Brasil, os principais resultados obtidos podem ser resumidos em indicadores físicos e hídricos, indicadores biológicos, indicadores de manejo e indicadores químicos.

Em relação aos indicadores físicos e hídricos, esta vem sendo a subárea do componente solo que vem recebendo mais atenção no Brasil nos últimos anos, justamente por ser a questão mais recorrente dos produtores de grãos ao vislumbrar a inserção de um período de pastejo no seu sistema agrícola, respondendo por cerca de 31 a 46% das publicações que envolvem o componente solo em SIPA (MORAES et al., 2014b). No sul do Brasil, os trabalhos vêm demonstrando que a inserção do animal, mesmo com a utilização de altas intensidades de pastejo, acarreta em pequeno aumento da densidade em superfície (FLORES et al., 2007; LANZANOVA et al., 2007; SPERA et al., 2010; SPERA et al., 2012; ANGHINONI et al., 2013, 2015) e diminuição em subsuperfície (CECAGNO et al., 2016), refletindo-se nos demais atributos a ela relacionados (porosidade total, resistência à penetração, força de tração, pressão de pré-consolidação, umidade volumétrica e infiltração de água no solo) (CONTE et al., 2007, 2008, 2011; FLORES et al., 2007; LANZANOVA et al., 2007; BALBINOT JR. et al., 2011; SPERA et al., 2012; ANGHINONI et al., 2013, 2015).

Um dos únicos trabalhos realizados no sul do Brasil que não seguiu esta tendência para os indicadores físicos foi o de Silva et al. (2014), na região de Castro/PR, onde os autores atribuíram esse comportamento ao elevado teor de MO da área experimental. No entanto, assim como a grande maioria dos estudos, os atributos físicos medidos não alcançaram valores considerados como críticos para as plantas. Além disso, eles são “revertidos” ao longo do ciclo da fase lavoura do sistema; ou seja, apresentam valores similares por ocasião da colheita da cultura de grãos, independentemente de haver o pastejo ou não durante o período hibernar que antecedeu a sua semeadura (FLORES et al., 2007; LANZANOVA et al., 2007; SPERA et al., 2010; ANGHINONI et al., 2013; 2015).

A infiltração de água no solo é um dos únicos atributos que não segue esta lógica, nos sistemas com soja no verão (ANGHINONI et al., 2015). Esta temática ainda carece de mais estudos, pois além de poder ser uma das responsáveis pela menor umidade do solo e hidratação das plantas (COSTA, 2013; KUNRATH et al., 2015a, b) e, conseqüentemente, menor produtividade de áreas com pastejo em condições de déficit hídrico (MARTINS et al., 2014a), também pode estar diretamente relacionada a uma possível maior erosão das áreas com pastejo, sobretudo naquelas com alta intensidade.

No subtropical brasileiro, os trabalhos indicam um aumento da agregação do solo em SIPA, comparativamente a sistemas puramente agrícolas, principalmente na fase pastagem, independentemente da intensidade de pastejo adotada (SOUZA et al., 2010b; CONTE et al., 2011). Em relação aos estoques de C do solo, o consenso é de que quem governa esse atributo, assim como a sua fração lábil, é o manejo empregado na pastagem, sobretudo em áreas em que a soja é a cultura predominante do período de verão, sendo que quanto maior a intensidade de pastejo, menor o estoque de C (NICOLOSO et al., 2008; SOUZA et al., 2009; BALBINOT Jr. et al., 2011; ASSMANN et al., 2014). Mais recentemente, em resultados preliminares apresentados em Anghinoni et al. (2015), verificou-se que a taxa de sequestro de carbono das áreas de SIPA com intensidade de pastejo moderada a leve, mesmo com menor produção de resíduo da cultura hibernar (KUNRATH et al., 2014; KUNRATH et al., 2015a), se equivale àquelas de áreas sem pastejo (CECAGNO, 2015).

Nos indicadores biológicos, pela sua intrínseca alta variabilidade espaço-temporal, pode-se considerar que essa ainda é uma das áreas com respostas menos consistentes em relação ao componente solo nos SIPA. Além disso, ainda permanece como uma das áreas menos expressivas no que diz respeito ao número de trabalhos publicados: apenas 7,2% do total de artigos científicos que abordam o solo no contexto dos SIPA (MORAES et al., 2014b). O que se observou nos trabalhos realizados, é que o comportamento do pastejo de intensidade moderada a leve e de áreas sem pastejo são muito similares no que diz respeito aos estoques e C, N e P da biomassa microbiana; no entanto, pastejos intensivos acarretam numa diminuição do estoque microbiano desses nutrientes e aumento da respiração e do quociente metabólico, devido à menor cobertura do mesmo e suscetibilidade a altas temperaturas e estresse hídrico (SOUZA et al., 2010a).

Em relação à atividade enzimática, os resultados obtidos em amostragens realizadas no final do período hibernar de pastejo indicam que quem governa esse atributo é o resíduo presente na superfície do solo, com áreas com pastejo leve e sem pastejo apresentando maior atividade da urease (ANGHINONI et al., 2015) e de enzimas como um todo (CHÁVEZ et al., 2011). Porém, de acordo com os resultados preliminares apresentados em Anghinoni et al. (2015), ao final da cultura de verão (soja), a atividade da urease é maior em áreas com pastejo, devido à maior diversidade e quantidade de resíduos do pasto e suas raízes. A diversidade microbiana (medida pela diversidade metabólica – índice de Shannon) foi abordada por Chávez et al. (2011), demonstrando que áreas com pastejo moderado possuem maior diversidade.

No subtropical brasileiro, os trabalhos indicam um aumento da agregação do solo em SIPA, comparativamente a sistemas puramente agrícolas, principalmente na fase pastagem, independentemente da intensidade de pastejo adotada (SOUZA et al., 2010b; CONTE et al., 2011). Em relação aos estoques de C do solo, o consenso é de que quem governa esse atributo, assim como a sua fração lábil, é o manejo empregado na pastagem, sobretudo em áreas em que a soja é a cultura predominante do período de verão, sendo que quanto maior a intensidade de pastejo, menor o estoque de C (NICOLOSO et al., 2008; SOUZA et al., 2009; BALBINOT JR. et al., 2011; ASSMANN et al., 2014). Mais recentemente, em resultados preliminares apresentados em Anghinoni et al. (2015),

verificou-se que a taxa de sequestro de carbono das áreas de SIPA com intensidade de pastejo moderada a leve, mesmo com menor produção de resíduo da cultura hiberna (KUNRATH et al., 2014; KUNRATH et al., 2015a), se equivale àquelas de áreas sem pastejo (CECAGNO, 2015).

Por fim, nos trabalhos ligados aos indicadores químicos do solo em SIPA, de modo geral, não são observados impactos negativos dos SIPA, no subtropical do Brasil, em relação à disponibilidade de nutrientes no solo, tanto em relação a macro (ASSMANN, 2001; CARVALHO et al., 2005; FERREIRA et al., 2009; SANTOS et al., 2011; COSTA et al., 2014; MARTINS et al., 2014a) como micronutrientes (TATSCH, 2012; SILVA et al., 2014; MARTINS et al., 2015).

Apesar disso, algumas diferenças na dinâmica dos nutrientes, devido à inserção do animal e/ou à intensidade de pastejo utilizada no SIPA, foram estudadas e reportadas para K (FERREIRA et al., 2011; MARTINS et al., 2014a), P (COSTA et al., 2014), Ca e Mg (MARTINS et al., 2014b; MARTINS et al., 2016b). Ferreira et al. (2011), analisando um ciclo completo de um SIPA com soja na fase lavoura e pastejo de bovinos de corte em aveia preta + azevém na fase pastagem, verificaram balanço negativo de K nas áreas com pastejo. No entanto, em estudo de longo prazo (nove anos), Martins et al. (2014a) observaram balanço negativo tanto para áreas pastejadas como não pastejadas, sendo menos negativo nas áreas de pastejo moderado, resultando em similar eficiência de uso para produção de proteína. Em relação ao P, Costa et al. (2014) verificaram que, apesar de áreas sem pastejo acarretarem em balanço mais positivo, o SIPA aumenta a ciclagem e a eficiência econômica de uso do nutriente. Por fim, Ca e Mg apresentam dinâmica muito similar, e nos trabalhos de longo prazo com nove (MARTINS et al., 2014b) e onze anos (MARTINS et al., 2016b), balanço positivo é encontrado apenas em áreas com pastejo no inverno, devido às maiores perdas improdutivas do sistema sem pastejo, acarretando em maior eficiência de uso desses nutrientes no SIPA (ver item de “indicadores do componente ambiente”).

A tendência observada para Ca e Mg é também a tendência dos trabalhos ligados à acidez do solo. Apesar de serem poucos, a grande maioria destaca um papel positivo do animal, tanto na correção do solo (FLORES et al., 2008; MARTINS et al., 2014b), como na manutenção de um solo menos ácido (MARTINS et al., 2014a; SILVA et al., 2014; MARTINS et al., 2016). Além disso, também foram observadas relações diferentes entre os atributos de acidez, com o SIPA apresentando maior saturação por bases e menor saturação por alumínio para um mesmo valor de pH do solo (MARTINS et al., 2014a). Mais recentemente, Martins (2016) estudou as formas de Al nos SIPA, demonstrando, no geral, uma menor fitotoxicidade desse elemento na presença do pastejo hiberna, sendo os resultados altamente dependentes do método de análise do solo e de sua solução – uma nova abordagem que precisa ser levada em conta nos estudos de SIPA.

Indicadores do componente “ambiente”

Na produção de alimentos, além dos índices de produtividade, é necessário observar as novas demandas da sociedade, definidas pelo consumidor, tais como a origem do produto, o bem-estar animal e as características de seu ambiente de produção e a produção com menores impactos ao ambiente. Nesse sentido, os SIPA vêm demonstrando ser um sistema de produção onde o dilema produtividade versus conservação tem uma solução compatível com as atuais demandas da sociedade e do mercado consumidor (KUNRATH, 2014).

Um dos pilares da agricultura moderna nas regiões tropicais e subtropicais é a utilização de doses expressivas de fertilizantes e calcário, o que atualmente, vem causando um conflito entre a obtenção de altas produtividades e a sustentabilidade do sistema de produção. Entretanto, a questão que se coloca para o futuro não é a não utilização desses insumos e, sim, a sua boa utilização, que se traduz numa maior eficiência de uso. No sul do Brasil, as pesquisas realizadas indicam uma maior eficiência de uso dos nutrientes, traduzida em uma maior produção de proteína para cada quilo de Ca e Mg utilizado (MARTINS et al., 2014b) e em um maior retorno econômico para cada quilo de P utilizado (COSTA et al., 2014), devido à ciclagem mais eficiente com menores perdas e à intensificação de uso da terra, respectivamente. Para o K, os trabalhos demonstram uma similaridade na sua eficiência de uso em SIPA ou sistemas puramente agrícolas, atribuído principalmente à maior reciclagem desse nutriente pela urina dos animais na fase pastagem (MARTINS et al., 2014b; FERREIRA et al., 2011).

Outro fator importante a se preocupar, no aspecto ambiental, é a adição antropogênica de elementos-traço. O uso de subprodutos oriundos das zonas rurais como esterco de aves, bovinos, suínos, resíduos urbanos e industriais podem conter elementos-traço e se constituir em fontes de poluição não pontuais de solos e sistemas aquáticos. Esses elementos apresentam bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar e podem trazer sérios riscos à saúde. Em estudo realizado em SIPA de longo prazo, verificou-se que a presença do animal (GUILHERME et al., 2005). Neste estudo observou-se que os teores tanto no solo como nos grãos de soja estão dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos competentes (Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e Codex alimentarius). No entanto, as maiores quantidades de esterco depositado em áreas de pastejo intensivo parecem estar contribuindo para um maior teor de Cu no solo, pois o animal excreta a maior parte do Cu absorvido (em insumos pecuários) via esterco. Porém, salienta-se que essa é apenas uma hipótese e mais estudos são necessários para verificar a origem do maior teor de Cu, como o fracionamento desse elemento no solo, por exemplo. Mesmo assim, isto não se refletiu em altos teores de cobre nos grãos de soja (TATSCH, 2012).

Por fim, a emissão de gases de efeito estufa (GEE) é outro problema ambiental problema que tem sido evidenciado nas últimas décadas devido ao aumento das emissões na atmosfera, influenciado pelas ações antrópicas em setores como agricultura e pecuária. Embora o vapor de água seja o principal GEE na atmosfera, ele é pouco afetado pelas atividades humanas, enquanto o CO₂, CH₄ e N₂O são muito influenciados pelas ações antropogênicas. Assim, estes três gases são considerados os mais importantes relacionados ao efeito estufa (IPCC, 2007). Nos trabalhos que mensuraram os GEE em SIPA no sul do Brasil, os resultados demonstram que a emissão de CH₄ entérico é altamente dependente do manejo empregado na pastagem: intensidades de pastejo maiores resultam em uma maior emissão de CH₄, seja por unidade animal ou por área (SAVIAN et al., 2014; Martins et al., 2015). Além disso, o método de pastoreio empregado também se revela como um importante manejo para diminuir as emissões de metano entérico, com menores emissões quando adotado o método contínuo em detrimento do rotativo (SAVIAN et al., 2014). Já as emissões de N₂O, advindas do solo, não são afetadas pela presença ou não do animal (MARTINS et al., 2015).

No balanço global do potencial de aquecimento global (PAG) do sistema, os resultados já obtidos demonstram que as emissões provenientes dos animais participam em no máximo 15% do total emitido pelo sistema de produção, desmistificando o papel do animal como grande responsável pelo aquecimento global no setor agropecuário. No entanto, quando a pastagem é mal manejada (baixas alturas, maior intensidade de pastejo) a intensidade de emissão pode ser até sete vezes superior do que em pastagens bem manejadas (alturas moderadas, intensidade de pastejo moderada) (SOUZA FILHO, 2017).

Com relação ao CH₄ oriundo do solo, as áreas com SIPA apresentam potencial em mitigar a emissão, devido ao maior aproveitamento do N-mineral do solo e pela maior agregação e estruturação do solo, gerados por esses sistemas, quando corretamente manejados. Já as emissões de N₂O, advindas do solo, não são afetadas negativamente pela presença do animal (MARTINS et al., 2015), sendo que o principal fator responsável por controlar a dinâmica desse gás é a quantidade de N-mineral disponível e umidade do solo. Nesse sentido, os trabalhos realizados em áreas de SIPA, tem apresentado menor emissão de N₂O do solo em pastejo contínuo conduzido sobre os preceitos de manejo moderado do pasto em relação às áreas somente de lavoura (PIVA, 2012).

5. DESAFIOS DA PESQUISA EM SIPA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO

Apesar da riqueza de informações obtidas em SIPA no subtropico brasileiro, boa parte da abordagem dada nessas pesquisas trata o sistema sob o prisma multidisciplinar, ou seja, composto de várias subdisciplinas que são abordadas em separado. Essa é a abordagem mais comum das pesquisas da área agropecuária, seguindo a tendência de especialização que os sistemas de produção de alimentos vinham experimentando (LEMAIRE et al., 2005). No entanto, quando os estudos se aprofundam em determinada área do conhecimento (abordagem disciplinar) ou mesmo diferentes grupos trabalham em cada uma delas (abordagem multidisciplinar), os progressos são

limitados e insuficientes para entender os processos que governam os SIPA, além de resultar em resistência à abordagem sistêmica por não conseguir se elevar o conhecimento de forma conexa (ANGHINONI et al., 2013). Sabe-se que a modificação no funcionamento dos componentes é uma qualidade intrínseca aos SIPA. Portanto, eles exigem uma abordagem interdisciplinar, com conexões transversais e, para se avançar no conhecimento, se faz necessária a agregação das subdisciplinas, nucleando-as sob o ponto de vista sistêmico (CARVALHO et al., 2010).

Por fim, o grande desafio da pesquisa em SIPA, diz respeito à equipe, cuja necessidade interdisciplinar deve transcender a simples união de especialistas de diversas áreas e atingir o nível de transdisciplinaridade que permite encontrar as devidas respostas para questões fundamentais (MORAES et al., 2014), como por exemplo: “Quais são os processos emergentes envolvidos nas diferentes rotas dos fluxos de energia e massa na interface solo-planta-animal-atmosfera que contribuem para o aumento sustentável da eficiência do sistema?”. Um conhecimento fundamental para orientar a utilização mais adequada dos recursos naturais, atendendo uma grande demanda da sociedade por uma renovada agricultura, que é: “Produzir alimentos seguros em maior quantidade por unidade de área com maior eficiência no uso de insumos e menor impacto para o agroecossistema”.

6. A PESQUISA EM SIPA E SUA DIFUSÃO E ADOÇÃO NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO

O legado deixado por esses grupos de pesquisa vai além do mérito de ter alcançado grandes avanços científicos. Os conhecimentos gerados são repassados no processo de formação das novas gerações de técnicos pelas instituições que, além da pesquisa, também realizam o ensino. Estes técnicos por sua vez replicam aos agricultores este conhecimento, na forma de tecnologias aplicáveis. Os resultados obtidos também foram apresentados a cada ano, em dias de campo abrangendo público acima de 2000 pessoas a cada ano, nos diferentes protocolos de pesquisa em SIPA no Paraná, Santa Catarina e no Rio Grande do Sul.

Diante do grande número de trabalhos conduzidos, e o interesse gerado pelos resultados obtidos, foi organizado o primeiro Simpósio Internacional em “Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária”, no período de 13 a 15 de agosto de 2007 em Curitiba - PR. Esta foi uma iniciativa multidisciplinar e multi-institucional, organizada pela Universidade Federal do Paraná e pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em conjunto com a OHIO State University e com o apoio da UNICENTRO e UTFPR. Este evento foi um marco importante, reunindo mais de 700 profissionais de diferentes partes do mundo dando origem a formação de um comitê internacional que passou a dar continuidade a novas edições. Uma segunda edição ocorreu em Porto Alegre em 2011 com promoção da UFRGS e uma terceira edição neste ano de 2015 em Brasília com a promoção da Embrapa. Embora este seja a primeira edição do Congresso em versão nacional, ressalta-se que no ano de 2002, o então CEFET/PR (agora UTFPR) e a UNICENTRO, em conjunto com pesquisadores do IAPAR e extensionistas da EMATER promoveram o I Encontro de Integração Lavoura Pecuária no Sul do Brasil (I EILPSB), na cidade de Pato Branco PR. No ano de 2007, a segunda edição do evento regional foi realizado em conjunto com o de Simpósio Internacional em Integração Lavoura-Pecuária organizado pela UFPR em Curitiba/PR. A terceira edição do encontro regional voltou a ser realizado na cidade de Pato Branco no ano de 2011.

Também, como resultado daquele primeiro Simpósio Internacional em 2007, o MAPA implementou um projeto de difusão, de envergadura nacional denominado PISA (Produção Integrada de Sistemas Agropecuários). Este projeto teve início em 2008, sendo inicialmente conduzido em 7 estados: Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Bahia e Tocantins. Tinha como meta principal incentivar a adoção do SIPA em microbacias hidrográficas nos respectivos estados representativos da região subtropical e tropical do Brasil. No PISA, o consultor/técnico é o principal ator que agiliza a interconexão de informação e a possibilidade de construção do conhecimento dos produtores, com as inovações desenvolvidas pela academia (PALADINI, 2017).

Mais recentemente, em março de 2016, o grupo SIPA-UFSC realizou o primeiro Workshop sobre sistemas integrados de produção no planalto Catarinense.

Como resultado de todo este esforço, pode-se observar na tabela um, que houve um significativo aumento em áreas de produtores que fizeram a acertada opção de trabalhar com os SIPA. Estas estimativas de áreas que atualmente utilizam os SIPA foram feitas por pesquisa contratada pela Rede de Fomento ILPF e executada pela Kleffmann Group, com apoio técnico da Embrapa Meio Ambiente. Nos três estados do Sul do Brasil o destaque é para o Rio Grande do Sul seguido de Santa Catarina. Provavelmente, porque no RS existe um maior rebanho bovino, que oferece no mercado um volume maior de animais, abastecendo inclusive os outros estados. Também no RS, a agricultura representa uma atividade de maior risco, fazendo com que o proprietário se interesse mais pela diversificação. Também já existe nesta região, uma tradição no uso da integração lavoura de arroz com a pecuária. Já o Paraná constitui um estado onde a tradição agrícola é muito forte com menor risco climático, fazendo com que o agricultor tenha menos interesse em sair de sua zona de conforto, mesmo sabendo de todas as vantagens advindas dos SIPA.

Tabela 1 – Estimativa* da área de adoção de SIPA no subtropico brasileiro na safra 2015/16

UF	Áreas antropizadas sob	Área extrapolada	% SIPA final
	uso agropecuário	integração	
PR	9.387.407	416.517	4%
RS	7.108.887	1.457.900	21%
SC	3.517.399	678.893	19%
Total	20.013.693	2.553.310	6%

*Pesquisa contratada pela Rede de Fomento ILPF e executada pela Kleffmann Group.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os SIPA têm a capacidade de prover diversificação aos sistemas de produção agrícola, o que aliado as boas práticas de manejo e a agricultura conservacionista resulta em um sistema único para suplantiar o dilema produção vs conservação. Os desafios atuais de sua implantação estão na complexidade estrutural do sistema, cujo requerimento de conhecimento técnico-científico é superior ao nível exigido para atividades agrícolas especializadas. Ademais, as variações edafoclimáticas existentes no subtropico brasileiro, permitem ampla diversidade de arranjos espaço-temporais e o conhecimento científico gerado pelos grupos de pesquisa em SIPA serve de base para orientar as ações necessárias para transformar e reorientar os sistemas agrícolas para apoiar efetivamente o desenvolvimento e garantir a segurança alimentar no contexto social atual corroborando com o conceito da *smart agriculture*.

Pelo fato dos SIPA promoverem ciclos biogeoquímicos em magnitudes mais próximas aos que ocorrem no meio natural, sobretudo quando esses são baseados na diversificação de plantas herbáceas, arbóreas e com a inclusão do pastejo, esses sistemas corroboram com o novo conceito *farmscaping*, onde a biodiversidade é construída nos sistemas de produção pelos arranjos de culturas e manejo das áreas não produtivas (SMUKLER et al., 2010).

Enquanto os cultivos se sucedem, tanto quanto a presença dos animais, o solo é o único elemento a permanecer convergindo alterações físicas, químicas e biológicas de longo prazo, podendo ser considerado como o compartimento centralizador dos processos, e aquele que captura o sentido (+ ou -) das modificações no sistema. Por esta razão, o compartimento solo concentra vários dos indicadores de avaliação do sistema. Já o animal em pastejo pode ser considerado o catalisador que recicla o material vegetal e modifica profundamente a dinâmica dos nutrientes. Em suma, algumas variáveis indicadoras do funcionamento dos SIPA, tomando como base resultados de pesquisas realizadas no subtropico brasileiro são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Síntese de resultados de algumas variáveis indicadoras do funcionamento de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), comparadas com sistema puramente agrícola (SA), sendo ambos manejados em plantio direto, em pesquisas realizadas no subtropical brasileiro.

Variáveis	Comportamento SIPA vs SA
Densidade do solo	Aumenta
Porosidade do solo	Similar
Umidade do solo	Diminui
Agregação do solo	Aumenta
Pressão de pré-consolidação	Aumenta
Resistência a penetração	Aumenta
Força de tração	Aumenta
Calagem (efeito em profundidade)	Aumenta
Estoque de carbono	Aumenta
Índice de manejo de carbono	Similar
Estoque de nitrogênio	Similar
Disponibilidade de fósforo	Aumenta
Formas de fósforo	Similar
Biomassa microbiana	Aumenta
Diversidade microbiana	Aumenta
Quociente metabólico	Aumenta
Rendimento da lavoura	Aumenta
Rentabilidade	Aumenta
Risco econômico	Diminui
Invasoras	Diminui
Sustentabilidade do sistema	Aumenta

Conclui-se que os SIPA proporcionam a intensificação da produção agropecuária de forma sustentável, ao incluir a pastagem nas rotações agrícolas, promovendo interações biogeoquímicas sinérgicas quando utilizado intensidades de pastejo moderadas. Os SIPA se apresentam como uma alternativa tecnológica capaz de atender as demandas do ponto de vista ambiental, econômico e social da agropecuária sul brasileira, devendo este fazer parte de políticas públicas para ampliação de sua adoção.

REFERÊNCIAS

- ADLER, P. B., RAFF, D. A., LAUENROTH, W. K. The effect of grazing on the spatial heterogeneity of vegetation. *Oecologia* 128, 465–479. doi:10.1007/s004420100737, 2001.
- AGUINAGA, A. A. Q. Produção de novilhos superprecoces em pastagem de aveia e azevém submetida a diferentes alturas de manejo. *Rev. Bras. Zootec.* v. 35, p. 1765–1773. doi:10.1590/S1516-35982006000600026, 2006.
- AGREIL, C., MEURET, M., FRITZ, H. Adjustment of feeding choices and intake by a ruminant foraging in varied and variable environments: new insights from continuous bite monitoring. In: Bels, V. (Ed.), **Feeding in domestic vertebrates**. CAB International, Wallingford, p. 302–325, 2006.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v. 8, p. 221–278, 2013.
- ANGHINONI, I. et al. O solo no contexto. In: MARTINS, A. P. et al. (Ed.). **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 2015. p. 53–74.

ASSMANN, J. M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 52–59, 2014.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1357–1363, 2011.

BARBOSA, C. M. P. et al. Terminação de cordeiros em pastagens de azevém anual manejadas em diferentes intensidades e métodos de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 1953–1960, 2007.

BARTH NETO, A. et al. Perfilamento em pastagens de azevém em sucessão a soja ou milho, sob diferentes métodos e intensidades de pastejo. SIPA Italian ryegrass establishment by self-seeding in integrated crop-livestock systems: Effects of grazing management and crop rotation strategies. **European Journal of Agronomy**, v. 53, p. 67–73, 2014.

CAETANO, L. A. M. **Impacto da intensidade de pastejo na produtividade da soja em integração com bovinos de corte** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

CARVALHO, D. B. et al. Fertilidade do solo em integração lavoura-pecuária na região de Guarapuava/PR. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 3, p. 57–65, 2005.

CARVALHO, P. C. F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 88, p. 259–273, 2010.

CARVALHO, P. C. F. et al. Integração do componente pastoril em sistemas agrícolas. In: SILVA, S. C.; PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. (Ed.). **Sistemas de Produção, Intensificação e Sustentabilidade da Produção Animal**. Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 33–56.

CARVALHO, P. C. F. et al. Integrating the pastoral component in agricultural systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**. No prelo, 2017.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

CAUDURO, G. F. et al. Variáveis morfológicas e estruturais de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) manejado sob diferentes intensidades e métodos de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1298–1307, 2006.

CECAGNO, D. **Carbono orgânico do solo em sistema integrado de produção agropecuária**. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

CECAGNO, D. et al. Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no-till, integrated crop-livestock system under different grazing intensities. **Soil Tillage Res.** 156, 54–62. doi:10.1016/j.still.2015.10.005, 2016.

CHÁVEZ, L. F. et al. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 46, p. 1254–1261, 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira-grãos 2016/2017**. Brasília: CONAB, 2017. 170p. Disponível em http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_07_12_11_17_01_boletim_graos_julho_2017.pdf. Acesso em 01 Ago. 2017.

CONTE, O. **Atributos físicos de solo e demanda de tração em semeadura direta de soja, com diferentes pressões de pastejo em sistema de integração lavoura-pecuária** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

CONTE, O. et al. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 220–228, 2007.

CONTE, O. et al. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, p. 730–739, 2008.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 46, p. 1301–1309, 2011.

COSTA, S. E. V. G. A. **Intervalo hídrico ótimo no solo e estado hídrico das plantas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto**. 2013. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

COSTA, S. E. V. G. A. et al. Impact of an integrated no-till crop-livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 43–51, 2014.

FAO - Food and Agriculture Organisation. **How to Feed the World in 2050**. Rome: FAO, 2016. 35 p. Disponível em: www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf. Acesso em 01 Ago. 2017.

FERREIRA, E. V. O. et al. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1675–1684, 2009.

FERREIRA, E. V. O. et al. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 161–169, 2011.

FLORES, J. P. C. **Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo em plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 771–780, 2007.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos químicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto com aplicação superficial de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2385–2396, 2008.

FRANZLUEBBERS, A.J., STUEDEMANN, J.A., SCHOMBERG, H.H. Spatial distribution of soil carbon and nitrogen pools under grazed tall fescue. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 64, p. 635–639, 2000.

GUILHERME, L. R. G. et al. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, p. 345–390, 2005.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104p. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm. Acessado em 10 janeiro de 2016.

KUNRATH, T. R. **Sistemas integrados de produção agropecuária: o papel da pastagem na solução do dilema produção versus conservação**. 2014. 130 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

KUNRATH, T. R. et al. Management targets for continuously stocked mixed oat x annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop–livestock system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 71–76, 2014.

KUNRATH, T. R. et al. Fase pastagem. In: MARTINS, A. P. et al. (Ed.). **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 2015a. p. 31–42.

KUNRATH, T. R. et al. Fase soja. In: MARTINS, A. P. et al. (Ed.). **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 2015b. p. 43–50.

KUNRATH, T. R. et al. Grazing management in an integrated crop-livestock system: soybean development and grain yield. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 645–653, 2015c.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1131–1140, 2007.

LEMAIRE, G.; WILKINS, R.; HODGSON, J. Challenges for Grassland Science: managing research priorities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 108, p. 99–108, 2005.

LOPES, M. L. T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho e qualidade da carcaça de novilhos superprecoces terminados em pastagem de aveia e azevém manejada sob diferentes alturas. **Ciência Rural**, v. 38, p. 178–184, doi:10.1590/S0103-84782008000100029, 2008.

LOPES, M. L. T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1499–1506. doi:10.1590/S0103-84782009005000096, 2009.

MARTINS, A. P. **Acidez e formas de alumínio do solo em sistema integrado de produção de soja e bovinos de corte em semeadura direta no subtropico brasileiro**. 2016. 170 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MARTINS, A. P. et al. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 144, p. 141–149, 2014a.

MARTINS, A. P. et al. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop–livestock system under different grazing intensities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 195, p. 18–28, 2014b.

MARTINS, A. P. et al. Aspectos ambientais. In: MARTINS, A. P. et al. (Ed.). **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 2015. p. 71-76.

MARTINS, A. P. et al. Short-term impacts on soil-quality assessment in alternative land uses of traditional paddy fields in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 100, p. 1–18, 2016a

MARTINS, A. P. et al. Long-, medium-and short-term dynamics of soil acidity in an integrated crop–livestock system under different grazing intensities. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, DOI: 10.1007/s10705-015-9759-5, 2016b.

MORAES, A. et al. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 4-9. 2014a.

MORAES, A. et al. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, p. 1024–1031, 2014b.

NICOLOSO, R. S. et al. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2425–2433, 2008.

NUNES, P.A. de A. **Como a intensidade de pastejo determina a heterogeneidade espacial da vegetação e suas implicações em um sistema integrado de produção agropecuária** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

OLIVEIRA, C. A. et al. Comparison of an integrated crop–livestock system with soybean only: Economic and production responses in southern Brazil. **Renew. Agric. Food Syst.**, v. 28, p. 1–9. doi:10.1017/S1742170513000410, 2013.

PIVA, J. T. **Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do Solo em sistemas integrados de produção no sub trópico Brasileiro**. 2012. 97 p. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2012.

ROCHA, L. M. Desempenho e características das carcaças de novilhos superprecoces em pastos hibernais submetidos a intensidades de pastejo. **Pesqui. Agropecu. Bras.** 46, 1379–1384. doi:10.1590/S0100-204X2011001000035, 2011.

SALTON, J. C., CARVALHO, P. C. F. **Heterogeneidade da pastagem** - causas e conseqüências. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, 2007.

SANTOS, H. P. et al. Fertilidade e teor de matéria orgânica do solo em sistemas de produção com integração lavoura e pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, p. 474–482, 2011.

SAVIAN, J. V. et al. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop–livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 112–119, 2014.

SCHUSTER, M. Z. et al. Grazing intensities affect weed seedling emergence and the seed bank in an integrated crop-livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 232, p. 232–239, 2016.

SILVA, F. D. et al. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop-livestock systems under no-till. **Eur. J. Agron.** V. 57, p. 84–91. doi:10.1016/j.eja.2013.10.009, 2014a.

SILVA, H. A. et al. Chemical and physical soil attributes in integrated crop-livestock system under no-tillage. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, p. 946–944, 2014b.

SOUZA, E. D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.1829–1836, 2009.

SOUZA, E. D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 74–88, 2010a.

SOUZA, E. D. et al. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1365–1374, 2010b.

SOUZA FILHO, W. **Intensidade de emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global em um sistema integrado de produção agropecuária no subtropico brasileiro**. 2017. 122 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SPERA, S. T. et al. Efeito de integração entre lavoura e pecuária, sob plantio direto, em alguns atributos físicos do solo após dez anos. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 695–704, 2010.

SPERA, S. T. et al. Efeito de sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, p. 388–393, 2012.

TATSCH, F. R. P. **Elementos-traço em sistema de integração soja-bovinos de corte sob plantio direto**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

WESP, C. L.; CARVALHO, P. C. F.; CONTE, O.; CADENAZZI, M.; ANGHINONI, I.; BREMM, C. Steers production in integrated crop-livestock systems: pasture management under different sward heights. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 187–194, 2016.