

**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. Palestras: intensificação com sustentabilidade / 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

Como citar

Como citar (NBR-6023:8.1.1.2): Livro como um todo

JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras**: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. 165 p. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

BibTeX (ABNTeX2E):

```
@Book{Jamhour2017Palestras,
  Title      = {Palestras: intensifica{\c c}\-ao com sustentabilidade},
  Address    = {Pato Branco},
  Editor     = {Jamhour, Jorge; Assmann, Tangriani Simioni},
  Publisher  = {UTFPR Câmpus Pato Branco},
  Year      = {2017},
  ISBN      = {978-85-99584-10-1},
  Note      = {Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produ{\c c}\-ao Agropecu\`aria, 1.; Encontro de Integra{\c c}\-ao Lavoura-Pecu\`aria no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel},
  Pages     = {165},
  Url       = {http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb},
  Urlaccessdate = {dd mmm. AAAA},

  Owner     = {Jorge Jamhour},
  Timestamp = {13.12.2017},
  Editortype = {Org.}
}
```

Como citar (NBR-6023:7.7):

SOBRENOME, Autor. Título da palestra. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras**: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. xx-xy. ISBN 978-85-99584-10-1. Cascavel. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

BibTeX (ABNTeX2E):

```
@Inbook{Sobrenome2017Titulo,
  Title      = {Título da palestra},
  Address    = {Pato Branco},
  Author     = {Sobrenome, Autor},
  Booktitle  = {Palestras: intensifica{\c c}\-ao com sustentabilidade},
  Editor     = {Jamhour, Jorge and Assmann, Tangriani Simioni},
  Note      = {Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produ{\c c}\-ao Agropecu\`aria, 1.; Encontro de Integra{\c c}\-ao Lavoura-Pecu\`aria no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel},
  Pages     = {xx-xy},
  Publisher  = {UTFPR Câmpus Pato Branco},
  Year      = {2017},
  Editortype = {Org.},
  ISBN      = {978-85-99584-10-1},
  Url       = {http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb},
  Urlaccessdate = {dd mmm. AAAA},

  Owner     = {Jorge Jamhour},
  Timestamp = {13.12.2017}
}
```



Comissão Organizadora

Elir de Oliveira, Dr.
Presidente

Marcela Abbado Neres, Dr^a.
Secretária

André Brugnara Soares, Dr.
Secretaria Adjunta

Membros:

Alceu Luiz Assmann, Dr.
Américo Fróes Garcez Neto, Dr.
Aníbal de Moraes, Dr.
Claudete Lang, Dr^a.
Endrigo Antonio de Carvalho, Zootecnista
Joice Mari Assmann, Dr^a.
Jose Antonio Cogo Lançanova, Dr.
José Pereira da Silva
Katia Fernanda Gobbi, Dr^a.
Laise Da Silveira Pontes, Dr^a.
Luiz Antonio Zanao Junior, Dr.
Manoel Marcio Chaves, Engenheiro Agrônomo
Marcos Roberto Marcon, Engenheiro Agrônomo
Maristela Carvalho, Dr^a.
Nei Moreira, Dr.
Paulo César de Faccio Carvalho, Dr.
Ronaldo Hojo, Dr.
Sebastião Brasil Lustosa, Dr.
Symone M. Bernardo Lugão, Dr^a.
Tangriani Simioni Assmann, Dr^a.
Ulysses Cecato, Dr.
Willian Gonçalves do Nascimento, Dr.

Comissão Técnico-Científica

Tangriani Simioni Assmann, Dr^a.
Coordenadora

Membros:

Adriel Ferreira da Fonseca
Américo Fróes Garcez Neto, Dr.
Anderson Clayton Rhoden, M. Sc.
Christiano Santos Pitta, Dr.
Claudete Reisdorfer Lang, Dr^a.
Cristiano Magalhães Pariz, Dr.
Daniel Schmitt, Dr.
Ivan Bordin, Dr.
Joice Mari Assmann, Dr^a.
Jonatas T. Piva, Dr.
Jones Fidalski, Dr.
Josiane Burkner dos Santos, Dr^a.
Juliano Rossi Oliveira, M. Sc.
Karina Batista Instituto de Zootecnia, Dr^a.
Kátia Fernanda Gobbi, Dr^a.
Laíse da Silveira Pontes, Dr^a.
Luciana Gerdes, Dr^a., Instituto de Zootecnia
Lutécia Beatriz dos Santos, Dr^a.
Marcela Abbado Neres, Dr^a.
Marciali Maccari, Dr^a.
Mateus Carvalho Brasílio de Azevedo, Dr.
Nei Moreira, Dr.
Paulo Fernando Adami, Dr.
Paulo César de Faccio Carvalho, Dr.
Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, Dr.
Ricardo Beffart Aiolfi, M. Sc.
Sebastião Brasil Campos Lustosa, Dr.
Simony M. Bernardo Lugão, Dr^a.
Thiago Baldissera, Dr.
Vanderley Porfírio da Silva, Dr.
Willian Gonçalves do Nascimento, Dr.



PROGRAMAÇÃO DO EVENTO

21 de agosto – Segunda Feira.
Cadastramento/ Recepção e Informações.
Solenidade de abertura.
Coquetel de abertura.

22 de agosto – Terça Feira.		
Sistemas Integrados de Produção: Reconciliando a agricultura contemporânea com a qualidade ambiental Dr. Gilles Lemaire - INRA-FRANÇA		
Eixo Temático 1 Serviços ecossistêmicos	Eixo Temático 2 Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes	Eixo Temático 3 Produção animal e vegetal
Balço e Emissões de Gases de Efeito Estufa em Sistemas Integrados Dr ^a . Patricia Perondi A. Oliveira EMBRAPA	Ciclagem de nutrientes Dr. Ibanor Anghinoni - UFRGS	Produção integrada de grãos e pecuária: oportunidade para aumentar a diversificação e a rentabilidade Dr. Alvadi Antonio Balbinot EMBRAPA
Biodiversidade em pastagens Dr. Carlos Nabinger – UFRGS	Adubação de sistemas Dr ^a . Tangriani S. Assmann - UTFPR	Seria o processo de pastejo gerador de propriedades emergentes em SIPA? Dr. Paulo de Faccio Carvalho – UFRGS
Importância de nematoides em sistemas integrados de produção agropecuária Dra Andressa Zamboni Machado - IAPAR	Mesa redonda: Ensino SIPA nas Universidades Dr. Sebastiao L. Brasil/UNICENTRO; Dr. Andre B. Soares/UTFPR; Dr. Carlos Crusciol/UNESP; Dr. Adriel Fonseca /UEPG	Componente florestal e impacto nos SIPAs Dr. Vanderley Porfirio da Silva EMBRAPA

23 de agosto – Quarta Feira.		
Rumo ao uso de testes de atividade biológica de solo como indicadores de disponibilidade de nitrogênio Dr. Alan Franzluebbbers USDA-EUA		
Eixo Temático 4 Avanços técnico-científicos	Eixo Temático 5 Econômico-Social	Eixo Temático 6 Parâmetros edáficos
Avanços técnico-científico dos SIPASs na região sub-tropical Dr. Anibal Moraes - UFPR	Perspectiva Econômica dos Sistemas Integrados de Produção - Case Centro Oeste Artur Falcette – SAPÉAGRO	Relações tensões de formação do solo induzidas pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas em SIPA Dr. Cezar F. Araújo Jr IAPAR
Avanços técnico-científicos em SIPA na região tropical Dr Edicarlos Damacena de Souza - UFMT	Experiência PISA: impacto econômico-social no subtrópico brasileiro Dr. Davi Teixeira - SIA	Atividade e diversidade microbiana no solo em SIPA Dr. Arnaldo Collozi Filho IAPAR

24 de agosto – Quinta Feira.
MESA REDONDA: Desafios e oportunidades em SIPAs Dr. Davi Teixeira – SIA; Eng. Agrônomo Jorge M. Samek – ITAIPU; Rodolfo L. W. Botelho – FAEP
Visita técnica ao IAPAR – Polo Regional de Pesquisa Oeste Dr. Elir de Oliveira



CARTA DE CASCAVEL

Aos 24 dias de agosto de 2017, nós congressistas do I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária e IV Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, reafirmamos o nosso compromisso com a produção de conhecimentos e formação de recursos humanos que visem o desenvolvimento sustentável dos sistemas de produção agropecuários brasileiros e manifestamos por meio deste documento as principais considerações resultantes das discussões nos diversos momentos do congresso:

Do ambiente produtivo, econômico e social

1. os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), também denominados integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) apresentam-se como alternativas para diversificação da produção, garantem maior estabilidade econômica da propriedade diante da dependência excessiva da produção de grãos de soja e milho, permitem a intensificação com sustentabilidade da produção e promovem a geração de mais emprego e renda, além de gerar produtos de qualidade para um mercado cada vez mais exigente;

2. os sistemas integrados constituem-se em um potente sistema de captação de gás carbônico (CO₂), gás de efeito estufa (GEE), auxiliando na mitigação do aquecimento global;

3. produtos animais obtidos nos sistemas integrados de produção agropecuária apresentam maior qualidade alimentar e estão sujeitos à menores riscos alimentares e econômicos do que aqueles obtidos em confinamento, tal situação coloca o Brasil, potencialmente, como um dos maiores fornecedores mundiais de proteína animal de qualidade produzida a pasto. Contudo, tal característica tem sido pouco divulgada pela mídia brasileira, prevalecendo nesta, informações de contaminações alimentares pontuais e localizadas em alguns frigoríficos de carne bovina. Isto tem um efeito deletério sobre o consumo da carne brasileira no exterior, que dá preferência à alimentos produzidos em ambientes sustentáveis, bem como, reduz ao consumo interno dos produtos animais, o que conseqüentemente acarreta em redução dos valores pagos aos produtores rurais. Assim, torna-se urgente que o Brasil passe a promover a qualidade dos alimentos de origem animal produzidos em sistemas integrados de produção agropecuária;

Da formação profissional e recomendações técnicas em SIPA

4. a divisão em áreas de especialidades que atualmente ocorre nas grades curriculares das disciplinas acadêmicas dificulta a formação de um profissional com visão sistêmica necessária aos processos de transferência de tecnologia dos sistemas SIPA/ILP/ILPF;

5. paulatinamente e à medida que indicadores robustos de avaliação de fertilidade de solo sejam disponibilizados pelos setores de pesquisa e desenvolvimento, deve-se adotar o paradigma Adubação de Sistemas para recomendação de adubação em SIPA, o qual considera os processos e ciclagem de nutrientes entre todas as fases da rotação de culturas, evitando assim recomendações tradicionais de adubação compartimentalizadas por culturas;

6. as propriedades físico-hídricas e mecânicas do solo em sistemas integrados de produção agropecuária são dependentes do ajuste de carga animal, das tensões exercidas pelo pisoteio animal, pelas máquinas e controle de tráfego, exigindo, portanto, conhecimento para o manejo

adequado, visando a maximização da produção associado a preservação dos recursos naturais, em especial, o solo;

Da produção científica e interdisciplinaridade

7. a produção científica brasileira relativa aos sistemas integrados de produção agropecuária vem aumentando exponencialmente, contudo esta encontra-se dispersa em revistas científicas de áreas específicas tais como solos e zootecnia. Essa dispersão dificulta a discussão, a agregação de informações e a interdisciplinaridade dos saberes necessários a abordagem sistêmica dos sistemas integrados de produção agropecuária;

Da Política de Governo e do Programa de Agricultura de Baixo Carbono

8. na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente (COP15), realizada em Copenhague, em 2015, o Brasil se comprometeu em recuperar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e ampliar em 4 milhões de hectares a área de sistema de integração lavoura-pecuária. Também, visando a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa no país, foi criado o Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC). Os compromissos internacionais assumidos já não se encontram mais tão evidenciados pelas agências governamentais e o Programa ABC tornou-se burocraticamente emperrado junto aos agentes creditícios e, atualmente tem desestimulado a captação de recursos para custeio e investimentos pelos produtores rurais;

9. os recursos públicos destinados aos processos de capacitação, de incentivo à pesquisa, assistência técnica e difusão de tecnologia vêm se tornando cada ano mais escassos, impactando negativamente no agronegócio e na agricultura familiar;

Tripé: sociedade científica, assistência técnica e setor produtivo

10. por outro lado, positivamente, há iniciativas público-privada e do setor produtivo que visam a reestruturação da cadeia de produção animal, organização do setor e comercialização de produtos animais de qualidade, tal como o Programa de Pecuária Moderna (PR), onde a pesquisa de sistemas integrados e assistência técnica podem ter um espaço privilegiado de interação com o setor produtivo organizado;

11. para que os profissionais atuantes na temática de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, Integração Lavoura-Pecuária ou Integração Lavoura-Pecuária-Floresta possam congregam suas ideias e maximizar suas ações, foi decidido pelo encaminhamento da criação da **SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA** que se caracterizará, de forma diferenciada, pela virtuosa interação entre as instituições de pesquisa, ensino e assistência técnica com o setor produtivo através de suas entidades representativas organizadas;

Por fim, conclamamos todos os pesquisadores, professores, acadêmicos, profissionais da assistência técnica, difusores e produtores rurais a se congregarem em torno do objetivo da unificação de esforços para que as diretrizes ora expostas neste documento, discutido e aprovado em plenária do congresso, denominado **CARTA DE CASCAVEL**, sejam amplamente divulgados e os anseios desta carta sejam concretizados.

Cascavel-PR, 24 de agosto de 2017.

SUMÁRIO

Editorial.....	10
Elir de Oliveira, Dr.	
SESSÕES PLENÁRIAS.....	11
Diversification within and among agro-ecosystems for sustainable agriculture production.....	12
Gilles LEMAIRE	
EIXO TEMÁTICO 1: SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS.....	22
Balanco e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados.....	23
Patrícia Perondi Anchão OLIVEIRA, José Ricardo Macedo PEZZOPANE, Paulo de MÉO FILHO, Alexandre BERNDT, André de Faria PEDROSO, Alberto Carlos Campos BERNARDI	
Biodiversidade em pastagens.....	33
Carlos NABINGER, Martín A. JAURENA; Anderson C. R. MARQUES	
Importância e manejo de nematoides em sistemas integrados.....	45
Anderson Cascione Gripp BICALHO, Andressa Cristina Zamboni MACHADO	
EIXO TEMÁTICO 2: ADUBAÇÃO DE SISTEMAS E CICLAGEM DE NUTRIENTES.....	55
Ciclagem de nutrientes.....	56
Ibanor ANGHINONI, Paulo C. F. CARVALHO, Amanda P. MARTINS, Joice M. ASSMANN, Fernando ARNUTI, José B. M. BORIN, Diego CEGAGNO, Luiz G. O. DENARDIN, Tales TIECHER, Anibal de MORAES	
Adubação de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária.....	67
Tangriani Simioni ASSMANN, André Brugnara SOARES, Alceu Luiz ASSMANN, Flávia Levinski HUF, Rosangela Corrêa de LIMA	
EIXO TEMÁTICO 3: PRODUÇÃO ANIMAL E VEGETAL.....	85
Produção integrada de grãos e pecuária.....	86
Alvadi Antonio BALBINOT JUNIOR, Anibal de MORAES, Osmar CONTE, Julio Cezar FRANCHINI, Henrique DEBIASI	
EIXO TEMÁTICO 4: AVANÇOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS.....	101
Avanços técnico-científicos em SIPA no subtrópico brasileiro.....	102
Anibal de MORAES, Adelino PELISSARI, Paulo César de Faccio CARVALHO, Ibanor ANGHINONI, Sebastião Brasil Campos LUSTOSA, Alvadi Antonio BALBINOT JUNIOR, Claudete Reisdorfer	

LANG, Tangriani S. ASSMANN, Alceu ASSMANN, Jonatas Thiago PIVA, Maurício Zanovello
SCHUSTER, Taise Robinson KUNRATH, Amanda Posselt MARTINS

Avanços técnico-científicos e perspectivas dos sistemas integrados de produção agropecuária no cerrado..... 125

Edicarlos Damacena de SOUZA, Juliana Mendes Andrade de SOUZA, Gabriela Castro PIRES,
Jackeline Vieira dos Santos LAROCCA, Gleidson José COUTINHO, Leandro Pereira PACHECO,
Marco Aurélio Carbone CARNEIRO, Francine Damian da SILVA, Helder Barbosa PAULINO e Carlos
Eduardo Avelino CABRAL

EIXO TEMÁTICO 6: PARÂMETROS EDÁFICOS.....136

Tensões-deformações do solo induzidas pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária..... 137

Cezar Francisco ARAUJO JUNIOR

Atividade e diversidade microbiana no solo em sistemas integrados de produção agropecuária152

Andréa Scaramal da SILVA, Ana Paula ZANDONÁ, Arnaldo COLOZZI FILHO

Editorial

Elir de Oliveira, Dr.

Presidente da Comissão Organizadora
Pesquisador do Instituto Agrônomo do Paraná

Entre os dias 21 e 24 de agosto de 2017 foi realizado, em Cascavel/PR, o I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária/IV Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, promovido pelo IAPAR, UTFPR, SEAB, UFPR, UNIOESTE, UEM, AREAC, EMATER, UFRGS, FAG, UEPG, UEL, EMBRAPA, EPAGRI, UNICENTRO, APTA/IZ. A realização do congresso é resultado de trabalhos que foram construídos ao longo dos anos, onde se registra o I Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil (2002); Simpósio Internacional em Integração Lavoura-Pecuária e II Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil (2007); III Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil (2011); International Symposium on Integrated Crop-Livestock Systems (2012) e o World Congress on Integrated Crop-Livestock-Forest Systems (2015), quando se estabeleceu relações proativas entre profissionais e suas instituições com objetivos convergentes.

O I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária/IV Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil teve por finalidade “difundir e multiplicar os conhecimentos de sistemas integrados em produção agropecuária em nível nacional visando a diminuição de processos erosivos, a recuperação de áreas degradadas, maximizar o melhor uso do solo e o aumento da rentabilidade e da sustentabilidade dos sistemas produtivos”.

O tema central do Congresso foi “Intensificação com Sustentabilidade”, ou seja, aumentar a produção agrícola e pecuária, a produtividade, a rentabilidade dos produtores, mas respeitando o ambiente e gerando produtos como leite e carne de qualidade para um mercado cada vez mais exigente. Os sistemas integrados de produção agropecuária, se amplamente divulgados e implementados, possuem grande potencial para impactar positivamente o mercado externo e interno, constituindo-se em marketing para a carne brasileira, aferindo sua qualidade devido à produção a pasto, em ambientes sustentáveis, privilegiando ainda o adequado conforto animal.

A plenária final do congresso foi pautada por decisões importantes como a unanimidade para realização do II Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados em Rondonópolis/MT; aprovação do documento denominado “Carta de Cascavel” e ações para a criação da sociedade brasileira de sistemas integrados, como sociedade de caráter técnico-científico, mas inovadora com a participação ativa da assistência técnica e do setor produtivo.

O evento de âmbito nacional contou com a presença de 400 participantes representando diversos estados brasileiros; foram apresentados 210 trabalhos científicos e apresentadas dezenas de palestras organizadas em seis eixos temáticos e em plenária, preferidas por conferencistas nacionais e internacionais, como da França e dos Estados Unidos. Como parte da programação, no último dia, foi realizada visita técnica dos congressistas ao Polo Regional de Pesquisa do IAPAR, em Santa Tereza, tendo como roteiro a apresentação dos trabalhos de pesquisas sobre integração lavoura-pecuária que são conduzidos naquela unidade de pesquisa.

Considerando como evento de sucesso, temos a grande satisfação de disponibilizar a todos as palestras apresentadas durante o I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária/IV Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil.

Como Citar (NBR 6023)

OLIVEIRA, Elir de. Editorial. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 10. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

Sessões plenárias

Diversification within and among agro-ecosystems for sustainable agriculture production

Role of crop-livestock integration

Gilles LEMAIRE

Honorary Director of Research, INRA, Lusignan, France
Member of French Academy of Agriculture

Abstract – Most of the environmental impacts of modern agriculture are due more to a too high level of simplification/homogeneity of agriculture systems at fields, farm, landscape and region scale than to a too high level of intensification of production. Environmental impacts due to emissions to atmosphere and hydrosphere are mainly due to an imbalance between C-N-P decoupling and coupling processes within agro-ecosystem...that has been highly aggravated by the historical link between intensification and simplification/homogeneity of agriculture production systems. Loss of biodiversity is also highly linked to the decrease in diversity within agro-ecosystems and among them at landscape level leading to reductions in trophic networks and habitats.

According to these common features we postulate that, by restoring and increasing "diversity" in agro-ecosystems, it should be possible to maintain a high level of productivity of agriculture production while a satisfactory level of environment quality and biodiversity could be maintained or restored.

Grassland-arable cropping integration and agroforestry are two important ways for diversifying agriculture systems owing to their high degree for coupling C-N-P for allowing possible agriculture intensification while minimizing risks for environment. Crop-livestock integration is a way for developing more diversified agriculture production systems. Some results obtained from long term experiments allow the illustration of agronomical and environmental benefits resulting from associations between grasslands and arable cropping systems.

Diversification of agriculture systems has to be analyzed not only at farm but also at landscape, regional and continental levels for matching environmental and biodiversity issues with socio-economic drivers. Socio-economic analyses are necessary for studying the possible ways for disconnecting specialization/homogeneity from intensification (economy of scale) and for promoting the links between intensification and diversity (economy of scope). Global analysis on equilibrium between food/non-food production of agriculture (agroforestry) and animal/plant in human diet (integrated crop-livestock systems) are necessary for optimizing the trade-off between agriculture production and environment quality at the level of the planet....

Keywords: Biodiversity, bio-geochemical cycles, sod-based rotations, crop-livestock integration, greenhouse gas emission, nitrate leaching, sustainable agriculture.

Resumo – A maioria dos impactos ambientais da agricultura moderna deve-se mais a um nível muito elevado de simplificação / homogeneidade dos sistemas agrícolas em campos, fazendas, paisagens e escala regional do que a um alto nível de intensificação da produção. Os impactos ambientais decorrentes das emissões para a atmosfera e a hidrosfera são principalmente decorrentes de um desequilíbrio entre os processos de desacoplamento e acoplamento de C-N-P no agro-ecossistema ... que tem sido altamente agravado pelo vínculo histórico entre intensificação e simplificação / homogeneidade dos sistemas de produção agrícola. A perda de biodiversidade também está altamente ligada à diminuição da diversidade nos agroecossistemas e entre eles a nível da paisagem, levando a reduções nas redes e habitats tróficos.

De acordo com essas características comuns, postulamos que, ao restaurar e aumentar a "diversidade" nos agroecossistemas, seria possível manter um alto nível de produtividade da produção agrícola, enquanto um nível satisfatório de qualidade ambiental e biodiversidade poderia ser mantido ou restaurado.

A integração das culturas de pastagens e as agroflorestais são duas formas importantes de diversificação dos sistemas agrícolas devido ao alto grau de acoplamento do C-N-P para permitir uma possível intensificação da agricultura e minimizar os riscos para o meio ambiente. A integração colheita-pecuária é uma forma de desenvolver sistemas de produção agrícola mais diversificados. Alguns resultados obtidos a partir de experimentos de longo prazo permitem a ilustração de benefícios agrônômicos e ambientais resultantes de associações entre gramados e sistemas de cultivo arável.

A diversificação dos sistemas agrícolas deve ser analisada não apenas na fazenda, mas também nos níveis paisagístico, regional e continental, para combinar questões ambientais e de biodiversidade com motoristas socioeconômicos. As análises socioeconômicas são necessárias para estudar as possíveis formas de desconectar a especialização / homogeneidade da intensificação (economia de escala) e para promover os vínculos entre intensificação e diversidade (economia do escopo). A análise global do equilíbrio entre a produção alimentar / não alimentícia da agricultura (agrofloresta) e animal / planta em dieta humana (sistemas integrados de criação e pecuária) é necessária para otimizar o trade-off entre produção agrícola e qualidade ambiental ao nível do planeta ...

Palavras-chave: Biodiversidade, ciclos bio-geoquímicos, rotações baseadas no solo, integração agropecuária, emissão de gases de efeito estufa, lixiviação de nitratos, agricultura sustentável.

Como Citar (NBR 6023)

LEMAIRE, Gilles. Diversification within and among agro-ecosystems for sustainable agriculture production: Role of crop-livestock integration. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangirani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 12–21. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

INTRODUCTION

Worldwide, agriculture have to face two apparent contradictions: (i) the necessity to continue to increase food production for matching needs of increasing human population with limited land and water resources; and in the same time (ii) the urgency to reduce impacts on soil, water and air quality and on biodiversity caused by modern agriculture (Tilman et al. 2002). In consequence several questions emerge:

Is this trade-off between agriculture production and environment quality solvable?

Is the limitation of intensification the only way for a sustainable agriculture production?

Are agriculture productivity and preservation of environment reconcilable?

During the last 70 years, in industrialized countries, intensification of agriculture production has been achieved through the narrow association of two factors: (i) an increasing use of energy, water and chemical inputs coupled with a huge reduction in human labor; and (ii) an increasing simplification of agriculture systems at all level of organization, the field, the farm, the landscape and the region, leading to uniformity both within and among agro-ecosystems (Hendrickson et al. 2008; Lemaire et al. 2014). As modern agro-ecosystems are resulting from the historical link between intensification and simplification, we can ask the following question:

Are the negative impacts on environment of modern agriculture due to an excess of intensification or to a lack of diversity?

Competitiveness in the world market and reduction in human workload are the two main drivers of simplification and uniformity in agro-ecosystems as a consequence of the paradigm of economy of scale. Nevertheless farming systems need also to adapt to overcome hazards (Milestadt et al. 2012), and therefore, diversity should be an important factor of flexibility that put into question the “specialization—higher productivity” path of development (Evans 2009).

Ecological intensification of agriculture, i.e. the use of ecosystem processes and more particularly biological regulations, is argued as being the way for reconciling agriculture productivity with environment quality (Doré et al. 2011). The challenge is to replace the old paradigm based on simplification and standardization of production systems for optimizing productivity per unit of human labor with a new paradigm based on productivity per unit of natural resources (Lemaire et al. 2014). Successful ecological intensification of agriculture requires diversity at field scale where biogeochemical processes are operating; at farm scale where management decisions are made; at landscape scale where ecosystem processes and interactions between land use components are occurring; and region scale where socio-economic and political constraints are operating as driving forces (Lemaire et al. 2014). The historical link between intensification of production per unit of land or per unit of human labor and simplification and uniformity of management systems must be broken. Then, a positive relationship between socio-economic outcomes and values associated with the diversity of agricultural products and ecosystem services should emerge.

GRASSLANDS, A SOURCE OF DIVERSITY IN AGRO-SYSTEMS FOR REGULATING ENVIRONMENT

In terrestrial ecosystems, N and P are coupled closely with the C cycle through two important types of processes: (i) in vegetation, through light interception, plant photosynthesis, N and P assimilation, plant tissue synthesis and plant biomass accumulation, and (ii) in soils, through organic matter dynamics with constant releases and reuses of mineral N and P by micro-organisms. In grassland ecosystems, the active vegetation period throughout the year leads to more intense soil-vegetation interactions. Then N-P cycles are coupled strongly with C (Soussana et al. 2007) that increases the mineralization-immobilization turnover of N, leading to low residence time of reactive N in soil and low risks for N losses to hydrosphere and atmosphere. As a consequence, grasslands are considered as a favorable land-use system for preservation of environment (Lemaire 2012). Moreover,

the high rate of accumulation of fresh organic matter through leaf and root litters having a high C/N ratio leads to a high capacity of CO₂ sequestration in soil organic matter as shown by Franzluebbers et al. (2012). Nevertheless, long term stabilization capacity of C through clay and mineral bounds in soils progressively saturates as grassland ages, and after 30 years the CO₂ sink of grassland become asymptotically equal to zero (Figure 1).

Exploitation of herbage resources from grasslands by grazing animals provokes perturbations in ecosystem: (i) a reduction of leaf litter flow in soil in proportion to the herbage intake; (ii) a N-P decoupling from C by digestion processes, leading to CO₂ and CH₄ emissions by animal, a high N concentration in urine and P in feces, and a high patchiness of N-P restitutions leading to an increased spatial and temporal heterogeneity of pasture. All these grazing effects are quantitatively linked to stocking density and lead to erase a more or less part of the C-N-P coupling capacity of soil-vegetation system.

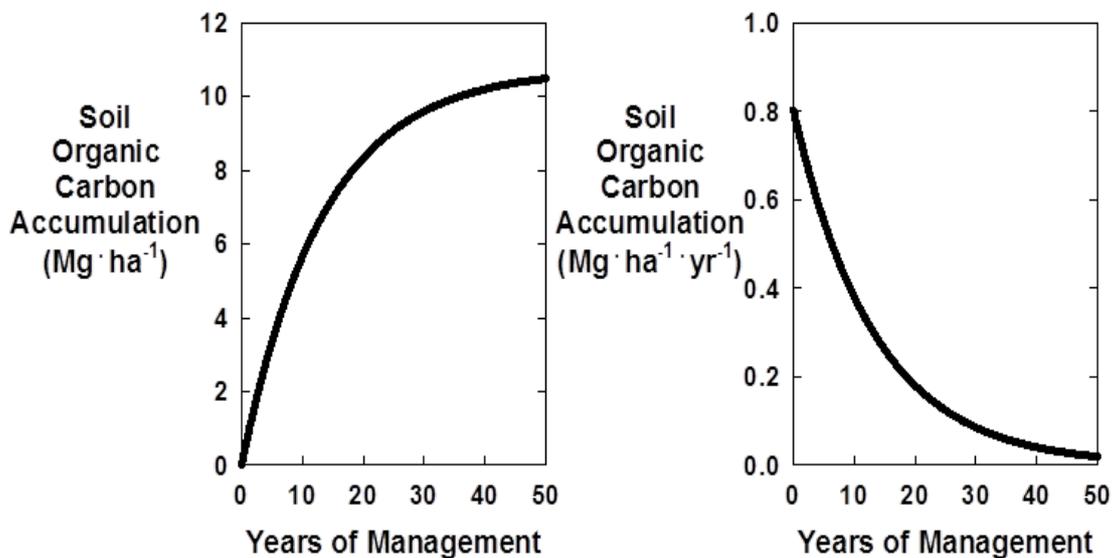


Figure 1 – Soil organic carbon accumulation (a) and rate of accumulation under pasture management (b). Reprinted from Franzluebbers et al (2012).

Intensification of grassland management can be achieved through two complementary ways: (i) N and P supply and/or increase in contribution of legume species for N₂ fixation, leading to an increased herbage production; and (ii) an increase in stocking density for valorizing the supplement of herbage produced. Increased herbage production should lead to increased C flows into ecosystem favoring then CO₂ sequestration of grassland. But in the same time, increased N nutrition of vegetation (lower C/N ratio) and increased stocking density should reduce the residence time of C within ecosystem. Then, as shown by Soussana and Lemaire (2014) and as illustrated in Figure 2, moderate intensification of grassland remains a sustainable option, while too high levels of intensification lead to only a marginal increase in animal outputs associated with high risks for environment. To overcome this trade-off it is necessary to develop the concept of ‘grassland environmental carrying capacity’, which is the stocking density achieving a balance between C–N coupling capacity of vegetation and C–N decoupling activity of domestic herbivores (Lemaire, 2012). Therefore, for each location and condition (e.g. soil, climate, vegetation), a threshold level of intensification needs to be determined, beyond which negative environmental impacts (CO₂ balance, CH₄ and N₂O emissions, nitrate leaching, etc.) due to grazing animals will exceed the positive impacts provided by soil–vegetation C–N coupling (Soussana et al. 2004; Parsons et al. 2011).

Moderately intensified grasslands should remain an important land use system, but an important research question remains: what level of spatial and temporal interactions of grassland areas

with arable cropping systems will be most beneficial to mitigate some of the negative impacts resulting from agricultural intensification?

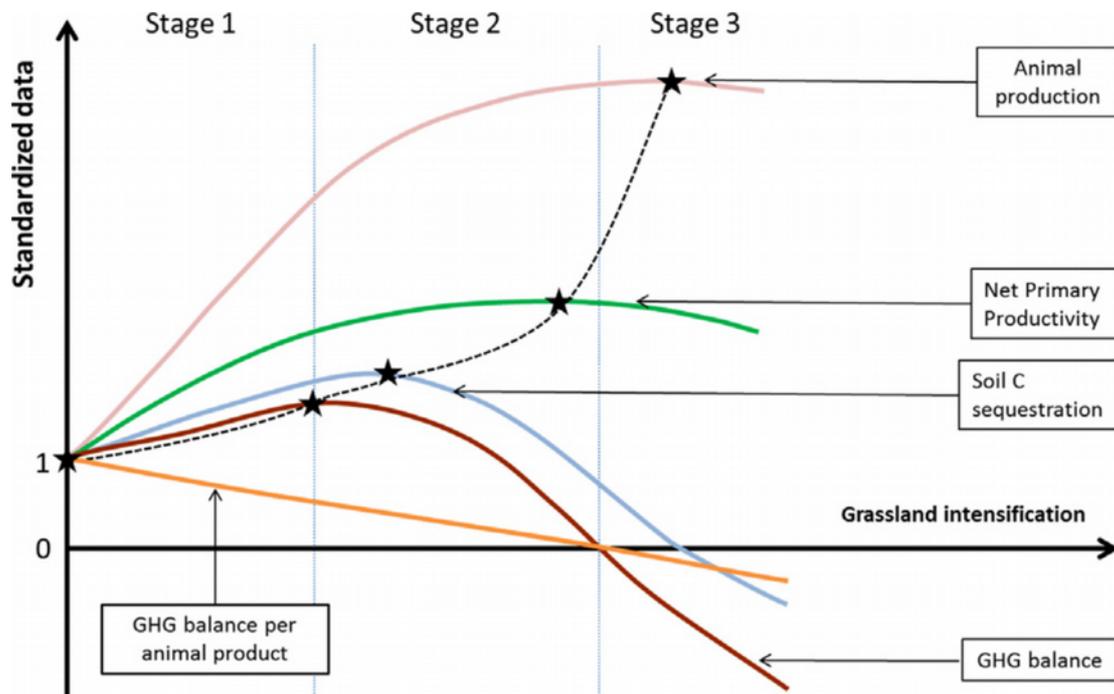


Figure 2 – Effects of grassland intensification on net primary production, animal production, soil N sequestration and GHG balance expressed in standardized values (1 representing an unintensified situation). After Soussana and Lemaire, 2014.

DECOUPLING C-N-P CYCLES IN SIMPLIFIED ARABLE CROPPING SYSTEMS AND ENVIRONMENTAL IMPACTS

The main effect of arable cropping is the temporal disruption of the soil-vegetation interactions. During the inter-crop period, the cessation of C flows from plants into rhizosphere provokes C starvation of soil microbe community and a large decrease in N immobilization capacity in soil. Then as N absorption flow by plants is also stopped, mineral N produced by soil organic matter mineralization accumulates in soil leading to increased risks for N₂O emission in atmosphere and NO₃-leaching. In addition, mineral N fertilization applications increase mineral N concentration in soils and associated environmental risks rise. Simplification of crop rotations with tendency to mono-culture is associated with increasing inter-crop periods with bare soils that is a factor for additional risks for soil erosion and P run-off. Moreover, increase in field size associated with simplification of cropping systems leads to landscape uniformity. Then control of weed, disease and insect populations without massive use of pesticides becomes more and more difficult in absence of ecological regulations, accentuating then deterioration of water and air quality and accelerating biodiversity decline. Attempts for mitigating these negative environmental impacts of simplified arable cropping systems have been made by the use of no-tillage and conservation management systems, the introduction of catch crop sequences, and a wider use of legume crop within rotations for reducing rates of mineral N fertilizer applications. But adoption by farmers of these new management systems is limited because of additional management costs and absence of financial incentives. Re-introduction of inter-crop vegetation sequences without any productive function represents a financial handicap. So, introduction of grassland periods within arable crop rotations should be a more sustainable solution by providing direct economic values through integrated crop-livestock systems.

GRASSLAND-ARABLE CROP ASSOCIATION AS A PATHWAY TO SUSTAINABLE AGRO-ECOSYSTEMS

As shown above, grasslands can provide several ecosystem services in addition to their productive function and economical valorisation. Services, such as atmospheric CO₂ sequestration or control of GHG emissions, must be estimated at the global scale, and are determined by how much land area is covered by grasslands. Other regulation services, such as control of soil erosion, maintaining of surface and ground water quality and limiting biodiversity loss, are resulting of spatial and temporal interactions between grassland areas and other local ecosystems at farm and landscape levels and depends where grassland areas are located that requires explicit analysis of land use pattern at local scale.

In sub-tropical Brazil, winter annual pastures preceding summer cash crops such as soya bean (*Glycine max*) or maize improve soil C stocks (MARTINS et al., 2014), crop yield (Moraes et al., 2014) and economic stability of cropping systems (OLIVEIRA et al., 2014). Several other studies showed that grain yields increased when grasslands were introduced into arable rotations (NAFZIGER and DUNKER, 2011; POSNER et al., 2008; GROVER et al., 2009). Use of legume-based grasslands may lead to large economy in N fertilizers for following crops. For example, alfalfa (*Medicago sativa*) may release between 100 and 200 kg mineral N per hectare to subsequent maize or cereal crops (HESTERMAN et al. 1987; BRUULSEMA and CHRISTIE 1987).

Introduction of grasslands into arable crop rotations allows a better control of pests and diseases (RODRIGUEZ-KABANA et al. 1989) and weed development (ENTZ et al. 2002; NAZARKO et al. 2005; Katsvairo et al. 2006). Reducing use of pesticides resulting from this better control should reduce pollution of water, air and soil. The grassland effect operates not only directly, in proportion to the land area covered by grassland, but also indirectly, through its spatial and temporal interactions with adjacent arable land areas. This synergetic effect highlights the need for local integration among agro-ecosystems.

Grassland-crop rotations have an intermediary C sequestration capacity between those of pure cropping or pure grassland systems, with C accumulation during grassland sequences and C loss during cropping sequences (SOUSSANA et al. 2004). As shown by (STUDERT et al. 1997) and illustrated in Figure 3, the long-term net C balance depends on the relative durations of grass vs. crop phases in the rotation.

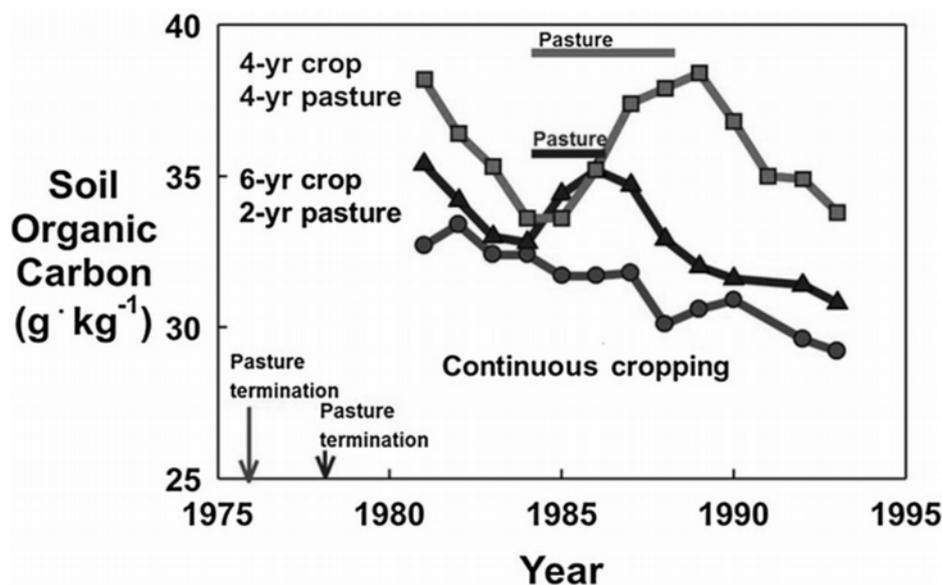


Figure 3 – Effect of long-term cropping and grass-crop rotation sequences on soil organic C in Argentina. Data from Studdert et al. (1997).

As mentioned above, the risk of nitrate leaching is generally low in grasslands if the stocking density remains moderate and under mowing management. Converting grassland into arable crops can induce a large flux of mineralised N, with a high risk of N being leached as nitrate (ERIKSEN and JENSEN, 2001; VERTES et al., 2007). Kunrath et al. (2015) observed that this risk is low when grassland is ploughed in early spring, just before a maize crop was sown. Average nitrate concentrations in drainage water in grassland-arable crop rotations decreased exponentially as the proportion of grassland in the total rotation duration increased as shown in Figure 4.

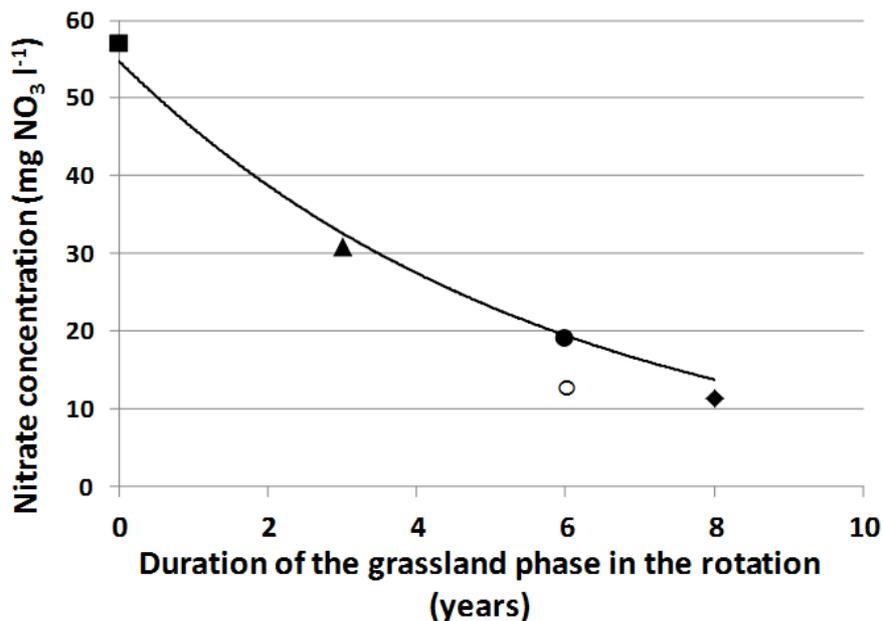


Figure 4 – Effect of introduction of grassland phases within an arable crop rotation (maize, wheat, barley) on average nitrate concentration of drainage water. After Kunrath et al. 2015.

Synergies between grasslands and arable crops are also the base for biodiversity dynamics at the landscape level (RYSCHAWY et al., 2012). Agriculture intensification when associated with landscape uniformity, has resulted in drastic declines in plant, insect, bird and mammal communities in many countries (BENTON et al. 2003; INCHAUSTI and BRETAGNOLLE, 2005). Experiments have shown that re-introduction of grasslands into an arable landscape can increase plant species richness (MEISS et al. 2010) and insect diversity (BADENHAUSER et al. 2009). As demonstrated by Robinson and Sutherland (2002), the ratio of grassland:arable land is an important factor determining bird species richness. The perennial habitats provided by grasslands allow the dynamics of meta-populations and meta-communities of many organisms based on dispersal and colonisation phenomena. Therefore, grassland-crop rotations generate patterns of landscape heterogeneity favourable to biodiversity dynamics of many taxa (BRETAGNOLLE et al. 2011).

There is wide agreement about the multiple benefits of close integration of grasslands in arable cropping systems, not only to increase and stabilise arable crop yields but also to protect the physical and biological environment. These benefits result from spatial and temporal interactions among crops, animals and grasslands operating at different levels (MORAINE et al., 2014). Some of these interactions are mediated by herbivores, either directly by grazing or indirectly by recycling nutrients from manure produced in barns, allowing temporal coordination between crop and livestock components of the system. Maximising coordination among crops, animals and grasslands should enable higher total agricultural production than the total production of the sub-systems managed independently, in line with the concept of emergent properties of natural ecosystems as applied to agricultural systems (SCHIERE et al., 2002).

CROP-LIVESTOCK INTEGRATION SYSTEMS, FROM FARM TO LANDSCAPE AND REGION...

After agriculture revolution in the 16th century, cereal production was associated with forage production and was the dominant farming system in Western Europe and North America until 1960s. Thereafter, specialisation of agriculture systems in these countries increased rapidly for different reasons: (i) increasing market demand for food-industry standards, (ii) capturing economies of scale under conditions of low-cost inputs on large farms, (iii) responding to policy incentives for international markets, and (iv) the necessity to reduce workload and to optimize work management (STEINER and FRANZLUEBBERS, 2009).

In different regions around the world two types of farming systems coexist in the same territory: (i) large farms increasingly specialised in pure arable cropping or feedlot livestock production; and (ii) small or medium family farms with greater diversity in agricultural production that use human labour more intensively and promote flexibility. Reintroduction of livestock within specialized cereal farms seems difficult, given the high workload and work-management constraints of livestock production (PEYRAUD et al., 2014). Integration of crops and livestock among specialised farms at the regional level could be a promising option to bypass this major locking. Promoting exchanges of feed resources, organic matter and N-P nutrients beyond the farm scale by connecting specialised farms should have many economic and social benefits that can be obtained only at the territory level (ASAI et al., 2014; MARTIN et al., 2014; RUSSELLE et al., 2007).

Collective land-use organisation could increase crop and grassland diversification and would result in a more heterogeneous landscape mosaic, an increased continuity among semi-natural components and thus among ecological networks (De GROOT et al., 2010). So connections with agro-forestry and sylvo-pastoralism systems should be encouraged. Economic benefits could be achieved through collective organisation of farmers for decreasing costs by collectively purchasing inputs (e.g. feed, fertilisers or seeds) and sharing equipment. Considering these economic aspects of farm activity is essential, as few incentives support this kind of coordination (SULC and TRACY, 2007).

Targeted political incentives are needed to promote crop-livestock integration at farm or regional levels. Subsidies based on diversifying production or autonomy through interactions between crops and livestock should be tested (RYSCHAWY et al., 2014). The environmental sustainability of such systems could justify political intervention at the regional level (RYSCHAWY, 2012). Integration of crops and livestock beyond the farm level would require a specific governance structure involving landscape planning at the regional level (De GROOT et al., 2010). Specific research and advice are needed to develop tools and portfolios of locally-adapted innovations that farmers would likely adopt to better coordinate crops and livestock (MARTIN et al., 2014). As Herrero et al. (2010) highlight for developing countries, governments should work with scientists and other stakeholders to precisely target technological investment and policy options, as well to adapt them to different farming systems and regions.

CONCLUSIONS

The high capacity for coupling C and N cycles allows grasslands to be considered an agro-ecosystem favorable for minimizing environmental impacts while achieving relatively high level of animal outputs. For global objectives in regulating greenhouse gas emissions, the question is how much grassland areas are necessary? For more regional and local objectives such as soil quality conservation, ground and surface water quality preservation, and biodiversity regulation, the question is where these grassland areas should be situated for providing these services in term of spatial and temporal interactions with other land use systems. Agronomic and environmental benefits of grasslands rotated with arable cropping systems are well documented in qualitative and general quantitative terms, but specific quantification relative to numerous management options will be necessary for the evaluation of the best compromise between socio-economic and environmental values of integrated systems.

The application of paradigm of economy of scale to agriculture systems leads to intensification of livestock and arable crop systems separately in different farms and territories, and then generates the unacceptable deterioration of environment we observe today. Inclusion of grasslands within arable crop rotations allows mixed crop-livestock systems to reach high productivity levels with reduced environment damages by increasing diversity at farm and landscape level. But it is necessary to analyze socio-economic and politic levers and lockings for a higher adoption of integrated crop-livestock systems by farmers and stakeholders.

REFERENCES

- ASAI, M., LANGER, V., FREDERIKSEN, P., JACOBSEN, B.H. **Livestock farmer perceptions of successful collaborative arrangements for manure exchange: A study in Denmark.** *Agric. Syst.* 2014. doi:10.1016/j.agsy.2014.03.007
- BADENHAUSER I, AMOUROUX P, LERIN J, BRETAGNOLLE V. Acridid (Orthoptera :Acrididae) abundance in Western European grasslands : sampling methods and temporal fluctuations. **J Appl Entomol.** 2009. v. 133, p. 720–732.
- BENTON TG, VICKERY JA, WILSON JD. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? **Trends Ecol Evol.** 2003. v. 18, p. 182–188.
- BRETAGNOLLE V, GAUFFRE B, MEISS H, BADENHAUSSER I. The role of grassland areas within arable cropping systems for the conservation of biodiversity at the regional level. In: Lemaire G, Hodgson J, Chabbi A (eds) *Grassland productivity and ecosystem services.* CAB International, Wallingford, UK, 2011. p. 251–270.
- BRUULSEMA TW, Christie BR. Nitrogen contribution to succeeding corn from alfalfa and red-clover. **Agron J,** 1987. v. 79, p. 96–100.
- DORÉ, T., MAKOVSKI, D., MALÉZIEUX, E., MUNIER-JOLAIN, N., TCHAMITHIAN, M., TITONELL, P. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. **European Journal of Agronomy,** 2011. v. 34, p. 197–210.
- ENTZ MH, BARON VS, CARR PM, MEYER DW, SMITH SR, McCAUGHEY WP. Potential of forages to diversify cropping systems in the northern Great Plains. **Agron J,** 2002. v. 94, p. 240–250.
- ERIKSEN, J., JENSEN, L.S. Soil respiration, nitrogen mineralization and uptake in barley following cultivation of grazed grasslands. **Biol. Fertil. Soils,** 2001. v. 33, p. 139–145.
- EVANS N. Adjustment strategies revisited: agricultural change in the Welsh Marches. **J Rural Studies,** 2009. v. 25:217–230.
- FRANZLUEBBERS AJ, PAINE LK, WINSTEN JR, KROME M, Sanderson MA, Ogles K, Thompson D. Well-managed grazing systems: A forgotten hero of conservation. **J Soil Water Conserv,** 2012. v. 67, p. 100A–104A.
- de GROOT, J. C. J., JELLEMA, A., ROSSING, W. A. H. Designing a hedgerow network in a multifunctional agricultural landscape: Balancing trade-offs among ecological quality, landscape character and implementation costs. **Eur. J. Agron.,** 2010. v. 32, p. 112–119.
- GROVER, K.K., KARSTEN, H.D., ROTH, G.W. Corn grain yields and yield stability in four long-term cropping systems. **Agron. J.,** 2009. v. 101, p. 940–946.
- HENDRICKSON, J., SASSENATH, G.F., ARCHER, D., HANSON, J., HALLORAN, J. Interactions in integrated US agricultural systems: the past, present and future. *Renewable Agric.* **Food Syst.,** 2008. v. 23, p. 314–324.
- HERRERO M, THORNTON PK, NOTENBAERT AM, WOOD S, MSANGI S, FREEMAN HA, BOSSIO D, DIXON J, PETERS M, VAN de STEEG J, LYNAM J, PARTHASARATHY RAO P, MACMILLAN S, GERARD B, McDERMOTT J, SERÉ C, ROSEGRANT M. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science,** 2010. v. 327, p. 822–825.
- HESTERMAN OB, RUSSELLE MP, SHEAFFER CC, HEICHEL GH. Nitrogen utilization from fertilizer and legume residues in legume-corn rotations. **Agron J,** 1987 (2012)79, p. 726–731.

INCHAUSTI P, BRETAGNOLLE V. PREDICTING short-term extinction risk for the declining Little Bustard (*Tetrax tetrax*) in intensive agriculture habitats. **Biol Conserv**, 2005 (2012)122, p. 375–384.

KATSVAIRO TW, WRIGHT DL, MAROIS JJ, HARTZOG DL, RICH JR, WIATRAC PJ. Sod-livestock integration into the peanut-cotton rotation: A systems farming approach. **Agron J**, 2006 (2012)98, p. 1156–1171.

KUNRATH, T.R., de BERANGER, C., CHARRIER, X., GASTAL, F., de FACIO CARVALHO, P.C., LEMAIRE, G., EMILE J.C., DURAND, J.L. How much do sod-based rotations reduce nitrate leaching in a cereal 1 cropping system? **Agricultural Water Management** (in press), 2015.

LEMAIRE G. **Intensification of animal production from grassland and ecosystem services: A trade-off**. CAB Int Rev. 2012. doi: 10.1079/PAVSNNR20127012.

LEMAIRE G., FRANZLUEBBERS A., de FACIO CARVALHO P., DEDIEU B., (2014). Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystem & Environment**. (in press).

MARTIN G, MORAINÉ M, RYSCHAWY J, MAGNE PA, DURU M., Thérond O. Crop-livestock integration beyond the farm level: a review of prospects and issues. **Submitted to Agricultural Systems**. 2014.

MARTINS, A. P. ; ASSMANN, J. M. ; CECAGNO, D. ; CARLOS, F. S. ; ANGHINONI, I ; CARVALHO, P. C. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 2014. v. 190, p. 9–17, 2014.

MEISS H, MÉDIÈNE S, WALDHARDT R, CANEIL J, BRETAGNOLLE V, REBOUD X, MUNIER-JOLAIN N. Perennial alfalfa affects weed community trajectories in grain crop rotations. **Weed Res**, 2010. v. 50, p. 331–340.

MILESTADT R, DEDIEU B, DARNHOFER I, BELLON S. (2012) Farms and farmers facing change: the adaptive approach. In: Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B (eds) *Farming systems research into the 21st century: The new dynamic*. Springer, p. 365–385.

de MORAES, A., de F. CARVALHO, P.C., ANGHINONI, I., LUSTOSA, S.B.C., de A. Costa S.E.V.G., Kunrath, T.R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, 2014. v. 57, p. 4–9.

MORAINÉ, M., DURU, M., NICHOLAS, P., LETERME, P., THEROND, O. Farming system design for innovative crop-livestock integration in Europe. **Animal**, 2014. p. 1–14.

NAFZIGER, E.D., DUNKER, D.E. Soil organic carbon trends over 10 years in the Morrow Plots. **Agron. J.**, 2011. v. 103, p. 261–267.

NAZARKO OM, VAN ACKER RC, ENTZ MH. Strategies and tactics for herbicide use reduction in field crops in Canada: A review. **Can J Plant Sci**, 2005. v. 85, p. 457–479.

OLIVEIRA, C.A. ; BREMM, C. ; ANGHINONI, I. ; de MORAES, A. ; KUNRATH, T. R ; de Faccio Carvalho, P. C. Comparison of an integrated crop-livestock system with soybean only: Economic and production responses in southern Brazil. *Renewable Agriculture and Food Systems*, v. 29, p. 230–238, 2014.

PARSONS AJ, ROWARTH J, THORNLEY J, NEWTON J. Primary production of grasslands, herbage accumulation and use and impacts of climate change. In: Lemaire G, Hodgson J, Chabbi A (eds) **Grassland productivity and ecosystem services**. CAB International, Wallingford, UK, 2011. p. 3–18.

PEYRAUD, J.L., TABOADA, M., DELABY, J.L. Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: a review. **European Journal of Agronomy**, 2014. v. 57, p. 41–42.

POSNER, J.L., BALDOCK, J.O., HEDTCKE, J.L. Organic and conventional production systems in the Wisconsin integrated cropping systems trials: I- Productivity 1990-2002. **Agron. J.**, 2008. v. 100, p. 253–260.

ROBINSON R, SUTHERLAND W. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. **J Appl Ecol**, 2002. v. 39, p. 157–176.

RODRIGUEZ-KABANA R, WEAVER CF, GARCIA R, ROBERTSON DG, CARDEN EL. Additional studies on the use of bahiagrass for the management of root-knot, and cyst nematodes in soybean. **Nematropica**, 1989. v. 21, p. 203–210.

RUSSELLE, M.P., ENTZ, M.H., FRANZLUEBBERS, A.J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North-America. **Agron. J.**, 2007. v. 99, p. 325–334.

RYSCHAWY, J., CHOISIS, N., CHOISIS, J.P., JOANNON, A., GIBON, A. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? **Animal**, 2012. v. 6, n. 10, p. 1722–1730

RYSCHAWY J, CHOISIS N, CHOISIS JP, JOANNON A, GIBON A. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. **Animal**, 2013. v. 7, p. 673–681.

RYSCHAWY J, CHOISIS JP, JOANNON A, GIBON A and Le GAL PY. Participative assessment of innovative technical scenarios for enhancing sustainability of French mixed crop-livestock farms. **Agricultural Systems**, 2014. v. 129, p. 1–8.

SCHIERE JB, IBRAHIM MNM and van KEULEN H. The role of livestock for sustainability in mixed farming: criteria and scenario studies under varying resource allocation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 2002. v. 90, p. 139–153

SOUSSANA JF, LOISEAU P, VUICHARD N, CESCHIA E, BALESSENT J, CHEVALLIER T, Arrouays . Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. **Soil Use Manage**, 2004. v. 20, p. 219–230.

SOUSSANA JF, ALLARD V, PILEGAARD K, AMBUS C, CAMPBELL C, CESCHIA E. Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. **Agric Ecosyst Environ**, 2007. v. 212, p. 121–134.

SOUSSANA JF, LEMAIRE G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agric Ecosyst Environ**, 2014. v. 190, p. 9–17.

STEINER, J.L., FRANZLUEBBERS, A.J. Farming with grass - for people, for profit, for production, for protection. **J. Soil Water Conserv.**, 2009. v. 64, p. 75-80.

SULC, R.M., TRACY, B.F. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. **Agron. J.**, 2007. v. 99, 335. doi:10.2134/agronj2006.0086

TILMAN, D., CASSMAN, K.G., MATSON, P.A., NAYLOR, R., POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, 2002. v. 418, p. 671–677

VERTES, F., HATCH, D., VELTHOF, G., TAUBE, F., LAURENT, F., LOISEAU, P., RECOUS, S. Short-term and cumulative effects of grassland cultivation on nitrogen and carbon cycling in ley-arable rotations. **Grassland Sci Eur.** 2007. v. 12, p. 227–246.

Eixo Temático 1:

Serviços Ecossistêmicos

Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados

Patrícia Perondi Anchão OLIVEIRA¹, José Ricardo Macedo PEZZOPANE¹, Paulo de MÉO FILHO², Alexandre BERNDT¹, André de Faria PEDROSO¹, Alberto Carlos Campos BERNARDI¹

¹ Engenheiro agrônomo, Dr.

² Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste,

² Zootecnista, doutorando da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/USP.

Abstract – In the context of global warming and climate changes, livestock production systems may be beneficial or prejudicial to the environment considering they can act as sinks or sources of greenhouse gases - GHG. This makes the carbon - C - balance a fundamental tool in the evaluation of these systems. Carbon balance results must be compared with caution due to differences in the calculus methodology and in the range of processes considered for the anthropic emissions and sequestrations of C. Generally, degraded pastures are not able to neutralize GHG emissions by C sequestration in the soil while intensive pasture systems, integrated or not, have the potential to mitigate GHG and neutrals beef C footprint, generating C credits. Integrated systems have an advantage in GHG mitigation because of the C sequestration by the arboreal component.

Keywords: livestock. integrated systems. Carbon. climate changes. global warming.

Resumo – Do ponto de vista do aquecimento global e das mudanças climáticas, os sistemas de produção agropecuários podem ser benéficos ou maléficos ao ambiente, visto que podem funcionar tanto como dreno ou fonte de emissões de GEE. Esse fato torna o balanço de carbono uma ferramenta fundamental para avaliar a sustentabilidade desses sistemas de produção. Resultados de balanço de C devem ser comparados com cuidado devido às diferentes metodologias de cálculo e abrangência dos processos considerados para as emissões e remoções antrópicas de C. De forma geral, sistemas com pastagens degradadas não são capazes de abater as emissões de GEE pelo sequestro de C no solo, enquanto que sistemas intensivos, integrados ou não, apresentaram potencial de mitigação dos GEE e possibilidade de zerar a pegada de C da carne e ainda gerar créditos de carbono. Sistemas integrados possuem vantagem no abatimento das emissões de GEE por causa do sequestro de C do componente arbóreo.

Palavras-chave: pecuária. sistemas integrados. Carbono. mudanças climáticas. aquecimento global.

Como Citar (NBR 6023)

OLIVEIRA, Patrícia Perondi Anchão et al. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 23–32. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o agronegócio é um setor muito importante, sendo responsável por parcela relevante da economia, respondendo por mais de 20% do PIB. Em 2016 somente a pecuária respondeu por 4,21% do PIB brasileiro, com uma renda anual da cadeia de corte de 200,4 bilhões e de leite de 63,6 bilhões de reais (CEPEA/USP, 2017). Trata-se de um setor importante para a estabilidade financeira e social do país (OLIVEIRA et al., 2015), que está presente em todos os municípios do Brasil (IBGE, 2010).

As projeções do agronegócio brasileiro 2015/2016 a 2025/2026 (MAPA, 2016) preveem aumento para o setor pecuário. A produção de leite deverá crescer nos próximos 10 anos a uma taxa anual entre 2,3 e 3,1%. Essas taxas correspondem a passar de uma produção de 34,2 bilhões de litros em 2016 para valores entre 42,9 e 47,3 bilhões de litros no final do período das projeções. As

projeções de carnes para o Brasil mostram que esse setor deve apresentar intenso crescimento nos próximos anos e a expectativa é que a produção de carne no Brasil continue seu rápido crescimento na próxima década (OECD-FAO, 2015, citado por MAPA, 2016). Ainda segundo essas instituições, os preços ao produtor devem crescer fortemente durante os próximos dez anos, especialmente para carne de porco e carne bovina, enquanto os preços do frango devem crescer a taxas mais modestas (OECD-FAO, citado por MAPA, 2016). A produção de carne bovina tem um crescimento projetado de 2,4% ao ano, o que também representa um valor relativamente elevado, pois consegue atender ao consumo doméstico e às exportações. A produção total de carnes em 2015/16 está estimada em 26,3 milhões de toneladas e a projeção para o final da próxima década é produzir 34,1 milhões de toneladas de carne de frango, bovina e suína. Essa variação entre o ano inicial da projeção e o final resulta num aumento de produção de 29,8%.

Uma das principais preocupações com relação ao crescimento da pecuária está relacionada aos possíveis impactos ambientais, o que certamente colocará em evidência o tratamento dispensado pelo nosso país em relação às questões ambientais (OLIVEIRA, 2015).

Segundo Oliveira, 2015, as mudanças climáticas são foco de atenção e preocupação mundial, devido aos iminentes desastres ambientais nos seus diferentes graus de intensidade, como tempestades, enchentes, secas, elevação do nível do mar e eventos extremos como tornados e furacões. O aquecimento global pode contribuir e acentuar essas mudanças climáticas. A emissão de gases de efeito estufa (GEE) por ações antrópicas contribui para o aquecimento global e deve ser estudada profundamente de forma a diminuir seu impacto sobre o ambiente. A atividade pecuária produz gases de efeito estufa na forma de metano (CH_4), oriundo da fermentação entérica dos ruminantes, óxido nitroso (N_2O), devido ao uso de fertilizantes nitrogenados, e ambos os gases, a partir do manejo de dejetos e da deposição de dejetos sobre as pastagens (O'MARA, 2012). Em menor proporção também existe a emissão de CO_2 devido ao uso de combustíveis fósseis e de energia (O'MARA, 2012).

Essas questões somente podem ser resolvidas por meio da adoção de sistemas de produção que levem em conta a sustentabilidade da agropecuária, que pode ser definida como um modelo de produção diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e material sem agredir o ambiente, usando os recursos naturais de forma inteligente. Esse conceito baseia-se em três dimensões: econômica, social e ambiental (EMBRAPA, Glossário da rede de pesquisa PECUS, 2015). O equilíbrio entre essas três dimensões na busca pela sustentabilidade somente é possível com conhecimento técnico e econômico abrangente dos sistemas de produção, envolvendo questões multidisciplinares considerando os quatro compartimentos dos sistemas de produção: solo-planta-animal e atmosfera. Nas questões de emissão de GEE torna-se primordial a aplicação de conhecimentos técnicos tanto para a mitigação das emissões de GEE quanto para a melhoria do balanço de carbono (C), dentro dos sistemas de produção (OLIVEIRA et al., 2015).

Além da intensificação dos sistemas pastoris de produção, com maior racionalização do uso dos recursos naturais (especialmente no que diz respeito ao uso da terra, evitando o desmatamento e diminuindo a pressão sobre a floresta), os sistemas integrados também têm sido apontados como alternativas para melhorar o balanço de carbono e aumentar a sustentabilidade da pecuária brasileira.

Um dos focos de pesquisa atual é a hipótese de que a recuperação direta das pastagens (OLIVEIRA, 2007), e a adoção do manejo intensivo das pastagens e dos sistemas integrados (ILP, Silvipastoril e agrossilvipastoril) proporcionem um grande potencial de mitigação dos gases de efeito estufa. Esse fato ocorre devido à elevada produção de massa de forragem das gramíneas tropicais com eficiência de uso de fertilizantes nitrogenados e ao acúmulo de matéria-orgânica no solo dos sistemas de pastagens recuperados e intensificados (OLIVEIRA et al., 2007; SEGNINI et al., 2007; PRIMAVESI, 2007), e à introdução do componente arbóreo, reconhecido pelo potencial de sequestro de carbono e mitigação dos gases de efeito estufa. Suporta essa hipótese um número razoável de estudos sobre ecossistemas de pastagens nos biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, considerando os estoques de C no solo em comparação à vegetação nativa, indicando que, de modo geral, solos sob pastagem podem acumular C em níveis semelhantes ou superiores à vegetação nativa, e que a degradação das pastagens promove perda do C acumulado (CERRI et al., 2006;

JANTALIA et al., 2006; SEGNINI et al., 2007). Fisher et al. (2007), em revisão de estudos sobre C no solo, na Colômbia, no período de 1998 a 2004, observaram que as taxas de deposição de liteira eram subestimadas e, conseqüentemente, a produtividade primária líquida e o potencial de mitigação de GEEs. Tal idéia vai ao encontro do exposto no artigo “*Grasslands: enabling their potential to contribute to greenhouse gas mitigation*” veiculado pela FAO, 2009. Nesse artigo os autores sugerem que existe um potencial técnico de mitigação dos GEEs pelas pastagens, maior que as emissões de metano oriundas dos animais ruminantes e de suas dejeções.

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO – CONTEXTUALIZAÇÃO

Os sistemas de produção agropecuários integrados são aqueles que integram dois ou mais setores produtivos agrícolas, pecuários ou de silvicultura e podem ocorrer pela consorciação, a rotação ou sucessão entre os setores. O objetivo da integração é melhorar a eficiência de uso dos recursos naturais (terra, água, energia, entre outros) e aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção, com benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Os principais tipos de integração agropecuária são:

- sistemas agrossilvipastoris ou integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em que há a integração entre culturas agrícolas, silvicultura e pecuária.
- sistemas agropastoris ou integração lavoura-pecuária (ILP) em que há integração entre culturas agrícolas e a pecuária.
- sistemas silvipastoris ou integração pecuária-floresta (IPF) em que há integração entre a silvicultura e a pecuária.

Os sistemas agroflorestais, silviagrícolas ou ILF preconizam a integração entre culturas agrícolas e florestais e não utilizam nenhum componente pecuário nos sistemas.

Os sistemas integrados de produção podem ser adotados de diferentes formas, com inúmeras culturas e diversas espécies animais, adequando-se às características regionais, às condições climáticas, ao mercado local e ao perfil do produtor. Pode ser adotada por pequenos, médios e grandes produtores (EMBRAPA, 2017).

Pesquisa encomendada pela Rede de Fomento ILPF e realizada pelo Kleffmann Group na safra 2015/2016 estimou que o Brasil possuía 11.468.124 ha com sistemas integrados de produção, 99% da área utilizando pecuária na integração, sendo 83% com sistemas agropastoris (ILP), 9% com agrossilvipastoris (ILPF) e 7% com silvipastoris (EMBRAPA, 2017).

Os principais benefícios apontados pelo uso de sistemas integrados de produção agropecuária, segundo EMBRAPA 2017 são:

- aumento da renda líquida permitindo maior capitalização do produtor,
- otimização e intensificação da ciclagem de nutrientes no solo,
- manutenção da biodiversidade e sustentabilidade da agropecuária,
- melhoria do bem-estar animal em decorrência do maior conforto térmico,
- aumento da produção de grãos, carne, leite, produtos madeireiros e não madeireiros em uma mesma área,
- melhoramento da qualidade e conservação das características produtivas do solo,
- possibilidade de aplicação em propriedades rurais de todos os tamanhos e perfis,
- maior eficiência na utilização de recursos (água, luz, nutrientes e capital) e ampliação do balanço energético,

- redução da sazonalidade do uso de mão de obra no campo e do êxodo rural,
- melhoria da imagem pública dos agricultores perante a sociedade,
- maior otimização dos processos e fatores de produção,
- geração de empregos diretos e indiretos,
- estabilidade econômica com redução de riscos e incertezas devido à diversificação da produção,
- redução da pressão pela abertura de novas áreas com vegetação nativa,
- mitigação das emissões de gases causadores do efeito estufa.

A meta estipulada pelo Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) em 2009 era de aumentar em 4 milhões de hectares a área com ILPF no Brasil até 2020. De acordo com estimativa preliminar da Plataforma ABC, grupo multi-institucional formado para acompanhar a redução das emissões de gases de efeito estufa, entre 2010 e 2015 houve o incremento de 5,96 milhões de hectares de ILPF no Brasil.

BALANÇO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO

Em 2009, o Brasil firmou um compromisso, voluntário, de redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), entre 36,1% e 38,9% até o ano de 2020 (Política Nacional de Mudanças Climáticas - PNMC, Lei nº 12.187/2009) (BRASIL, 2009). Com esta Política, introduziu-se a previsão de utilização de instrumentos financeiros e econômicos para promover ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima (BRIANEZI et al., 2014).

O inventário de GEE é um destes instrumentos (BRIANEZI et al., 2014) e o Brasil passa a reportar sua situação publicando inventários, sendo o inicial, o Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Não Controlados pelo Protocolo de Montreal (BRASIL, 2004) - Inventário Inicial, em que se realizou o monitoramento desde 1990.

Tabela 1 – Processo Tecnológico, compromisso nacional relativo e potencial de mitigação por redução de emissão de GEE (milhões de Mg CO₂eq).

Processo Tecnológico	Compromisso (aumento de área de uso)	Potencial de Mitigação (milhões Mg CO ₂ eq)
Recuperação de Pastagens Degradadas ¹	15,0 milhões ha	83 a 104
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta ²	4,0 milhões ha	18 a 22
Sistema Plantio Direto ³	8,0 milhões ha	16 a 20
Fixação Biológica de Nitrogênio ⁴	5,5 milhões ha	10
Florestas Plantadas ⁵	3,0 milhões ha	-
Tratamento de Dejetos Animais ⁶	4,4 milhões m ³	6,9
Total		133,9 a 162,9

Notas: 1 Por meio do manejo adequado e adubação. Base de cálculo foi de 3,79 Mg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹.

2 Incluindo Sistemas Agroflorestais (SAFs). Base de cálculo foi de 3,79 Mg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹.

3 Base de cálculo foi de 1,83 Mg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹.

4 Base de cálculo foi de 1,83 Mg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹.

5 Não está computado o compromisso brasileiro relativo ao setor da siderurgia; e, não foi contabilizado o potencial de mitigação de emissão de GEE.

6 Base de cálculo foi de 1,56 Mg de CO₂eq.m⁻³

Conjuntamente com os inventários de GEE, outras ações de mitigação tem sido propostas, como a neutralização de GEE, que baseia-se na compensação das emissões oriundas de

determinada(s) atividade(s) por meio de iniciativas de redução e/ou remoção como reflorestamento, conservação de áreas verdes ou compra de créditos no mercado de carbono (BRIANEZI et al., 2014).

A PNMC previu que o Poder Executivo estabelecerá Planos Setoriais de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas visando à Consolidação de uma Economia de Baixo Consumo de Carbono em vários setores da economia, como o da agricultura. Em 9 de dezembro de 2010, foi publicado o Decreto nº 7.390 que regulamentou os arts. 6º, 11 e 12 da PNMC. Para o setor da agricultura ficou estabelecida a constituição do Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (MAPA, 2012).

Na Tabela 1, encontram-se listados os compromissos da agricultura que constituem a base do Plano ABC, bem como suas estimativas de mitigação da emissão de GEE.

Os sistemas integrados possuem destaque nesse contexto, com compromisso de sequestro entre 18 a 22 milhões de toneladas de CO₂eq. Segundo estimativa preliminar da Plataforma ABC, os sistemas integrados foram responsáveis pelo sequestro de 21,8 milhões de toneladas de CO₂eq. entre 2010 e 2015, atendendo às expectativas do Plano ABC (EMBRAPA, 2017).

Todas políticas públicas envolvendo a questão das mudanças climáticas (NAMAS - Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas, iNDC - Contribuição Nacionalmente Determinada, Inventários de Emissões de GEE nacionais, estaduais ou municipais, Plano ABC), bem como a escolha de alternativas para a mitigação dos gases de efeito estufa e até mesmo o abatimento de emissões por empresas, eventos (corridas, shows, festivais, etc..) ou outras instituições, necessitam de ferramenta para mensuração, e normalmente é utilizado o balanço entre as emissões e remoções de gases de efeito estufa.

Na agropecuária os balanços de emissões e remoções de GEE (balanço GEE) envolve a medição dos fluxos de emissões de CO₂, CH₄ e N₂O do sistema solo-planta, da emissão de metano entérico (CH₄) emitido pelos animais e a taxa de sequestro de C do solo e da floresta plantada, todos expressos em CO₂eq. num determinado período de tempo, normalmente um ano. Para expressar esses gases em CO₂eq. usa-se o Potencial de Aquecimento Global (PAG 100), um fator que descreve o impacto do forçamento radiativo (grau de dano à atmosfera) de uma unidade de determinado GEE relativamente a uma unidade de CO₂ (GHG Protocol), para 100 anos. Existem várias métricas para se realizar a conversão dos gases para o CO₂eq. e elas são constantemente discutidas e questionadas, entretanto, os inventários e balanços devem explicitar claramente o que foi utilizado de forma a gerar condições de comparação entre inventários e publicações científicas. Para fins de inventário é utilizado o PAG-100 – IPCC 1996, acordado no protocolo de Quioto, em que CO₂ equivale a 1 CO₂eq., CH₄ a 21CO₂eq. e N₂O a 310 CO₂eq., enquanto que cada unidade de C sequestrada equivale a 3,67 CO₂eq.

A utilização das emissões de CO₂ do sistema solo-planta no cálculo do balanço dos GEE não é recomendada, pois parte do CO₂ emitido a partir do solo à atmosfera é proveniente da respiração de raízes e da decomposição de resíduos vegetais. Portanto, trata-se de um CO₂ que está ciclando, e não de uma emissão líquida. Por essa razão, no balanço dos GEE emitidos pelo solo (CH₄, N₂O e CO₂), o CO₂ é obtido pelo balanço do C no solo, considerando experimentos de longa duração ou cronossequências (ZANATTA et al., 2014).

Outro ponto que pode gerar inconsistências nessas comparações é o âmbito dos balanços de GEE na agropecuária, se consideram apenas as emissões diretas ou se contemplam as indiretas (GHG protocol). No caso das emissões de GEE diretas são considerados apenas aquelas medidas nos sistemas de produção, já no caso de se considerar as indiretas deve-se contemplar também o uso de energia associada ao sistema de produção agropecuário avaliado, normalmente a elétrica e o uso de combustível fóssil. Exemplos são a energia elétrica utilizada para a irrigação e o gasto de combustível fóssil para aplicação de fertilizantes.

Especificamente nos sistemas integrados, os balanços tornam-se mais complexos, porque na mesma área existem os componentes lavoura, pecuária e a floresta, havendo necessidade de se calcular a taxa de estoque de C das árvores envolvidas nos sistemas e observar o destino da madeira, se é carvão ou serraria, pois no caso de carvão ou lenha, apesar de um recurso renovável, toda o C estocado será emitido para a atmosfera na forma de CO₂, sendo considerado somente como estoque de C a madeira que ficará preservada (mobiliário, construção civil, cercas e currais,

embarcações, esculturas, utensílios domésticos, ferramentas, instrumentos musicais, entre outros). A ponderação entre a madeira para carvão oriunda do desbaste do ILPF e a madeira das árvores a serem preservadas deve ser realizada tanto no aspecto ambiental quanto econômico. Paixão et.al, 2006 realizou a quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto e considerou o preço do m³ de eucalipto para carvão é de U\$ 7,17, para serraria de U\$ 17,05 e o preço da tonelada de C estocada é de U\$ 10,00.

Deve-se também realizar a ponderação do tempo e da porcentagem em que as áreas foram ocupadas com lavoura e pastagens, visto que o resultado é expresso em unidade de área por um determinado período de tempo, comumente em t CO₂eq.ha⁻¹.ano. Essa complexidade pode justificar a existência de poucos artigos publicados sobre o balanço de GEE em sistemas integrados.

Da mesma forma, essa complexidade pode explicar a variação das metodologias empregadas e suas combinações para o cálculo dos balanços de GEE em sistemas integrados, sendo que muitos autores não mensuram todos os componentes dos sistemas de produção, usando recursos como a metanálise de artigos publicados (integrando resultados de vários estudos), a simulação por meio de equações do tier 2 do IPCC, e como a modelagem para calcular o potencial de sequestro de C no solo e no componente arbóreo. Existem trabalhos na literatura inclusive mesclando dados coletados com dados simulados no cálculo do balanço de C e ainda comparando metodologias na obtenção do balanço de C, como feito por Cunha et al. (2016) e Figueiredo et al. (2016).

A profundidade de amostragem do carbono no perfil do solo é outro ponto a ser considerado, existindo amostragens na profundidade de 0-30 cm e de 0-100 cm, visto que o IPCC recomenda a estimativa do estoque de C na camada arável, ou seja, 0 a 30 cm de profundidade, apesar das pastagens tropicais possuírem capacidade de sequestrar e acumular C em profundidade, conforme demonstrado por Segnini, et al. (2007) e Xavier (2014).

Deve-se atentar também se o balanço foi calculado como sendo emissões menos os drenos ou vice-versa, pois apesar de o valor ser o mesmo, o sinal muda e deve-se prestar muita atenção na interpretação dos resultados e na indicação se o sistema possui potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e obtenção dos créditos de carbono.

Figueiredo et al. (2016) estimaram o balanço de GEE (emissões menos drenos) e a pegada de carbono para a produção de bovinos de corte em três cenários contrastantes de sistemas de produção com pastagens de *Brachiaria* para o Brasil, usando pastagens degradadas, pastagens manejadas e pastagens integradas com agricultura e floresta (ILPF). A emissão total estimada em dez anos foi maior para o sistema com pastagens manejadas (84.541 kg CO₂eq.ha⁻¹), seguido pelo sistema de ILPF (64.519 kg CO₂eq.ha⁻¹) e pelo sistema degradado (8.004 kg CO₂eq.ha⁻¹), o que parece ruim para os sistemas mais intensificados; mas resultou em pegada de carbono de 18,5 kg CO₂eq.kg peso vivo⁻¹ no sistema degradado, seguido por 12,6 kg CO₂eq.kg peso vivo⁻¹ para o sistema de ILPF e 9,4 kg CO₂eq.kg peso vivo⁻¹ para o sistema com pastagens manejadas; sem considerar o potencial de sequestro de C dos solos para o sistema com pastagens manejadas e do solo mais o eucalipto para os sistemas com pastagens integradas no ILPF. Quando considerou o sequestro de C a pegada de C reduziu para 7,6 e - 28,1 kg CO₂eq.kg peso vivo⁻¹ para as pastagens manejadas e para as integradas no ILPF, respectivamente. Considerando-se o sequestro de carbono do solo e do eucalipto, o sistema de ILPF é capaz de sequestrar mais carbono, superando a emissões de GEE, gerando créditos de C.

Cunha, et al. (2016) realizaram o inventário de emissão de GEE e o balanço de C para dois sistemas de produção de bovinos leiteiros, um mais intensivo e outro em sistema integrado e utilizaram dois métodos para calcular a emissão de metano entérico, pelo tier 2 do IPCC (2006) e por medida direta utilizando o gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆). O sistema de produção integrado possuía 12 animais e área total de 15,6 hectares, 7,8 ha usados para a produção de 37,01 mil litros de leite ao ano, ocupado por pastagens, cana, milho e eucalipto. O balanço de carbono foi calculado como a diferença entre drenos e emissões, ou seja, a diferença entre o estoque de C das culturas e pastagem e as emissões de GEE originárias da atividade leiteira (emissão de CH₄ da fermentação entérica e dejetos animais, emissão de N₂O da fertilização nitrogenada e emissão de CO₂ do uso de óleo diesel das operações agrícolas e o consumo de energia elétrica com a irrigação e com o sistema de ordenha e refrigeração do leite. O balanço de C (usando o IPCC, 2006 para estimar a emissão CH₄ entérico) considerando os drenos de C foi de 162,8 t CO₂e/ano e sem os drenos de C foi

de $-25,1$ t CO₂e/ano para a área de 7,8 ha. Já com a medida direta das emissões de CH₄ entérico, o balanço de C foi de $154,0$ t CO₂e/ano considerando os drenos de C e $-33,9$ t CO₂e/ano sem os drenos de C em 7,8 ha, o que resulta em um balanço anual de $19,74$ t CO₂e/ha.ano e $-4,35$ t CO₂e/ha.ano, respectivamente. A falta de consideração dos drenos de C sugere que os sistemas de produção podem emitir mais C do que são capazes de estocar. Entretanto, quando se considera os drenos de C, o sistema possui potencial de mitigação, zera a pegada de C do leite e ainda gera créditos de C.

A Embrapa Pecuária Sudeste possui um experimento comparando vários sistemas de produção para criação de bovinos de corte (garrotes Canchim) em relação às questões de produtividade, eficiência e sustentabilidade, ocupando área bastante uniforme quanto às condições edáficas e de relevo. Os sistemas de produção avaliados são a floresta estacional semidecidual (Bioma Mata Atlântica) e cinco distintos sistemas de produção: sistema agrossilvipastoril ou de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), sistema silvipastoril ou de integração pecuária-floresta (iPF), sistema agropastoril ou de integração lavoura-pecuária (iLP), sistema extensivo (EXT) com pastagem de *Brachiaria decumbens*, e o sistema intensivo (INT). Os sistemas de iLPF, iLP, iPF e INT foram formados com *Urochloa brizantha* cv. Piatã, sendo os sistemas iLPF e iLP com rotação entre lavoura e pastagem (um ano com lavoura e três anos com pastagem rotacionada). A renovação da pastagem ocorre em um terço de cada área por ano agrícola, em 2013 foi realizada a ressemeadura do capim simultaneamente com a cultura do milho (*Zea Mays* L. var. DKR 390 PRO 2) para produção de silagem.

Em abril de 2011, nos sistemas de iPF e iLPF foi plantada a floresta de eucalipto (*Eucalyptus urograndis* clone GG100) com um espaçamento de 15 m entre linhas e 2 m entre plantas, resultando em uma densidade de 333 árvores por ha. Nos sistemas de iLP, iPF, iLPF e INT as pastagens foram adubadas a lanço na safra 2013/2014 com $156,6$ kg de nitrogênio (N). ha⁻¹. ano⁻¹, aplicados parceladamente em doses iguais em quatro fertilizações, duas na forma de ureia e duas na forma de sulfato de amônio. Somente o sistema EXT não recebeu nenhum tipo de fertilização ou correção do solo.

Para esses sistemas, a emissão de CH₄ entérico representou mais de 98% do total das emissões de GEE (Tabela 2); esse valor é maior que os utilizados por Cunha et al. (2016) e Figueiredo et al. (2016), em que, apesar de alta representatividade, a participação da emissão de CH₄ entérico variou de 50% até 87%. A emissão total de GEE dos sistemas também foi menor que as encontradas por Cunha et al. (2016). Para o sistema intensivo e iLPF, esse autor reportou emissões de $8,4$ e $6,45$ t CO₂ eq./ha.ano, enquanto na Pecuária Sudeste, as emissões foram de $5,5$ e $3,44$, respectivamente. Nos dois trabalhos, os sistemas intensivos apresentaram as maiores emissões de GEE, provavelmente devido a maior lotação animal e ao maior ganho de peso dos animais.

As razões para a maior representatividade do metano entérico nos sistemas da Embrapa Pecuária Sudeste foram as menores emissões medidas no sistema solo-planta, em função do solo utilizado, um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com textura média/argilosa, bem aerado e drenado, e do ano seco, que evitou o encharcamento do solo e a formação de ambientes anaeróbios, desfavorecendo os microrganismos e processos de emissão de GEE, como a desnitrificação. Outro fato é que nos trabalhos de Cunha et al. (2016) e Figueiredo et al. (2016) foram usadas as equações estimativas do IPCC 2006 para quantificar as emissões de GEE, enquanto que, na Pecuária Sudeste, os resultados foram obtidos por medidas em câmaras aleatórias, avaliadas em 80 dias a cada ano, distribuídos nas quatro estações climáticas. Além disso, por enquanto na Embrapa Pecuária Sudeste, somente as emissões diretas de GEEs foram considerados, sendo necessário acrescentar no balanço de C as emissões indiretas de GEE pelos processos de volatilização de amônia e runoff de N e as provenientes do consumo de óleo diesel nas diferentes operações realizadas com implementos e máquinas agrícolas (fertilização das pastagens, plantio, fertilização de cobertura do milho e eucalipto, entre outras) usadas nos sistemas agropecuários.

O balanço entre as emissões e remoções antrópicas de GEE foi realizado para todos os sistemas de produção e variou de $3,29$ a $29,15$ t CO₂eq./ha.ano (Tabela 2), sendo o menor valor para as pastagens extensivas e o maior valor para o iLPF, evidenciando que os drenos de C (sequestro de C no solo e no fuste do eucalipto) foram maiores que as emissões de GEE e mostrando que todos apresentaram potencial de mitigação dos GEE e possibilidade de zerar a pegada de C da carne e

ainda gerar créditos de carbono. Vale ressaltar que os sistemas integrados contendo floresta, como o silvipastoril e o agrossilvipastoril, pela presença do eucalipto possuem um potencial superior em relação aos outros sistemas avaliados para a mitigação das emissões (Tabela 2). Apesar da alta lotação e maior ganho de peso médio do sistema intensivo, ainda assim foi possível mitigar as emissões de GEE por meio da taxa anual de sequestro de C no solo das áreas de pastagens.

Tabela 2 – Balanço entre as emissões e remoções antrópicas de GEEs, considerando-se apenas os principais processos produtivos em sistemas de produção de bovinos de corte com ou sem integração.

Sistemas de Produção	Lotação	Acúmulo	Acúmulo	Carbono	CH ₄	N ₂ O solo	CH ₄	Emissões	Diferença
	Animal ^{&}	C solo †	C fuste*	sequestrado [€]	emitido bovino [€]	emitido [§]	solo emitido [§]	totais	Líquida
	n./ha	---t/ha . ano---							
	-----t CO ₂ eq / ha . ano-----								
Pastagem Extensiva	2.04	1.7		6.24	2.95	0.00203	0.00068	2.9527	3.29
IPF (silvipastoril)	2.73	3.13	5.18	30.5	4.42	0.00193	0.00013	4.4221	26.08
ILP (agropastoril)	2.66	3.13		11.49	3.86	0.03869	0.00108	3.8998	7.59
ILPF(agrossilvipastoril)	2.57	3.13	5.75	32.59	3.40	0.03957	0.00078	3.4404	29.15
Pastagem Intensiva	3.13	3.13		11.49	5.55	0.00068	0.00068	5.5514	5.94

& Resultados obtidos nos sistemas, considerando a área total de cada um, por Oliveira et al., dados não publicados.

† segundo Segnini, et.al, 2007 – resultados para a profundidade de 0-100 cm.

* Resultados obtidos nos sistemas por Pezzopane et al., dados não publicados.

€ usado o fator de conversão 3,67

€ Resultados obtidos nos sistemas por Berndt et al., dados não publicado e considerando-se um fator de correção de 28, oriundo do potencial de aquecimento 28 vezes maior do metano em relação ao gás carbônico (IPCC, 2013).

§ Resultados obtidos nos sistemas para pastagens por Alves, 2017 e segundo Besen (2015) para milho. As emissões da lavoura de milho foram consideradas somente para os sistemas integrados com o componente lavoura, a ocupação com milho foi de 33,33% da área e 50% do tempo do ano agrostológico, representando portanto 16,67% das emissões de GEE. Para o CH₄ considerou-se um fator de correção de 18 e para o N₂O um fator de 265, oriundos do potencial de aquecimento de 28 e 265 vezes maior do CH₄ e do N₂O em relação ao gás carbônico, respectivamente (IPCC, 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista do aquecimento global e das mudanças climáticas, os sistemas de produção agropecuários podem ser benéficos ou maléficis ao ambiente, visto que podem funcionar tanto como dreno ou fonte de emissões de GEE. Esse fato torna o balanço de carbono ferramenta fundamental para avaliar a sustentabilidade desses sistemas de produção; especificamente no que concerne às emissões (emissões do sistemas solo-planta e de metano entérico principalmente) e remoções antrópicas de GEE (sequestro de C no solo e no componente arbóreo).

O cálculo do balanço de C e a comparação dos resultados entre diferentes sistemas de produção agropecuários permitem apontar tanto o potencial de mitigação das emissões de GEE quanto o potencial de poluição desses sistemas de produção. Vale ressaltar, que deve-se prestar muita atenção ao realizar essas comparações em função das inconsistências nos cálculos realizados, geradas pelas diferentes metodologias de cálculo do potencial de aquecimento global (PAG) dos GEE; pelo uso de equações de predição das emissões de GEE e sequestro de C, pela profundidade considerada no estoque de C e pela abrangência considerada nos cálculos das emissões e remoções antrópicas de GEE que apresenta graus intermediários entre o balanço e a análise do ciclo de vida.

Com relação às emissões de GEE, o metano entérico é o que mais tem contribuído para o aumento das emissões de GEE nos sistemas de produção agropecuários, enquanto que, o sequestro de C do fuste das árvores dos sistemas de produção contendo floresta plantada é o que mais contribui como dreno de C nos sistemas agropecuários integrados de produção.

De forma geral, sistemas com pastagens degradadas não são capazes de abater as emissões de GEE pelo sequestro de C no solo, enquanto que sistemas intensivos, integrados ou não, apresentaram potencial de mitigação dos GEE e possibilidade de zerar a pegada de C da carne e

ainda gerar créditos de carbono. Apesar da alta lotação e maior ganho de peso médio do sistema intensivo, fatores que aumentam a emissão de metano entérico, os balanços apresentados apontam para a capacidade de mitigação das emissões de GEE por meio do sequestro de C no solo das áreas de pastagens intensificadas (com manejo adequado da planta forrageira e da manutenção da fertilidade do solo). Também é importante salientar que os sistemas integrados contendo floresta, como o silvipastoril e o agrossilvipastoril, pela presença do componente arbóreo, possuem um potencial superior em relação aos outros sistemas para a mitigação das emissões de GEE, visto que se soma ao sequestro de C do solo aquele realizado pelo fuste das árvores.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. G. de; OLIVEIRA, P. P. A.; MACEDO, M. C. M.; PEZZOPANE, J. R. M. Recuperação de pastagens degradadas e impactos da pecuária na emissão de gases de efeito estufa. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE BREEDING, 3., 2011, Bonito, MS. Breeding forages for climate change adaptation and mitigation - eco-efficient animal production: **proceedings...** [Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte], 2011. 1 CD-ROM. III SIMF. P 384-400. 17 p. CD-ROM SIMF 2011
- ALVES, M. G. **Dinâmica dos gases de efeito estufa do sistema solo-planta em sistemas de integração**. 2017. 82 p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- BARROS, G. S. de C.; SILVA, A. F.; FACHINELLO, A. L.; CASTRO, N. R.; GILIO, L. **PIB Cadeias do Agronegócio**: 40 Trimestre de 2016. Piracicaba: CEPEA/ESALQ/USP, 2016. 15 p. Disponível em: [http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relatorio%20PIBAGRO%20Cadeias_2016\(1\).pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relatorio%20PIBAGRO%20Cadeias_2016(1).pdf). Acesso em 24 jul. 2017.
- BESEN, M. R. **Influência de fontes de nitrogênio no fluxo de gases e na produtividade do milho e do trigo em sistema de plantio direto 2015**. 67 p. Trabalho de conclusão de curso (TCC). Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba.
- BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A.G.; SOARES, C. P. B.; GONÇALVES, W.; DA ROCHA, S. J. S. S. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p.182-191, 2014.
- EMBRAPA. **ILPF em núm3r05**. 2016. Sinop, MT: Embrapa, 2016. 12 p. 01 Folder. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158636/1/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf>. Acesso em 25 jul. 2017.
- CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Seqüestro de carbono em áreas de pastagens. In: PEREIRA, O. G. et al. (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3, 2006, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2006. p.73-80.
- CUNHA, C.S.; LOPES, N.L.; VELOSO, C.M; JACOVINE, L.A.G.; TOMICH, T.R.; PEREIRA, L.G.R.; MARCONDES, M.I. Greenhouse gases inventory and carbon balance of two dairy systems obtained from two methane-estimation methods. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 744-754, 2016.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Grasslands**: enabling their potential to contribute to greenhouse gas mitigation. Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/climate/FinalUNFCCCgrassland.pdf>. Acesso em 16 de julho de 2010.
- FISHER, M. J.; BRAZ, S. P.; SANTOS, R. S. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Another dimension to grazing systems: soil carbon. **Tropical Grasslands**, v. 41, p. 65-83, 2007.
- GHG Protocol Brasil. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**. 75 p. Disponível em: <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br>. Acesso em 25 jul. 2017.
- JANTALIA, C. P.; TERRÉ, R. M.; MACEDO, R. O.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Acumulação de carbono no solo em pastagens de Brachiaria. In: ALVES, B. J. R. et al. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas**: impactos no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre: Genesis, 2006. p. 157-170.

MAPA. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC)**. Brasília, DF: MAPA, 2012. 176 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>. Acesso em 29 jul. 2017.

MAPA. **Projeções do agronegócio Brasil 2015/2016 a 2025/2026** – Projeções de Longo prazo. Brasília, DF: MAPA, 2016. 138 p. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/proj_agronegocio2016.pdf/view. Acesso em 25 jul. 2017.

OLIVEIRA, P. P. A. Recuperação e reforma de pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S.; de MOURA, J. C.; da SILVA, S. C.; FARIA, V. P. de. (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 24., 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2007. p. 39-73.

OLIVEIRA, P. P. A.; PEDROSO, A. de F.; ALMEIDA, R. G. de ; FURLAN, S. ; Barioni, L.G. ; BERNDT, A. ; OLIVEIRA, P. A. ; HIGARASHI, M. ; MORAES, S. ; MARTORANO, L. ; LUIPEREIRA, ; VISOLI, M. ; FASIABEM, M. C. R. ; FERNANDES, A. H. B. M. . Emissão de Gases nas Atividades Pecuárias. In: II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais II SIGERA, 2011, Foz do Iguaçu. Volume I Palestras, 2011.

OLIVEIRA, P. P. A. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. especial do IV SMUD (2015), p. 623–634, 2015.

OLIVEIRA, P. P. A.; RODRIGUES, P. H. M.; AZENHA, M. V.; LEMES, A. P.; SAKAMOTO, L. S.; CORTE, R. U.; PRAES, M. F. F. M. Emissões de GEEs e amônia em sistemas pastoris: mitigação e boas práticas de manejo. In: da SILVA, S. C.; PEDREIRA, C. G. S. e de MOURA, J. C. (Org.). 27. Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Sistemas de Produção, Intensificação e Sustentabilidade da Produção Animal, **Anais...**, Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 179–223.

OLIVEIRA, P. P. A.; BERNARDI, A. C. DE C.; ALVES, T. C.; PEDROSO, A. DE F. 2014 Evolução na recomendação de fertilização de solos sob pastagens: eficiência e sustentabilidade na produção pecuária. In: VALADARES FILHO, A. de C.; PAULINO, M. F.; CHIZZOTTI, M. L.; PAULINO, P. V. R.; da SILVA, A. G.; ZANETTI, D.; de MOURA, F. H.; PRADOS, L. F.; BARROS, L. V.; SILVA, L. H. P.; MANSO, M. R.; PACHECO, M. V. C.; BENEDETI, P. D. B. (Org.). SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 9.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF BEFF CATTLE PRODUCTION, 5., 2014. O Encontro do boi verde - **Anais**. Viçosa: UFV, 2014. p. 289–344.

O'MARA, F. P. The role of grasslands in food security and climate change. **Annals of Botany**, v. 110, p. 1263–1270, 2012.

PAIXÃO, F. A.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G., DA SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; DA SILVA, G. F. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de Eucalipto, **R. Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 411–420, 2006.

PRIMAVESI, O. **A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global São Carlos, SP**: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 42 p. (Documentos / Embrapa Pecuária Sudeste, 72).

XAVIER, A. P. P. **Avaliação do acúmulo e emissão de carbono do solo sob sistemas produtivos de pastagem**. 2014. 101 p. Dissertação (mestrado). Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

ZANATTA, J. A.; ALVES, B. J. R.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; FERNANDES, A. H. B. M.; COSTA, F. de S.; CARVALHO, A. M. de. **Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 53 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123470/1/Doc.-265-Protocolo-Josileia.pdf>

Biodiversidade em pastagens

Carlos NABINGER¹; Martín A. JAURENA²; Anderson C. R. MARQUES³

¹ Professor Adjunto, Depto. Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS – nabinger@ufrgs.br

² Eng. Agr., Dr., Pesquisador do Instituto Nacional de Investigación Agropecuária - INIA, Uruguay

³ Eng. Agr., Doutorando PPG-Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Federal de Santa Maria

Abstract – Biological diversity is the means by which nature maintains ecosystem services through the planet's pedo-climatic evolution and, to a certain extent, changes caused by anthropogenic action. Pastures, and especially natural ones, are particular cases of biodiversity due to the necessary presence of the herbivore. But its effect on this biodiversity is highly dependent on how grazing is controlled by man, since the intensity of defoliation is the main driver of this effect. This effect is manifested directly on plant diversity, but also on the rest of the associated fauna, especially micro fauna, the invisible part of biological wealth. But other anthropogenic action that also compromises biodiversity is fertilization. This causes important changes in the botanical composition which may be beneficial in the short term, but which may, depending on the level of application of these inputs, bring about undesirable changes in the composition of the pastures, especially those naturally diverse as the native pastures. In addition to the decrease in specific richness, there is a substitution of perennial species for annual and greater participation of exotic invasive species. The importance of richness in microorganisms especially those associated with plants such as arbuscular mycorrhizal fungi, providing phosphorus or atmospheric nitrogen fixing bacteria is also discussed, emphasizing the need to deepen studies in this area. Finally, this review concludes that the maintenance of biodiversity and even its recovery is fundamental to provide the necessary ecosystem services for agriculture (conservation / improvement of soil fertility, biological control of pests and diseases, pollination) and for human society (regulation water conservation, landscape conservation, phytotherapy, for example) or even on the global scale through climate regulation.

Keywords: antropogenic action. ecosystem services. Fauna. flora. microorganisms. natural pastures.

Resumo – Diversidade biológica é o meio de que se vale a natureza para manter serviços ecossistêmicos através da evolução pedo-climática do planeta e, até certo ponto, das alterações provocadas pela ação antrópica. Os pastos e, sobretudo os naturais, são casos particulares de biodiversidade devido à necessária presença do herbívoro. Mas seu efeito sobre essa biodiversidade é altamente dependente da forma como o pastejo é controlado pelo homem, pois a intensidade da desfolha é o principal direcionador desse efeito. Este efeito se manifesta diretamente sobre a diversidade vegetal, mas também sobre o restante da fauna associada, sobretudo a microfauna, a parte invisível da riqueza biológica. Mas outra ação antrópica que também compromete a biodiversidade é a adubação. Essa provoca mudanças importantes na composição botânica a qual pode ser benéfica no curto prazo, mas que pode, dependendo do nível de aplicação desses insumos, trazer mudanças indesejáveis na composição dos pastos, mormente aqueles naturalmente diversos como os campos nativos. Além da diminuição na riqueza específica se observa uma substituição de espécies perenes por anuais e maior participação de espécies invasoras exóticas. A importância da riqueza em microorganismos, sobretudo aqueles associados às plantas como os fungos micorrízicos arbusculares disponibilizando fósforo e das bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico também é discutida, enfatizando-se a necessidade de aprofundar estudos nessa área. Finalmente, essa revisão conclui que a manutenção da biodiversidade e mesmo sua recuperação é fundamental para prover os serviços ecossistêmicos necessários para a agricultura (conservação/melhoria da fertilidade do solo, controle biológico de pragas e doenças, polinização) e para a sociedade humana (regulação da água, conservação de paisagens, fitoterápicos, por ex.) ou ainda na escala global através da regulação do clima.

Palavras-chave: ação antrópica. Fauna. Flora. microorganismos. pastagens naturais. serviços ecossistêmicos.

Como Citar (NBR 6023)

NABINGER, Carlos; JAURENA, Martín A.; MARQUES, Anderson C. R. Biodiversidade em pastagens. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 33–44. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

INTRODUÇÃO

Biodiversidade ou diversidade biológica compreende a totalidade de formas de vida que podemos encontrar na Terra (plantas, aves, mamíferos, insetos, microorganismos). Ela existe em função da variabilidade de ambientes climáticos e edáficos que caracterizam nosso planeta. Essa

variabilidade determinou que no decorrer da evolução da vida no planeta, se desenvolvessem diferentes organismos, com distintos mecanismos adaptativos. A inter-relação desses seres vivos entre si e com o meio abiótico determina a relativa estabilidade e resiliência dos diferentes ecossistemas e a consequente prestação de serviços como a manutenção da qualidade do ar, da água e a polinização de culturas, para citar os mais impactantes nos dias atuais.

A biodiversidade se apresenta em três níveis: 1) Diversidade genética – cada indivíduo possui uma combinação única de genes que fazem com que a Terra possua uma grande variedade de vida; 2) Diversidade orgânica - os indivíduos que possuem uma história evolutiva comum se agrupam em espécies. Possuir a mesma história evolutiva faz com que cada espécie possua características únicas. Estima-se possam existir entre 10 a 30 milhões de espécies no planeta; 3) Diversidade ecológica - as populações da mesma espécie e de espécies diferentes interagem entre si formando comunidades; essas comunidades interagem com o ambiente formando ecossistemas, que interagem entre si formando paisagens, que formam os biomas. Cada um deles possui vários tipos de ecossistemas, os quais possuem espécies únicas. Quando um ecossistema é ameaçado todas as suas espécies também são ameaçadas. Portanto, manter a biodiversidade é fundamental para manter a vida tal qual ela se apresenta. No entanto, biodiversidade por si só pode não significar muito, pois caso sua alteração (numérica e/ou qualitativa) mantenha os mesmos serviços ecossistêmicos (pelo menos aqueles de um passado recente) a vida se manterá embora outras formas venham a substituir as atuais, e isso pode incluir a própria espécie humana.

Os ecossistemas pastoris constituem um caso particular de biodiversidade, mesmo quando em monoculturas, pois a necessária presença dos animais configura um sistema único de fluxo de energia e de ciclagem e reciclagem de nutrientes. Por essa razão os pastos deverão, sempre que possível, fazer parte dos diferentes sistemas de produção, seja na escala de cada sistema produtivo seja na escala do território.

BIODIVERSIDADE EM ECOSISTEMAS PASTORIS

Ao ser responsável pelo equilíbrio e pela estabilidade dos ecossistemas, a biodiversidade é uma das propriedades fundamentais da natureza. Além disso, a biodiversidade é fonte de imenso potencial econômico por ser a base das atividades agrícolas, pecuárias, pesqueiras, florestais e também a base da indústria de medicamentos, cosméticos, enzimas industriais, hormônios, sementes. Assim, a biodiversidade possui, além do seu valor intrínseco, valor ecológico, genético, social, econômico, científico, educacional, cultural, recreativo. Com a substituição de um ecossistema natural por outras formas de ocupação do solo, além do desaparecimento de grande número de espécies, estaremos provocando (ao menos no curto e médio prazo) alterações no solo e na composição da atmosfera, agravando o efeito estufa e as consequentes alterações climáticas.

Aspectos sociais, econômicos, culturais e científicos são fatores que tem contribuído para a perda da biodiversidade a nível global. População humana crescente e pressões econômicas estão levando a uma ampla conversão dos ecossistemas naturais terrestres para um mosaico desordenado de habitats alterados pela ação antrópica. Como resultado da pressão de ocupação/exploração humana, a Mata Atlântica,...

A Mata Atlântica é uma das florestas com maior número de espécies de animais e plantas por unidade de área, tendo entre 1% e 8% de toda a flora e fauna mundiais. Na Mata Atlântica ocorrem 261 espécies de mamíferos (40% do total de espécies do Brasil), 688 de aves (38%), 200 de répteis (29%) e 280 de anfíbios (35%). Das 32.831 espécies de Angiospermas (plantas com flores e frutos) registradas no Brasil, 15.511 ocorrem na Mata Atlântica, sendo que 8.443 são endêmicas. De 627 espécies da fauna ameaçadas de extinção no Brasil, 61% ocorrem na Mata Atlântica. Em relação à flora, apresenta 1.544 espécies ameaçadas de extinção, sendo o bioma brasileiro com maior número de espécies ameaçadas.

... por exemplo, ficou reduzida a menos de 10% da vegetação original e o Bioma Pampa a menos de 30%, enquanto o Cerrado...

A biodiversidade do Cerrado é elevada e muito maior que a de savanas em outros continentes. O bioma abriga quase a metade das aves conhecidas no Brasil e mais de dois terços dos mamíferos. Dos morcegos conhecidos no país, 66% vivem no Cerrado. São mais de 210 espécies de anfíbios, mais de 300 espécies de répteis e 13.140 espécies de plantas, 36,9% do total listado na "Flora do Brasil" e 4,8% da flora mundial. São conhecidas cerca de 1.200 espécies de peixes, quase a metade das espécies brasileiras. O Cerrado abriga também o maior

número de insetos galhadores do mundo e ao menos 1,5 mais espécies de formigas que as savanas da Austrália e da África. Estudos indicam que 25% da riqueza mundial de fungos micorrízicos se concentra nos campos rupestres do Cerrado.

... perdeu mais de 50%, apenas para citar aqueles com vegetação também campestre.

Particularmente no Bioma Pampa, por ser um conjunto de ecossistemas herbáceos antigos, a diversidade biológica é extremamente elevada, considerando-se a pequena área ocupada no território brasileiro (2,07%), comparada às áreas ocupadas pelos outros cinco biomas nacionais. As paisagens naturais do Pampa se caracterizam pelo predomínio dos campos nativos, mas há também a presença de matas ciliares, matas de encosta, matas de pau-ferro, formações arbustivas, butiazais, banhados, afloramentos rochosos, etc. (LINDMAN 1906, RAMBO 1956, CABRERA e WILLINK 1973, PORTO 2002, LONGHI-WAGNER 2003, IBGE 2004). Essa variabilidade de paisagens e tipos de solo determina sua elevada biodiversidade (BILENCA e MIÑARRO 2004), atestada pelas quase 3000 espécies vegetais (BOLDRINI, 2009) (pelo menos 450 espécies são gramíneas forrageiras e 200 são leguminosas também forrageiras), 480 espécies de aves (120 dependentes dos campos) (DEVELEY et al., 2008), 92 espécies de mamíferos, 84 espécies de anfíbios e répteis (PILLAR et al., 2015), sem contar uma imensa mesofauna representada por insetos, aracnídeos, anelídios, etc., além da formidável microfauna e microflora ainda pouco conhecida. E esses números consideram apenas a porção brasileira do bioma. Trata-se de um patrimônio natural, genético e cultural de importância nacional e global. Também é no Pampa que fica a maior parte do aquífero Guarani. Entretanto, historicamente o bioma vem sendo negligenciado em ações e políticas públicas de conservação da natureza (OVERBECK et al. 2007).

Embora, para fins produtivos nos preocupemos sempre com as espécies que nos trazem benefícios mais imediatos, como é o caso da pecuária, quando o que nos interessa são as espécies forrageiras representadas, sobretudo, nas famílias Poáceae e Fabaceae (Figura 1), outras famílias são igualmente importantes. Ressalte-se a família Asteraceae com um número de espécies igual ao das gramíneas, assim como as Cyperaceae e Rubiaceae, igualmente representativas. E isto significa que tais famílias desempenham também outros papéis importantíssimos no equilíbrio desses ecossistemas, tais como serem fonte de pólen e néctar para os polinizadores como é o caso de grande número de espécies de Asteraceae.

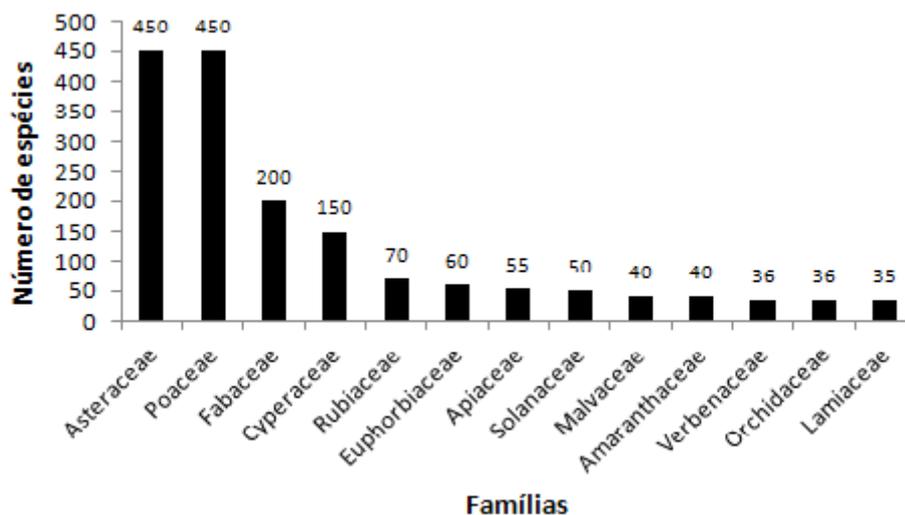


Figura 1 – Famílias com o maior número de espécies presentes nos campos naturais do Rio Grande do Sul. Fonte: Boldrini (2009).

Todas essas famílias desempenham papéis importantes e ainda não bem conhecidos ou adequadamente mensurados. Ao conterem, por exemplo, compostos como terpenos e flavonoides que podem conferir características qualitativas importantes ao produto animal carne ou leite. Da mesma

forma compostos como taninos, por exemplo, podem atuar como reguladores da ingestão e/ou como vermífugos.

Pastos de média a alta riqueza específica podem propiciar mais produção de biomassa, maior conteúdo de açúcares e maior conteúdo de P, conforme demonstra French (2017). Além disso, o mesmo autor também cita a percepção dos produtores ingleses que valorizam esses pastos de alta diversidade em função de: (i) do efeito medicinal sobre os animais relacionado à presença de antibióticos e anti-helmínticos; (ii) facilidade de uso; (iii) resiliência em condições de seca ou inundações; (iv) conservação do ambiente, inclusive para usos recreativos; (v) mercado favorável a esse tipo de produto animal.

Há ainda que se considerar que a diversidade vegetal interage evidentemente com outras formas de vida, de modo que ela não depende apenas da variação de solo e clima, mas de toda a biota naturalmente associada. Isso inclui pássaros, mamíferos, invertebrados, insetos e a fauna microbiana. Associe-se a isso o homem e a fauna por ele introduzida e inevitavelmente estaremos provocando um novo equilíbrio, principalmente no caso de nossos ecossistemas pastoris, com a introdução do gado e outras ações antrópicas (fogo, introdução de plantas exóticas, fertilização, etc.). Amplia-se ainda mais a complexidade do sistema que tenderá a um novo estado ou condição (Lévêque, 2017).

Essa riqueza pode então ser também afetada pela forma como o pastoreio é conduzido. Assim, vários autores demonstram que o ajuste da carga animal que mantenha o consumo não superior a 40% da produção de biomassa da parte aérea de pastagem natural do sul do Brasil, determina aumento da riqueza vegetal (CARVALHO et al., 2003; SOARES et al., 2011; PINTO, 2011). Isso é conseguido controlando a oferta de forragem em torno de 12% do peso vivo (12 kg MS/100 kg PV/dia), conforme apresentado na Figura 2.

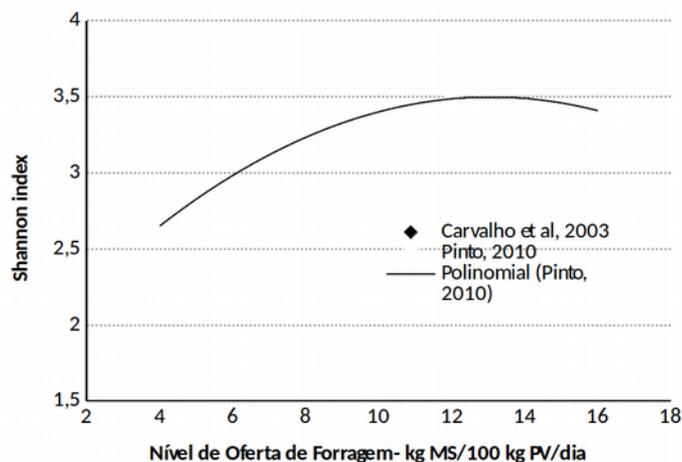


Figura 2 – Índice de diversidade vegetal em resposta a diferentes ofertas de forragem em campo nativo da Depressão Central do Rio Grande do Sul, mensurado em duas diferentes ocasiões (CARVALHO et al., 2003; PINTO, 2011).

Importante notar que este nível de oferta de forragem, que maximiza a diversidade florística também é aquele em que se otimiza a produção animal, demonstrando que produtividade e diversidade não são processos antagônicos.

A pressão do pastejo também afeta as comunidades de insetos, de diferentes modos, conforme demonstrado por van Klink et al. (2015). Segundo os autores isso inclui: i) modificação na distribuição de patches, decréscimo na altura da vegetação e alteração na complexidade estrutural, além de mudanças nas condições de solo; ii) alteração na disponibilidade de recursos alimentares (redução na produção de flores e redução na massa de forragem, variação na taxa de deposição de fezes, e acessibilidade aos tecidos vivos); iii) ingestão ou pisoteio pelos animais em pastejo. Cada um

desses efeitos depende da espécie animal e do controle de sua densidade, assim como de seu comportamento social (IUSSIG et al., 2015; VAN KLINK et al., 2015; ENRI et al., 2017)

Mesmo em pastos monoespecíficos ou com duas a três espécies, a intensidade de pastejo pode provocar alterações na biodiversidade, agora não na vegetal, mas na microbiana, por exemplo. Chávez et al. (2010) demonstram claramente o efeito da intensidade do pastejo sobre a diversidade microbiana ao manterem cargas animais que determinaram a manutenção de alturas do pasto de aveia e azevém em 10, 20, 30, 40 cm ou ainda sem pastejo (50 cm), conforme se observa na Figura 3.

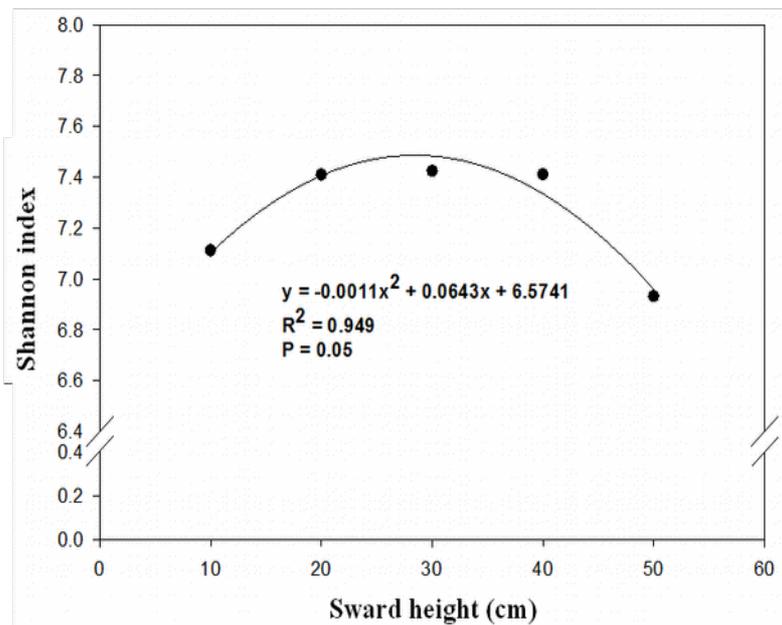


Figura 3 – Efeito da altura do pasto sobre a diversidade microbiana do solo sob mistura de aveia+azevém em sistema de integração lavoura-pecuária (CHÁVEZ et al., 2011).

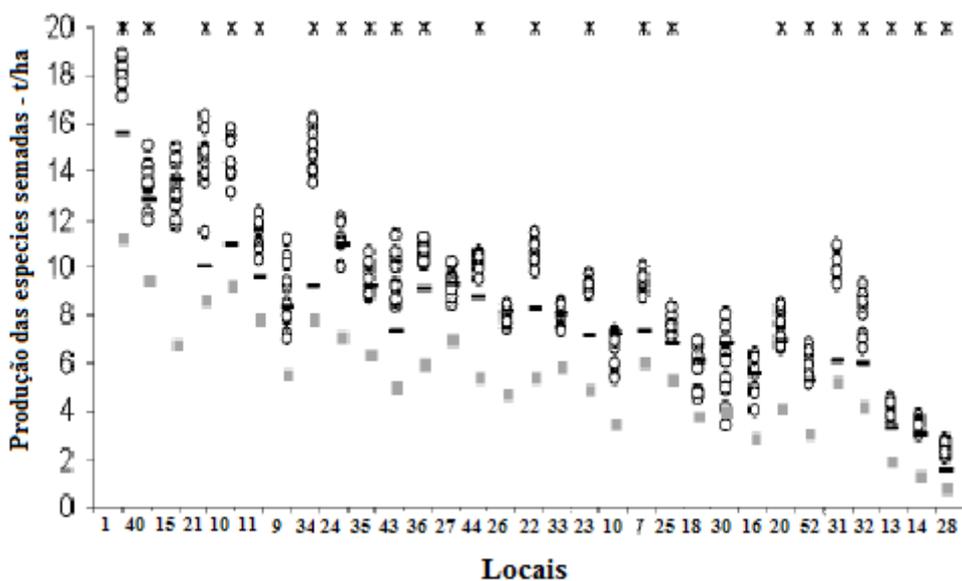


Figura 4 – Produção anual de biomassa aérea de misturas forrageiras ou da monocultura em cada um dos 31 locais de 17 países europeus e Canadá. Círculos abertos : biomassa aérea média de uma dada mistura ao longo de vários anos; linhas horizontais: produção da melhor monocultura; caixas cheias: performance média da monocultura; asteriscos no topo de cada local indica diferença significativa para aquele local (FINN et al., 2017).

Feng et al. (2016) também demonstram que, mesmo em pastos cultivados, a existência de diversidade é benéfica não apenas para a produtividade vegetal mas também para a produtividade por animal através da maior ingestão, ao estimular a motivação para comer, sobretudo no final de cada refeição, com o aumento de duas para oito espécies.

Trabalhando igualmente com pastos cultivados, Finn et al. (2017) demonstram que em 16 dos 31 locais estudados as misturas produziram mais que a melhor monocultura (Figura 4) e propiciaram menor presença de invasoras. A maior produtividade das misturas foi evidente deste o primeiro ano e persistiram ao longo dos três anos do experimento. A porcentagem média de biomassa de invasoras na biomassa total das monoculturas foi de 15% no primeiro anos, aumentando para 32% no último ano, enquanto nas misturas esse porcentual foi de 4% no primeiro ano e de 3% no último.

O que é mais impressionante nesses resultados é que a magnitude dos benefícios da mistura foi regularmente maior do que a monocultura numa tão ampla diversidade de locais. Isso resultou de interações sinérgicas devidas principalmente à presença de leguminosas nas misturas. Desse modo, misturas com até 30% de participação de leguminosas, beneficiaram-se da complementaridade de recursos advindos da simbiose. Na média de anos e locais, misturas com essa proporção de leguminosas produziram 57% mais N do que a média das monoculturas. A combinação de gramíneas e leguminosas é bem conhecida por resultar em benefícios devidos à transferência para as gramíneas do nitrogênio fixado simbioticamente pelas leguminosas (BOLLER; NÖSBERGER, 1987; NYFELETER et al., 2009, 2011).

A BIODIVERSIDADE NÃO VISÍVEL

Ainda se pode destacar que as plantas ao longo da evolução desenvolveram mecanismos que lhes permitiram maior capacidade de captura e utilização de nutrientes, tornando-as mais adaptados às condições de solo para garantir a sobrevivência nos diferentes ambientes (AERTS; CHAPIN, 1999; CHAPIN, 1980). De maneira geral, os mecanismos utilizados por plantas diferem quanto à capacidade de captura dos nutrientes e o uso destes depois de capturados (LAJTHA, 1994; LAJTHA; HARRISON, 1995). Uma das alternativas adaptativas das plantas à baixa fertilidade do solo é a capacidade de realizar associação com microrganismos que auxiliam na absorção destes nutrientes, por exemplo, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) (BRUNDRETT, 1991). Os FMAs realizam uma associação caracterizada como mutualística benéfica, onde os FMAs provêm às plantas nutrientes como o P e água e a planta disponibiliza carboidratos ao fungo. O aumento na absorção de nutrientes, propiciada pelos FMAs, se deve principalmente ao aumento da superfície de absorção e do volume de solo explorado pelas hifas (GRANT et al., 2005). Trabalhos sugerem que para gramíneas C4 os FMAs sejam um importante mecanismo para a obtenção de nutrientes em solos de baixa fertilidade (BRUNDRETT, 1991; LUGO et al., 2012; MARQUES et al., 2017a; WILSON; HARTNETT, 1997).

Em pastagens naturais do sul do Brasil, estudos têm indicado que os FMAs apresentam associação com as gramíneas forrageiras e, possivelmente, são importantes na absorção de P e água para essas espécies (MARQUES et al., 2017a). Entretanto não se pode estabelecer um padrão de associação para espécies com taxas de crescimento contrastantes, mas com certeza é um mecanismo benéfico e permite uma associação satisfatória, resultando na manutenção de esporos no solo, o que permite que a associação se mantenha. Essas relações são frequentemente citadas na Pampa Argentina, sendo benéficas às plantas micorrizadas, em diferentes topografias, tipos de solos, e concentrações salinas, pela maior absorção de nutrientes, principalmente P e água (GARCÍA; MENDOZA, 2008).

As fosfomonoesterases, ou simplesmente fosfatases, são as enzimas mais estudadas, por atuarem na mobilização de fósforo inorgânico utilizando como substrato ortofosfatos de monoésteres (DUFF; SARATH; PLAXTON, 1994). A produção de fosfatases ácidas é atribuída à atividade metabólica de raízes e fungos (DAKORA; PHILLIPS, 2002), e a concentração de nutrientes na solução do solo regula a atividade das enzimas extracelulares de origem vegetal. Assim, a baixa concentração de P nas raízes, como resultado de deficiência desse nutriente na solução do solo, induz

a síntese de fosfatases intra e extracelulares, seguido por um aumento na liberação de fosfatases extracelulares dentro dos exsudatos radiculares (DAKORA; PHILLIPS, 2002).

Considerando que a liberação de fosfatases ácidas no solo por plantas é devido à deficiência de P na planta, a alta TCR de uma espécie em condições de baixa disponibilidade de P no solo tendem a ter maior atividade de fosfatases na rizosfera. Conforme figura abaixo (Figura 1) que apresenta a atividade de fosfatase ácida no solo cultivado com as espécies *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum*, *Andropogon lateralis* e *Aristida laevis*, a espécie *A. affinis*, caracterizada pela maior capacidade de produção de MS e característica de crescimento para a captura de recursos (QUADROS; TRINDADE; BORBA, 2009), apresenta maior atividade de fosfatases no solo, por outro lado *A. laevis*, uma espécie com estratégia de crescimento para conservação de recursos com baixa produção de MS, apresenta valores menores de atividade de fosfatases, o que, possivelmente, está relacionado com uma menor TCR, e por sua vez, menor demanda de P.

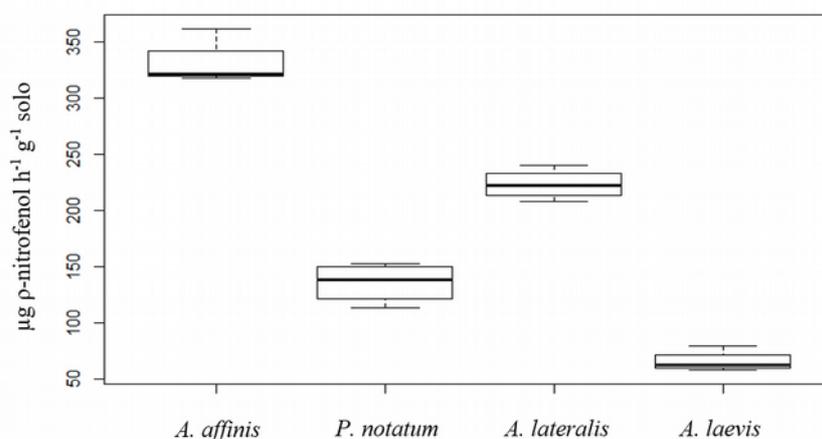


Figura 5 – Atividade de fosfatases ácidas no solo cultivado com quatro forrageiras C4 nativas das pastagens do sul do Brasil (MARQUES et al., 2017a).

Desta forma, os processos biológicos têm um papel importante no fluxo de nutrientes em pastagens, regulando a disponibilidade do P e de outros nutrientes ao crescimento vegetal. Em sistemas naturais, como pastagens nativas, o fornecimento de P às plantas mostra-se dependente da ciclagem do P orgânico, principalmente em solos de regiões tropicais e subtropicais (OLIVEIRA et al., 2011).

Entre os diferentes processos microbiológicos, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) associada às gramíneas constitui uma etapa importante no ciclo do nitrogênio (N) e está relacionada à produtividade natural de um ecossistema. A FBN em gramíneas forrageiras nativas é realizada por uma pequena parcela de microrganismos procariotos através da enzima nitrogenase, responsável por transformar o N_2 na forma inorgânica NH_3 , tornando o N disponível às plantas. Os organismos com esse aparato enzimático são denominados diazotróficos (BRASIL et al., 2005) e os principais gêneros de bactérias associados as pastagens do sul do Brasil são dos gêneros *Azotobacter*, *Azospirillum* e *Herbaspirillum* (MARQUES et al., 2017b).

Nesse sentido, trabalhos de pesquisas realizadas nas décadas de 60 a 80 evidenciaram a contribuição considerável da FBN para a nutrição nitrogenada de algumas gramíneas forrageiras. Através da técnica de diluição isotópica de ^{15}N (BODDEY; CHALK; VICTORIA, 1983) se identificou que a gramínea *Paspalum notatum* ecótipo Batatais obteve 10% de seu N ($20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) via FBN, podendo essa espécie por meio da FBN fixar até $90 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Em estudo realizado com gramíneas nativas do sul do Brasil (MARQUES et al., 2017b) os resultados mostraram que o potencial de fixação de N difere entre as espécies com diferentes estratégias de crescimento, sugerindo que o nível de dependência da FBN em uma pastagem depende do tipo de espécies que compõem essas pastagens, uma vez que as espécies com maiores taxas de crescimento são menos dependentes da FBN. Entre as quatro espécies de gramíneas estudadas

(Figura 6), *A. laevis*, que é uma espécie de estratégia de crescimento lento, apresentou maior contribuição da FBN no N total acumulado (39%). Portanto, esta espécie, embora tenha baixo valor nutricional para pastagem, possui uma função importante para o ecossistema, permitindo a entrada de N em formas orgânicas no sistema de pastagens nativas. *P. notatum*, mostrou grande capacidade de absorver N disponível do solo, com baixa contribuição da FBN, tem uma contribuição de 76% do N vindo o solo.

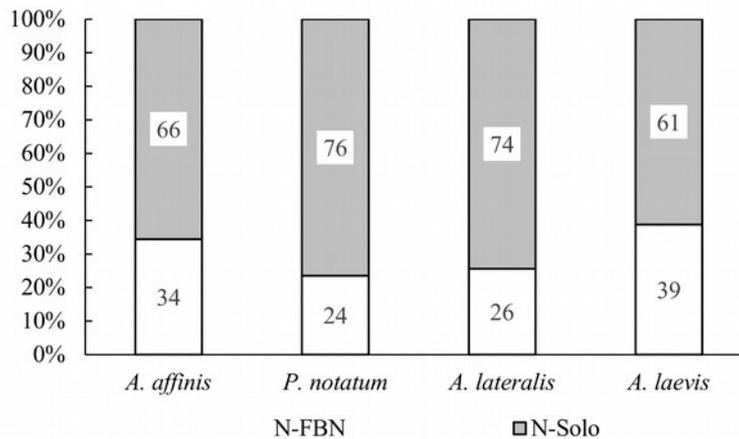


Figura 6 – Contribuição da fixação biológica de N (N-FBN) e do N absorvido do solo (N-Solo) no N total acumulado por quatro forrageiras C4 nativas das pastagens do sul do Brasil (MARQUES et al. 2017b).

BIODIVERSIDADE E ESTABILIDADE DOS ECOSISTEMAS

Um aspecto fundamental para entender os impactos das mudanças ambientais nas funções dos ecossistemas é o entendimento de como a biodiversidade interage com a estabilidade do ecossistema e a produtividade. As mudanças ambientais provocadas pelo homem podem afetar simultaneamente a biodiversidade, a produtividade e a estabilidade dos ecossistemas terrestres, mas não há consenso sobre as relações causais que ligam essas variáveis. Os dados de experimentos de vários anos que manipularam importantes “drivers” antropogênicos em pastagens temperadas, incluindo a diversidade vegetal, nitrogênio, dióxido de carbono, fogo, herbivoria e água (HAUTIER et al., 2015), mostram que cada “driver” influencia a produtividade do ecossistema. No entanto, a estabilidade da produtividade do ecossistema só é alterada por aqueles fatores que alteram a biodiversidade, sendo que uma determinada diminuição do número de espécies de plantas, leva a uma diminuição quantitativamente similar da estabilidade do ecossistema, independentemente de qual “driver” causou a perda. Esses resultados sugerem que as mudanças na biodiversidade causadas pelos impulsionadores da mudança ambiental pode ser um fator importante para determinar como mudanças ambientais globais afetam a estabilidade dos ecossistemas.

Em campos nativos do Uruguai, a sobressemeadura de leguminosas associada à fertilização com fósforo é uma tecnologia usada para aumentar a produção animal. Melhoria tanto na produtividade primária como secundária são repetidamente relatadas (AYALA; BENDERSKY, 2017). Entretanto, algumas evidências sugerem que esse tipo de tecnologia leva muitas vezes ao colapso da comunidade nativa e invasão por espécies exóticas. De fato, ainda não está muito claro em qual medida a sobressemeadura de leguminosas em pastagens nativas afeta sua integridade no longo prazo. Jaurena et al. (2016) utilizando dados de um experimento de longo prazo para verificar se o aumento nas doses de P – tipicamente usado para encorajar o estabelecimento e crescimento de leguminosas – é associado com redução na diversidade específica. Em 1966 uma pastagem nativa do foi deixada como controle ou sobressemeada com uma mistura de *Trifolium repens* e *Lotus corniculatus* e fertilizada seja com uma dose considerada moderada seja com uma dose elevada (em 13 anos a dose moderada resultou na aplicação 197 kg.ha⁻¹ de P enquanto a dose elevada resultou em 394 kg.ha⁻¹ de P). Nas parcelas sobressemeadas com leguminosas a quantidade de P solúvel foi

negativamente correlacionadas com a riqueza específica e a diversidade e a cobertura de gramíneas nativas foi reduzida. Esse efeito se tornou assintótico uma vez que o P solúvel excedeu 27 e 36 mg.kg⁻¹ de solo (0-5 cm). Essa redução na riqueza sugere um “trade-off” entre o aumento da produção do pasto e o decréscimo a estabilidade da vegetação com a adubação e sobressemeadura. Os autores ressaltam que os mecanismos ecofisiológicos bem como opções de manejo para mitigar o declínio na diversidade devem ser objeto de mais estudos. Corroborando esses resultados através de um estudo em rede de 29 pares campo nativo – campo nativo melhorado em propriedades rurais do Uruguai, Bentancourt et al. (2017) verificaram que a medida que aumenta o fósforo total aplicado aumentam os níveis grama seda (*Cynodon dactylon*) e de espécies anuais. No caso das espécies consideradas “finas” essas aumentam sua participação até um acúmulo de 480 kg de P₂O₅ aplicado, mas após isso ocorre um declínio e sua substituição por espécies de menor valor. A riqueza específica diminuiu significativamente em 65% dos casos com o aumento do fósforo solúvel no solo. Os autores reforçam, no entanto, que existe uma grande variabilidade nas respostas, indicando que outros fatores também devem ser levados em conta e recomendam que os melhoramentos por fertilização e introdução de espécies sejam sempre acompanhados pela observação de alguns indicadores da comunidade vegetal para evitar sua degradação.

A seca é outro direcionador que reduz a produtividade, induz a mortalidade generalizada das plantas e limita a distribuição geográfica das espécies. À medida que a temperatura global aumenta e os padrões de precipitação mudam, a compreensão da distribuição da diversidade de tolerância à seca das plantas é fundamental para prever a futura função e resiliência dos ecossistemas às mudanças climáticas. Essas questões são especialmente importantes para as 11 mil espécies de gramíneas que dominam uma grande parte da biosfera terrestre, ainda que sejam pouco caracterizadas em relação às respostas à deficiência hídrica. Craine et al. (2013) demonstram que a tolerância fisiológica à seca, varia dez vezes entre 426 espécies de gramíneas estudadas e que esta tolerância é bem distribuída tanto por regiões climáticas como filogeneticamente, sugerindo que a maioria das pastagens nativas provavelmente conterão uma grande diversidade para tolerância à seca. Conseqüentemente, segundo o mesmo autor, as espécies locais podem ajudar a manter o funcionamento do ecossistema em resposta à mudança dos regimes de chuva sem exigir migrações de longa distância de espécies de capim. Além disso, as espécies fisiologicamente tolerantes à seca apresentam maiores taxas de troca de água e dióxido de carbono do que espécies intolerantes, indicando que sob secas severas tais espécies podem gerar subsídios importantes para o funcionamento do ecossistema. Ou seja, pastagens diversas têm o potencial de ser resilientes diante das mudanças climáticas através da expansão local de suas espécies tolerantes ao déficit hídrico.

CONCLUSÕES

A manutenção da biodiversidade e mesmo sua recuperação é fundamental para prover os serviços ecossistêmicos necessários para a agricultura (conservação/melhoria da fertilidade do solo, controle biológico de pragas e doenças, polinização) e para a sociedade humana (regulação da água, conservação de paisagens, fitoterápicos, por ex.) ou ainda na escala global através da regulação do clima. Muitos autores concordam que os três principais princípios a serem buscados na produção agrícola de forma a manter e melhorar os serviços ecossistêmicos são: (1) aumentar a diversidade vegetal e a cobertura do solo para diminuir as perdas de nutrientes e da radiação incidente de modo a aumentar a produção biomassa tanto aérea quanto subterrânea para, dessa forma, aumentar a fertilidade química, física e biológica do solo; (2) minimizar os distúrbios físicos do solo, através da semeadura direta, para aumentar a matéria orgânica do solo, favorecendo o desenvolvimento da micro, meso e macrofauna e, com isso promovendo a fertilidade do solo e as regulações biológicas que redundarão em melhoria da sua estrutura; (3) planejar o uso da terra de modo a manter uma matriz de paisagem que inclua as variadas possibilidades de ocupação do solo (e os pastos são componentes fundamentais), mas em acordo com as fortalezas e debilidades ecológicas, mantendo assim um balanço positivo em termos de serviços ecossistêmicos.

REFERÊNCIAS

- AERTS, R.; CHAPIN, F. S. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. **Advances in Ecological Research**, v. 30, n. C, p. 1–67, 1999.
- AYALA, W.; BENDERSKY, D. Modificación de la productividad del campo natural via incorporación de espécies y nutrientes. In: REUNIÓN DEL GRUPO TÉCNICO EN FORRAJERAS DEL CONO SUR – GRUPO CAMPOS, XXIV. Tacuarembó, Uruguay, 2017. **Anales...** Tacuarembó: INIA/UDELAR/FAO. 2017. p. 17–26.
- BENTANCOR, D.C.; LEZAMA, F.; DEL PINO, A. Modificación de la productividad del campo natural vía incorporación de especies y nutrientes. In: REUNIÓN DEL GRUPO TÉCNICO EN FORRAJERAS DEL CONO SUR – GRUPO CAMPOS, XXIV. Tacuarembó, Uruguay, 2017. **Anales...** Tacuarembó: INIA/UDELAR/FAO. 2017. p. 129–130.
- BILENCA, D.; MIÑARRO, F. 2004. **Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) en las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil**. Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina. 2004. 323 p.
- BOLLER, B.C.; NÖSBERGER, J. Symbiotically fixed nitrogen from field-grown white and red-clover mixed with ryegrasses at low levels of 15N-fertilization. **Plant and Soil**, v. 104, p. 219–226, 1987.
- CABRERA, A.L.; WILLINK, A. **Biogeografía de América Latina**. Washington, DC: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. 1973. 128 p.
- CARVALHO, P.C.F.; SOARES, A.B.; GARCIA, E.N.; BOLDRINI, I.I.; PONTES, L.S.; FREITAS, M.R.; FREITAS, T.M.S.; FONTOURA JR., J.A. Herbage allowance and species diversity in native pastures. In: INTERNATIONAL RANGELAND CONGRESS, VII, Durban, South Africa, 2003. **Proceedings...** Durban: Document Transformation Technology Congress, 2003. p. 858–859.
- CHAPIN, S.F.I. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, p. 233–260, 1980.
- CHÁVEZ, L.F.; ESCOBAR, L.F.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; MEURER, E.J. Metabolic diversity and microbial activity in the soil in an integrated crop-livestock system under grazing intensities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1254–1261, 2011.
- CRAINE, J.M.; OCHELTRIE, T.W.; NIPPERT, J.B.; TOWNE, E.G.; SKIBBE, A.M.; KEMBEL, S.W.; FARGIONE, J.E. Global diversity of drought tolerance and grassland climate-change resilience. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 63–67, 2013.
- DAKORA, F. D.; PHILLIPS, D. A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. **Plant and Soil**, v. 245, n. 1, p. 35–47, 2002.
- DEVELEY, P.F.; SETUBAL, R.B.; DIAS, R.A.D.; BENCKE, G.A. Conservação das aves e da biodiversidade no bioma Pampa aliada a sistemas de produção animal. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 16, p. 308–315, 2008.
- DUFF, S.M.G.; SARATH, G.; PLAXTON, W.C. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. **Physiologia Plantarum**, v. 90, p. 791–800, 1994
- ENRI, S.R.; PROBO, M.; FARRUGIA, A.; LANORE, L.; BANCHETETE, A.; DUMONT, B. A biodiversity-friendly rotational grazing system enhancing flower-visiting insect assemblages while maintaining animal and grassland productivity. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, v. 241, p. 1–10, 2017
- FENG, C.; SHIWEN, D.; ZHANG, T.; LI, Z.; WANG, D.; WANG L.; LIU, C.; SUN, J.; PENG, F. High plant diversity stimulates foraging motivation in grazing herbivores. **Basic and Applied Ecology**, v. 17, p. 43–51, 2016.
- FINN, J.A.; BROPHY, C.; KIRWAN, L.; CONNOLLY, J.; SUTER, M.; HUGUENIN-ELLIE, O.; LÜSCHER, A. Plant diversity in intensively managed grasslands can improve resource use efficiency and alleviate effects of extreme climate events. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 54a, Foz do Iguaçu, 2017. **Anais...** Foz do Iguaçu: Soc. Bras. Zootecnia, 2017. p. 198–206.
- FRENCH, K.E. Species composition determines forage quality and medicinal value of high diversity grasslands in lowland England. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 24, p. 193–204, 2017.

- GARCÍA, I.V.; MENDOZA, R.E. Relationships among soil properties, plant nutrition and arbuscular mycorrhizal fungi-plant symbioses in a temperate grassland along hydrologic, saline and sodic gradients. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 63, p. 359–371, 2008.
- GRANT C.A.; BITTMAN S.; MONREAL M.; PLENCHETTE C.; MOREL C. Soil and fertilizer phosphorus: effects on plant P supply and mycorrhizal development. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 85, p. 3–14, 2004.
- HAUTIER, Y.; TILMAN, D.; ISBELL, F.; SEABLOOM, E.W.; BORER, E.T.; REICH, P.B. Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity. **Science**, v. 348, p. 336–340, 2015.
- IUSSIG, G.; LONATI, M.; PROBO, M.; HODGE, S.; LOMBARDI, G. Plant species selection by goats foraging on montane semi-natural grasslands and grazable forestlands in the Italian Alps. **Italian Journal Animal Science**, v. 14, p. 484–494, 2015.
- JAURENA, M.; LEZAMA, F.; SALVO, L. CARDOZO, G.; AYALA, W.; TERRA, J.; NABINGER, C. The dilemma of improving native grasslands by overseeding legumes: production intensification or diversity conservation. **Rangeland Ecology and Management**, v. 69, p. 35–42, 2016.
- LAJTHA, K. Nutrient uptake in eastern deciduous tree seedlings. **Plant and Soil**, v. 160, p. 193–199, 1994
- LAJTHA, K.; HARRISON, A.F. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plant species and communities. **Phosphorus in the global environmental: transfers, cycles and management**, p. 139–147, 1995.
- LÉVÊQUE, C. **La biodiversité avec ou sans l'homme?** Réflexions d'un écologue sur la protection de la nature en France. Versailles : Éditions Quae. 127 p.
- LINDMAN, C.A.M. **A vegetação no Rio Grande (Brasil Austral)**. Porto Alegre: Livraria Universal de Echenique Irmãos, 1906. 356 p.
- LONGHI-WAGNER, H.M. Diversidade florística dos campos sul-brasileiros: Poaceae. Congresso Nacional de Botânica, 54., Belém, 2003. **Anais...** Belém: Soc. Bras. Botânica, p. 117–120. 2003
- LUGO, M.A.; NEGRITO, M.A.; JOFRÉ, M.; ANTON, A.; GALETTO, L. Colonization of native Andean grasses by arbuscular mycorrhizal fungi in Puna: A matter of altitude, host photosynthetic pathway and host life cycles. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 81, p. 455–466, 2012.
- MARQUES, A.C.R.; OLIVEIRA, L.B.; NICOLOSO, F.T.; JACQUES, R.J.S.; GIACOMINI, S.J.; QUADROS, F.L.F. Biological nitrogen fixation in C4 grasses of different growth strategies of South America natural grasslands. **Applied Soil Ecology**, v. 113, p. 54–62, 2017b.
- MARQUES, A.C.R. ; OLIVEIRA, L.B.; QUADROS, F.L.F.; JACQUES, R.J.S.; TRINDADE, J.P.P.; VOLK, L.B. The effects of phosphorous fertilization on the mycorrhizal colonization of native forage grasses in the pampa biome. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, p. 58–64, 2017a.
- Nyfelner, D.; Huguenin-Elie, O.; Suter, M.; Frossard, E.; Connolly, J.; Lüscher, A. Strong mixture effects among four species in fertilized agricultural grassland led to persistent and consistent transgressive overyielding. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, p. 683–691, 2009.
- Nyfelner, D.; Huguenin-Elie, O.; Suter, M.; Frossard, E.; Lüscher, A. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 140, p. 155–163, 2011.
- OVERBECK, G.E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V.P.; BLANCO, C.C.; BOLDRINI, I.I.; BOTH, R.; FORNECK, E.D. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, p. 101–116, 2007
- PILLAR, V.P.; VELEZ-MARTIN, E.; OVERBECK, G.E.; BOLDRINI, I.I. Campos Sulinos: a biodiversidade na imensidão dos campos do sul do Brasil. In: PEIXOTO, A.L.; LUZ, J.R.P.L.; BRITO, M.A. (org.) **Conhecendo a biodiversidade**. Brasília: MCTIC, CNPQ, PPBIO, 2016. p. 34–49.
- PINTO, C.E. **Mudanças na diversidade vegetal do Bioma Pampa associadas ao pastejo**: um estudo de longo prazo. Tese (Doutorado em Zootecnia). Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PORTO, M.L. Os campos sulinos: sustentabilidade e manejo. **Ciência & Ambiente**, v.24, p. 9-138, 2002.

QUADROS, F.L.F.; TRINDADE, J.P.P.; BORBA, M. A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais. In: Pillar, V.P. ; MÜLLER, S.C. ; CASTILHOS, Z.M.S. ; JACQUES, A.V.A. (Eds.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2009. p. 206–213.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio grande do Sul**: ensaio de monografia natural. Porto Alegre: Selbach, 1956. 456 p.

SOARES, A.B.; CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C.; TRINDADE J.P.P.; DA TRINDADE, J.K.; MEZZALIRA, J.C. Dinâmica da composição botânica numa pastagem natural sob efeito de diferentes ofertas de forragem. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1459–1465.

VAN KLINK, R.; VAN DER PLAS, F.; VAN NOORDWIJK TOOS, C.G.E.; WallisDeVries, M.F.; Olf, H. Effects of large herbivores on grassland arthropod diversity. **Biological Review**, v. 90, p. 347–366, 2015.

WILSON, G.; HARTNETT, D. Effects of mycorrhizae on plant growth and dynamics in experimental tall grass prairie microcosms. **American journal of botany**, v. 84, p. 478, 1997.

Importância e manejo de nematoides em sistemas integrados

Anderson Cascione Gripp BICALHO ¹
Andressa Cristina Zamboni MACHADO ²

¹ Universidade Estadual de Londrina (UEL)

² Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR)

Abstract – The importance of nematode species for agricultural scenario have been increased worldwide. This is due to the great variety of plant-parasitic species, to their worldwide distribution and to their polyphagous habit. The constant availability of susceptible plants in the growing areas is another factor that allow the establishment and increase of nematode population densities. For these reasons, its important to know the host reaction of plant species used in crop succession, both in no-tillage systems or conventional crops, in order to avoid the increases in the initial inoculum of these pathogens to the subsequent crop. In this context, the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*), the root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita* and *M. javanica*), and the root-lesion nematode (*Pratylenchus brachyurus*) are considered as the main nematode species to soybean crops, and, except for *H. glycines*, the other species show the capacity to parasitize soybean and corn crops. In integrated systems, its is observed that forage crops are not good hosts to the majority of nematode species that occurred in soybean and corn growing areas. According with reports from literature, the main species used as forage crops, *Urochloa* spp. and *Panicum* spp., do not increase *H. glycines* population in the soil. The *Meloidogyne* species are able to multiply in few brachiarias and panicum species, as *M. incognita* and *M. javanica* in *U. ruziziensis*, and *M. incognita* in *P. maximum* "Colonião" and "Tanzânia". However, for *P. brachyurus*, the forage species are susceptible, increasing the soil nematode population during the crop season. Once introduced in the area, the eradication of nematodes is quite impossible and, therefore, management strategies must be adopted to allow the coexistence with these pathogens. In the case of *Meloidogyne* spp. and *H. glycines*, besides the use of forage species, resistant soybean and corn cultivars are available. To *P. brachyurus* there are no resistant cultivars, but those with lower reproduction factors can be prioritized. Principally in this case, another management tools could be integrated, as the use of chemical and biological nematicides and crop rotation. The increase in the organic matter in the soil as a result of conservational practices tends to affect the nematode population through the decomposition of toxic compounds and favoring the antagonistic microorganisms. However, this scenario must be acquired through the judicious diversification of the system, which must be based in the host reaction of plants and in the species identification of nematodes present in the area.

Keywords: nematode. reaction of plants. plant-parasitic species.

Resumo – Espécies de nematoides tem se tornado cada vez mais relevantes no cenário agrícola mundial. Isto se deve à grande variedade de espécies parasitas de plantas, ampla distribuição geográfica e o fato de apresentarem polifagia. A disponibilidade constante de plantas suscetíveis na área é outro fator que permite o estabelecimento e aumento da densidade populacional dos nematoides. Por esses motivos, é importante conhecer a reação de plantas utilizadas em sucessão de culturas, seja no sistema de plantio direto ou não, para evitar o aumento do inóculo inicial do patógeno para a cultura subsequente. Neste contexto, o nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines*), os nematoides das galhas (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*), e o nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) são considerados os principais nematoides na soja, e, com exceção ao *H. glycines*, os demais apresentam capacidade de parasitar concomitantemente a cultura do milho. Em se tratando de sistemas integrados, observa-se que, de modo geral, as forrageiras não são boas hospedeiras da maioria das espécies de nematoides que ocorrem em culturas como soja e/ou milho. De acordo com dados disponíveis na literatura, as principais espécies utilizadas na formação de pastagens, *Urochloa* spp. e *Panicum* spp., não são responsáveis por aumentar a população de *H. glycines*. As espécies de *Meloidogyne* spp. são capazes de multiplicar em poucas espécies de braquiárias e panicum, como no caso de *M. incognita* e *M. javanica* em *U. ruziziensis*, e *M. incognita* em *P. maximum* "Colonião" e "Tanzânia". Entretanto, no caso de *P. brachyurus*, as forrageiras apresentam comportamento de suscetibilidade, ou seja, ao longo do tempo multiplicam o nematoide na área. Uma vez introduzido na área a erradicação do nematoide é praticamente impossível, e, portanto, passa-se a adotar ferramentas de manejo que possibilitem o convívio com o mesmo. No caso das espécies de *Meloidogyne* e *H. glycines*, além de alternativas no uso de espécies forrageiras, estão disponíveis cultivares de soja e milho resistentes. Para *P. brachyurus* não existem opções com resistência, mas devem ser priorizadas aquelas que apresentam menores fatores de reprodução (FR), ou seja, que multiplicam o nematoide mas em menor intensidade. Principalmente neste caso, outras medidas de controle podem ser integradas, como o uso de nematicidas químicos e biológicos e rotação de culturas. O aumento do teor de matéria orgânica no solo como resultado de práticas conservacionistas tende a afetar a população do nematoide pela decomposição de compostos tóxicos e favorecimento de microorganismos antagonistas. Contudo, este cenário deve ser adquirido mediante a diversificação do sistema com critério, a qual deve ser baseada na hospedabilidade das plantas e na identificação das espécies de nematoides presentes na área.

Palavras-chave: nematoides. hospedabilidade das plantas. espécies parasitas de plantas.

Como Citar (NBR 6023)

BICALHO, Anderson Cascione Gripp; MACHADO, Andressa Cristina Zamboni. Importância e manejo de nematoides em sistemas integrados. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 45–54. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

INTRODUÇÃO

Os fitonematóides são parasitas que possuem ampla distribuição geográfica e são capazes de causar danos nas principais culturas de importância econômica no país. Somente associado a esses organismos, são atribuídos danos que geram prejuízos na ordem de R\$ 35 bilhões ao ano para a agricultura brasileira (MACHADO, 2017). As principais espécies de nematóides fitopatogênicos são os nematóides das galhas, representados por *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica* (Figura 1), o nematoide das lesões, o *Pratylenchus brachyurus* (Figura 2), o nematoide de cisto da soja, *Heterodera glycines* (Figura 3) e o nematoide reniforme, *Rotylenchulus reniformis*.



Figura 1 – Galhas radiculares causadas por *Meloidogyne* spp. Foto: Santino Aleandro da Silva.



Figura 2 – Lesões radiculares causadas por *Pratylenchus brachyurus* em soja. A) Raiz sadia; B) Raiz inoculada com *P. brachyurus* mostrando escurecimento generalizado após 110 dias da inoculação. Foto: Santino Aleandro da Silva.



Figura 3 – Cistos do nematoide de cisto da soja, *Heterodera glycines*, aderidos em raiz de soja. Foto: Santino Aleandro da Silva.

A dificuldade de controle de tais nematoides está diretamente relacionada à dificuldade de diagnóstico, uma vez que nem sempre os sintomas são expressos na parte aérea. Além disso, existe a necessidade de amostragem de raízes e solo e há a ocorrência concomitante de espécies da mesma área. Alguns deles possuem a capacidade de sobreviver por determinado período em restos culturais, em hospedeiros alternativos (plantas daninhas) e até mesmo em estruturas de resistência por longos períodos. Por estas, entre outras características, após a entrada do nematoide na área e seu estabelecimento em culturas hospedeiras, torna-se praticamente impossível sua erradicação.

Entre as práticas de controle está o uso de cultivares resistentes com o intuito de evitar danos na cultura em questão e reduzir a população do nematoide na área, pensando nas culturas subsequentes. Quando disponível, é a ferramenta ideal a ser adotada devido ao fato de não elevar custos e não demandar ajustes no maquinário agrícola (MACHADO, 2017).

O uso de nematicidas químicos, utilizados em tratamentos de sementes e sulco de semeadura, têm a capacidade de reduzir os danos na fase inicial da cultura, mas para espécies forrageiras ainda não existem produtos registrados no mercado nacional. O controle biológico pode ser uma alternativa, uma vez que o registro dos mesmos é feito para o alvo em questão. Entretanto, a eficiência de nematicidas é variável de acordo com a cultura e o patógeno.

A rotação de culturas deve ser adotada principalmente em áreas infestadas pelo nematoide de cisto e/ou nematoide reniforme (INOMOTO, 2016). Entretanto, em áreas com a presença de nematoides das galhas e das lesões a sua eficiência é limitada pelo alto grau de polifagia dos mesmos. Esta prática demanda criteriosa seleção dos genótipos a serem utilizadas e a correta identificação das espécies de nematoides (FERRAZ et al., 2010).

Nesse contexto, os sistemas de integração lavoura pecuária (ILP), podem ou não ser benéficos às condições fitossanitárias de uma área. Isso porque estes sistemas, apesar de serem baseados na rotação de culturas, que pode em alguns casos reduzir populações de patógenos, também adotam o sistema de plantio direto (SPD), que pode favorecer nematoides fitoparasitas que, inevitavelmente, teriam o ciclo de vida interrompido pela ausência de planta hospedeira. Em alguns casos, ocorre também a inserção de plantas de cobertura e consorciação de plantas. Com isso, o ILP traz a necessidade de tomadas de decisões mais criteriosas por parte do produtor e/ou técnico responsável.

Efeito de Forrageiras Tropicais sobre Nematoides

Principalmente em regiões mais quentes, é importante que as forrageiras utilizadas em sistemas de ILP produzam boa quantidade de palhada para a cultura em sucessão. Entre as forrageiras mais utilizadas, as espécies do gênero *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) representam cerca de 80 a 90% das áreas de pastagens no país (BRAGA, 2013). Apesar deste grupo ser constituído por 16 espécies que foram introduzidas a partir do continente Africano, de acordo com Karia et al. (2006),

87% das sementes comercializadas são de *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. humidicola* e *U. ruziziensis*. De forma menos expressiva, estão cultivares do gênero *Panicum* e *Andropogon* (ZIMMER, 2015).

Para o sucesso da integração lavoura-pecuária, faz-se necessário o manejo da área de acordo com conhecimentos relacionados à capacidade de multiplicação das espécies de nematoides em cada genótipo utilizado. Sabe-se que muitas dessas forrageiras são resistentes à diversas espécies de nematoides importantes para a agricultura brasileira (BRITO; FERRAZ, 1987; DIAS-ARIEIRA et al., 2003; ASMUS; CARGNIN, 2005). Avaliações nematológicas realizadas em culturas em sucessão e testes de reações realizados com tais forrageiras permitem inferências sobre as consequências, benéficas ou não, e medidas de manejo que poderiam ser adotadas ao longo tempo. A seguir é apresentado um levantamento das informações disponíveis na literatura, considerando os principais nematoides que podem comprometer sistemas de ILP baseados em soja e milho.

Tabela 1 – Número de fêmeas de *Heterodera glycines* por sistema radicular de soja cultivada na sequência de 92 dias de alqueive ou cultivo de soja, mucuna-preta ou gramíneas forrageiras (adaptado de VALLE et al., 1996).

Tratamentos	Número de fêmeas
<i>Urochloa brizantha</i> "Comum"	23,71
<i>Urochloa brizantha</i> "Brizantão"	18,00
<i>Urochloa decumbens</i>	18,71
<i>Urochloa humidicola</i>	29,71
<i>Urochloa ruziziensis</i>	50,14
<i>Andropogon gayanus</i> "Planaltina"	17,57
<i>Panicum maximum</i> "Guiné"	21,86
<i>Panicum maximum</i> "Tobiatã"	14,57
<i>Panicum maximum</i> "Vencedor"	18,71
Alqueive	48,57
Mucuna preta	37,57
Soja "FT-Cristalina"	85,86

Heterodera glycines - As braquiárias demonstram capacidade de reduzir a população de *H. glycines*. Isso foi observado para as espécies *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. humidicola* e *U. ruziziensis* (Tabela 1), apesar desta última apresentar menor eficiência na redução do número de fêmeas de *H. glycines* presentes em raízes de soja cultivadas na sucessão (Valle et al., 1996). Valle et al. (1996) também observaram que *A. gayanus* (cv. Planaltina) e *P. maximum* (cvs. Guiné, Tobiatã e Vencedor) apresentam bons resultados quando comparado, por exemplo, à práticas como o alqueive.

Resultados obtidos por Dias-Arieira et al. (2002) reforçam o efeito antagonista de *U. brizantha*, *U. decumbens* e *P. maximum* cv. Guiné. Isso porque tais espécies permitiram menor penetração de *H. glycines* em seus sistemas radiculares, interrompendo a manutenção do ciclo do nematoide. Com isso, essas gramíneas possuem potencial para reduzir a população do nematoide ao longo do tempo e contribuir para menor disseminação dos cistos para outras áreas (FERRAZ et al., 1999).

Meloidogyne spp. - O uso de gramíneas forrageiras também apresenta potencial para manejo de espécies do gênero *Meloidogyne* (Tabela 2). *Urochloa brizantha*, por exemplo, tem apresentado comportamento de resistência a *M. incognita* e *M. javanica* (PONTE et al., 1981; CARNEIRO et al., 2006). Dias-Arieira et al. (2003) observaram que *U. brizantha*, *U. decumbens* e *P. maximum* cv. Guiné são capazes de reduzir significativamente populações de *M. incognita*. Seguindo a mesma tendência que para *H. glycines*, *U. ruziziensis* demonstra ser a menos eficiente para controlar *M. javanica* e *M. incognita* (BRITO; FERRAZ, 1987; DIAS-ARIEIRA et al., 2003).

Este comportamento pode ser explicado pelo fato do nematoide ser capaz de infectar tais forrageiras, mas terem o seu ciclo de vida interrompido, como observado para *M. javanica* (BRITO; FERRAZ, 1987; DIAS-ARIEIRA et al., 2002; LENNÉ et al., 1981). Aquelas plantas que não multiplicam o nematoide na área ao longo do tempo, ou seja, possuem fator de reprodução menor que 1 ($FR < 1$) (OOSTENBRINK, 1966), e/ou expressam número de galhas no sistema radicular inferior a 30, são consideradas resistentes (HUSSEY; BARKER, 1973) e devem ser priorizadas no manejo da área.

Tabela 2 – Fator de reprodução (FR) e número de galhas (NG) de espécies de *Meloidogyne* em espécies forrageiras.

Espécie	<i>Meloidogyne incognita</i>	<i>Meloidogyne javanica</i>	<i>Meloidogyne paranaensis</i>
<i>U. brizantha</i> "Marandu"	FR=0,036 ¹ NG=4,3 ²	FR=0,016 ¹ NG=1,3 ²	FR=0,000 ¹
<i>U. brizantha</i> "MG5"	FR=0,008 ¹	FR=0,000 ¹	FR=0,000 ¹
<i>U. decumbens</i> x <i>U. brizantha</i> "MG4"	FR=0,004 ¹ NG=0 ²	FR=0,000 ¹ NG=8 ²	FR=0,032 ¹
<i>U. ruziziensis</i>	NG=101 ²	NG=235 ²	
<i>U. decumbens</i>	NG=0,8 ²	NG=0,4 ²	
<i>U. humidicola</i>	FR=0,000 ¹	FR=0,000 ¹	FR=0,027 ¹
<i>Panicum maximum</i> "Mombaça"	FR=0,036 ¹	FR=0,084 ¹	FR=0,004 ¹
<i>Panicum maximum</i> "Colonião"	NG=39,4 ²	NG=1,1 ²	
<i>Panicum maximum</i> "Tanzânia"	NG=56,7 ²	NG=10,6 ²	
<i>Panicum maximum</i> "Vencedor"	NG=1,3 ²	NG=5,3 ²	
<i>Andropogon gayanus</i> "Planaltina"	FR=0,000 ¹ NG=105,4 ²	FR=0,000 ¹ NG=51,1 ²	
<i>Pennisetum glaucum</i> "BRS 1501"	4,7 ³		

1 Carneiro et al. (2006); 2 Dias-Arieira et al. (2003); 3 Asmus et al. (2005)

Pratylenchus brachyurus - O nematoide das lesões radiculares possui a capacidade de se reproduzir em espécies do gênero *Urochloa* e *Panicum*. De modo geral, as braquiárias (*U. dyctioneura*, *U. humidicola*, *U. ruziziensis*, *U. brizantha*, *U. decumbens*) são suscetíveis ao nematoide, mas em proporções menores em comparação com *Panicum* spp. (INOMOTO, 2007b).

Devido à baixa multiplicação, em alguns casos, amostras de solo e/ou raízes podem não indicar a presença de *P. brachyurus* nessas forrageiras (MACHADO et al., 2000), aliado ao fato de que as plantas tendem a exibir os sintomas somente em altas densidades populacionais e parasitismo intenso (INOMOTO et al., 2005).

Entretanto, o fato de as braquiárias manterem a população viável na área pode ser suficiente para comprometer a produção de culturas sensíveis na sucessão, como a soja, além de aumentarem a população do mesmo (MACHADO et al., 2000; BARBOSA et al., 2015).

Tabela 3 – Fator de reprodução (FR) de *Pratylenchus brachyurus* em espécies forrageiras.

Espécie	FR
Braquiárias	
<i>Urochloa dyctioneura</i>	1,32 ¹
<i>Urochloa humidicola</i>	2,20 ¹ ; 0,98 ²
<i>Urochloa ruziziensis</i>	3,80 ¹ ; 2,55 ²
<i>Urochloa brizantha</i>	9,71 ¹ ; 4,78 ²
<i>Urochloa decumbens</i>	5,65 ¹
<i>U. ruziziensis</i> x <i>U. brizantha</i> "Mulato"	10,89 ¹
<i>Panicum maximum</i> "Tanzânia"	12,17 ¹ ; 4,08 ²
<i>Panicum maximum</i> "Mombaça"	13,18 ¹
<i>Panicum maximum</i> "Massai"	8,15 ²

1Inomoto et al. (2007b); 2Queiróz et al. (2014);

***Aphelencoides* spp.** - Os problemas potenciais com forrageiras diante de espécies do gênero *Aphelencoides* se referem à capacidade de disseminação do mesmo em suas sementes. Sementes infestadas comprometem lotes para exportação e introduzem os nematoides em áreas indenes (Figura 5).

Relatos apontam para presença de *Aphelencoides* em sementes de braquiárias (MARCHI et al., 2007; FAVORETO et al., 2011; MALLMANN et al., 2013). Entre as principais espécies se destacam *A. besseyi*, causador da ponta branca do arroz, considerado praga quarentenária para diversos países (ALICEWEB, 2012) e causador da Soja Louca II (Figura 4), que pode levar à perdas de até 60% de produtividade devido a distúrbios do ciclo vegetativo (FAVORETO et al., 2015).

Com isso, para a condução de áreas de ILP, é essencial a verificação da qualidade das sementes, principalmente considerando áreas que realizam a semeadura direta da soja em sucessão.

Estudos relacionados à capacidade de parasitismo e multiplicação do nematoide em forrageiras ainda são escassos.



Figura 4 – Sintomas de Soja Louca II. A) Campo; B) Planta de soja. Fonte: Embrapa Soja (Maurício Meyer).



Figura 5 – Lote comercial de sementes de braquiária, mostrando a quantidade de torrões de terra, restos vegetais e sujeira que foram separados da amostra. Fonte: Machado et al. (2013).

Outras espécies vegetais: forrageiras perenes do gênero *Cynodon*

Diante desse cenário, é interessante que se conheça a reação de outras espécies e/ou cultivares de forrageiras aos nematoides. As gramas bermuda ou estrela, pertencentes ao gênero *Cynodon*, se adaptam à diversas regiões e poderiam se enquadrar como alternativa de manejo.

Tabela 4 – Fator de reprodução de nematoides em cultivares da forrageira perene *Cynodon dactylon*. Adaptado de Silva et al. (2015).

Espécie	<i>Pratylenchus brachyurus</i>	<i>Meloidogyne incognita</i>	<i>Meloidogyne javanica</i>
Florakirk	0,48	0,04	3,88
Coastcross	1,79	0,09	0,37
Tifton 68	2,16	0,14	3,51
Tifton 44	1,01	0,14	2,47
Tifton 85	1,13	0,05	0,27
Jiggs	0,53	0,16	2,95

Ainda que escassas as informações nematológicas sobre cultivares de *Cynodon*, recentemente estudos mostraram que as principais cultivares apresentam resistência a *M. incognita*,

sendo que “Florakirk” e “Jiggs” apresentam resistência também a *P. brachyurus*, e as cultivares “Coastcross” e “Tifton 85” para *M. javanica* (SILVA et al., 2015). Os resultados são sumariados na Tabela 4.

Efeito das Forrageiras sub-tropicais ou de clima temperado sobre nematoides

Para as espécies de forrageiras adaptadas a regiões de clima frio, por serem importantes para áreas de ILP na região sul do Brasil, as questões nematológicas também devem ser consideradas. Entre as mais utilizadas estão aveia preta (*Avena strigosa*), considerada a de maior relevância em áreas de ILP na região sul (NABINGER, 2006) e o azevém (*Lolium multiflorum*). Outra cultura relevante é a aveia branca (*Avena sativa*), que tem sido recomendada para o cultivo em SPD (COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 2003) também por apresentar resistência aos nematoides das galhas (MORITZ et al., 2003; CARNEIRO et al., 2006; MACHADO et al., 2015).

Em relação às aveias pretas, os resultados encontrados mostram que a resposta ao parasitismo dos nematoides apresenta alguma discrepância, que pode ser atribuída à cultivar utilizada. Por exemplo, as cultivares “IAPAR 61”, “Comum” e “Campeira Mor” multiplicam *M. incognita* (Asmus et al., 2005; Machado et al., 2015), enquanto que para *P. brachyurus* o comportamento observado é de resistência (INOMOTO et al., 2007a; CHIAMOLERA et al., 2012). Para *M. javanica*, a cultivar “IAPAR 61” apresenta FR em níveis elevados (12,35), segundo Machado et al. (2015).

Recentemente o Instituto Agrônomo do Paraná, lançou a cultivar “IPR Afrodite”, que apresenta altos níveis de resistência a quatro espécies de *Meloidogyne* (*M. incognita*, *M. javanica*, *M. paranaensis* e *M. enterolobii*) (RIEDE et al., 2015). Segundo Machado et al. (2015), outras cultivares também apresentam níveis de resistência, porém menores. Entretanto, as mesmas cultivares possuem a capacidade de multiplicar *P. brachyurus*.

Pouca informação a respeito da reação de cultivares de azevém estão disponíveis e, entre aquelas disponíveis, não há menção dos materiais genéticos utilizados como hospedeiros. Enquanto Dias-Arieira et al. (2003) verificaram elevado número de galhas em plantas inoculadas com *M. incognita* e *M. javanica*, Carneiro et al. (2006) constataram fator de reprodução abaixo de 1 (0,132) para *M. incognita*, ou seja, enquadrando-a como planta resistente.

Tabela 5 – Fator de reprodução (FR) e número de galhas (NG) de nematoides em espécies forrageiras de clima temperado.

Espécie	<i>Meloidogyne incognita</i>	<i>Meloidogyne javanica</i>	<i>Pratylenchus brachyurus</i>
Aveias pretas			
IAPAR 61	4,48 ¹	12,35 ¹	0,06 ³
Comum	6,85 ⁴	-*	1,04 ²
Campeira Mor	3,24 ⁴	-*	0,57 ²
Aveias brancas			
IPR Afrodite	0 ¹	0 ¹	4,16 ¹
URS Corona	0 ¹	0,09 ¹	8,19 ¹
URS Tarimba	0,02 ¹	0,03 ¹	9,66 ¹
URS Taura	0,03 ¹	1,76 ¹	2,33 ¹
URS Guria	0,04 ¹	0,07 ¹	2,47 ¹
URSFAPA Slava	3,2 ¹	8,4 ¹	1,0 ¹
URS Torena	4,36 ¹	4,09 ¹	2,33 ¹
URS Charrua	4,55 ¹	2,01 ¹	-
IPR 126	7,23 ¹	16,79 ¹	2,16 ¹
Azevém	NG = 477,8 ⁵ FR = 0,132 ⁶	NG = 738,1 ⁵ -	

*Não testado; 1 Machado et al. (2015); 2 Inomoto et al. (2007a); 3 Chiamolera et al. (2012); 4 Asmus et al. (2005); 5 Dias-Arieira et al. (2003); 6 Carneiro et al. (2006)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das informações disponíveis, é possível inferir quais pontos possuem o potencial de oferecer maiores riscos dentro de sistemas de ILP. Por outro lado, faz-se necessário analisar de

forma mais profunda, e prática, os efeitos de diferentes manejos sobre as populações de nematoides no médio e longo prazos nessas áreas.

Em áreas de ILP, cultivares de forrageiras resistentes, por si só, não mantêm a viabilidade do sistema, caso a cultura em sucessão apresente altos níveis de suscetibilidade, sendo o contrário também verdadeiro. Atenção especial deve ser dada às áreas infestadas por *P. brachyurus*, uma vez que as principais forrageiras de clima temperado e tropical multiplicam o nematoide e as culturas na sucessão (soja e milho) não apresentam fonte de resistência efetiva.

Ainda, existe uma demanda a ser explorada pelos programas de melhoramento de plantas para disponibilizar genótipos com maior espectro de resistência. A expectativa é que, com o aumento da importância da integração lavoura-pecuária, as empresas direcionem seus esforços para o lançamento de cultivares resistentes de culturas forrageiras que compõem o sistema. A rotação de culturas deve ser realizada com cautela, sempre relacionando aspectos tanto do patógeno, quanto dos hospedeiros. Portanto, o manejo integrado de ferramentas de controle pode suprir limitações e tornar a atividade mais sustentável.

Portanto, conhecer qual espécie de nematoide está presente na área e os possíveis efeitos sobre os sistemas de ILP utilizados é de suma importância para a condução dos cultivos de forma produtiva. Vale lembrar que, frequentemente, o manejo deve ser elaborado considerando-se mais que uma espécie de nematoide e a aptidão da área agrícola. De qualquer forma, a medida mais eficaz ainda é a prevenção da entrada do nematoide na área, baseada em medidas de exclusão do patógeno.

REFERÊNCIAS

- ALICEWEB – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Secretaria de Comércio Exterior. **Sistema Aliceweb**. 2012. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>> Acesso em 03 mai. 2017.
- ASMUS, G.L.; CARGNIN, R.A. Reação de culturas de cobertura a *Rotylenchulus reniformis*. **Nematologia Brasileira**, v. 29: p. 136, 2005.
- ASMUS, G.L.; INOMOTO, M.M.; SAZAKI, C.S.S.; FERRAZ, M.A. Reação de algumas culturas de cobertura utilizadas no sistema plantio direto a *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Brasileira**, v. 29: p. 47–52, 2005.
- BORGES, D.C.; ANTEDOMÊNICO, S.R.; SANTOS, V.P.; INOMOTO, M.M. Reação de genótipos de *Avena* spp. a *Meloidogyne incognita* raça 4. **Tropical Plant Pathology**, v. 34: p. 24–28, 2009.
- BRAGA, I. **Discriminação varietal de cultivares de *Urochloa brizantha* por marcador molecular ISSR**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2013. 52 p.
- BRITO, J.A.; FERRAZ, S. Seleção de gramíneas antagonistas a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 11: p. 260–269, 1987.
- CARNEIRO, R.G.; MÔNACO, A.P.A.; LIMA, A.C.C.; NAKAMURA, K.C.; MORITZ, M.P.; SCHERER, A.; SANTIAGO, D.C. Reação de gramíneas a *Meloidogyne incognita*, a *M. paranaensis* e a *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 30: p. 287–291, 2006.
- COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. **Indicações Técnicas para o Cultivo de Aveia (Grãos e Forrageiras)**. Ed. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2003, 87 p.
- DIAS-ARIEIRA, C.R.; FERRAZ, S.; FREITAS, L.G.; MIZOBUTSI, E.H. Penetração e desenvolvimento de *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines* em quatro gramíneas forrageiras. **Nematologia Brasileira**, v. p. 26: 35–41, 2002.
- DIAS-ARIEIRA, C.R.; FERRAZ, S.; FREITAS, L.G.; MIZOBUTSI, E.H. Avaliação de gramíneas forrageiras para o controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Nematoda). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25: p. 473–477, 2003.

- ENDO, B. Responses of root-lesion nematodes, *Pratylenchus brachyurus* and *P. zeae* to various plants and soil types. **Phytopathology**, v. 49: p. 417–421, 1959.
- FAVORETO, L.; SANTOS, J.M.; CALZAVARA, S.A.; LARA, L.A. Estudo fitossanitário, multiplicação e taxonomia de nematoides encontrados em sementes de gramíneas forrageiras no Brasil. **Nematologia Brasileira**, v. 35: p. 20–35, 2011.
- FAVORETO, L.; MEYER, M.C.; KLEPKER, K.; CAMPOS, L.J.M. Ocorrência de *Aphelenchoides* sp. em plantas de soja com sintomas de Soja Louca II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 3, 2015, Londrina. **Anais...** SBN, 2015. p. 81–82. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282859761_OCORRENCIA_DE_Aphelenchoides_sp_EM_PLANTAS_DE_SOJA_A_COM_SINTOMAS_DE_SOJA_LOUCA_II_OCCURRENCE_OF_Aphelenchoides_sp_IN_SOYBEAN_PLANTS_WITH_GREEN_STEM_SYMPTOMS. Acesso em 20 mai. 2017.
- FERRAZ, L.C.C.B.; BROWN, D.J.F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Manaus: Norma Editora, 2016, 251 p.
- HUSSEY, R.S.; BARKER, K.R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. **Plant Disease Report**, v. 57: p. 1025–1028, 1973.
- INOMOTO, M.M. Manejo cultural de nematoides. In: GALBIERI, R.; BELOT, J.L. Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle. Instituto Mato-grossense do Algodão – IMAmt, 2016, p. 257–286.
- INOMOTO, M.M.; MOTTA, L.C.C.; MACHADO, A.C.Z.; SAZAKI, C.S.S. Reação de dez coberturas vegetais a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 30: p. 151–157, 2007a.
- INOMOTO, M.M.; MACHADO, A.C.Z.; ANTEDOMÊNICO, S.R. Reação de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* a *Pratylenchus brachyurus*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32: p. 341–344, 2007b.
- KARIA, C. T.; DUARTE, J. B.; ARAÚJO, A. C. G. **Desenvolvimento de cultivares do gênero *Brachiaria* (trin.) Griseb. no Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. Documentos, 163.
- LENNÉ, J.M. Controlling *Meloidogyne javanica* on *Desmodium ovalifolium* with grasses. **Plant Disease**, v. 65: p. 870–871, 1981.
- MACHADO, A.C.Z.; VENZKE FILHO, S.P.; INOMOTO, M.M. Reprodução de fitonematoides identificados em uma área de plantio direto em três espécies de gramíneas. **Nematologia Brasileira**, v. 24: p. 173–177.
- MACHADO, A.C.Z.; ALVES, S.; ÁVILA, M. R. Efeito Indireto. **Revista Cultivar - Grandes Culturas**, Pelotas - RS, p. 16–20, 01 jan. 2013.
- MACHADO, A.C.Z.; SILVA, S.A.; DORIGO, O.F.; RIEDE, C.R.; GARBUGLIO, D.D. Phenotypic variability and response of Brazilian oat genotypes to different species of root-knot and root-lesion nematodes. **European Journal of Plant Pathology**, v. 141: p. 111–117, 2015.
- MALLMANN, G.; VERZIGNASSI, J.R.; FERNANDES, C.D.; SANTOS, J.M.; VECHIATO, M.H.; INÁCIO, C.A.; BATISTA, M.V.; QUEIROZ, C.A. Fungos e nematoides associados a sementes de forrageiras tropicais. **Summa Phytopathologica**, v. 39: p. 201–203, 2013.
- MARCHI, C.E.; FERNANDES, C.D.; BORGES, C.T.; SANTOS, J.M.; JERBA, V.F.; TRENTIN, R.A.; GUIMARÃES, L.R.A. Nematofauna fitopatogênica de sementes comerciais de forrageiras tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42: p. 655–660, 2007.
- MORITZ, M.P.; SIMÃO, G.; CARNEIRO, R.G. Reação de aveia a *Meloidogyne incognita* raças 1 e 3, e a *M. paranaensis*. **Nematologia Brasileira**, v. 27: p. 207–210, 2003.
- NABINGER, C. Manejo e produtividade das pastagens nativas do subtropico brasileiro. In: I Simpósio de forrageiras e produção animal, 2006, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2006, p. 25–76.
- OOSTENBRINK, M. **Major characteristics of the relation between nematodes and plants**. Wageningen: Mededeelingen van de Landbouwhogeschool, 1966, p. 66–64.

PONTE, J.J.; VIANA, O.J.; CAVALCANTE, F.S.; BISPO, C.M.; MATOS, F.V.; FRANCO, A. Indicação de plantas imunes a *Meloidogynose*. I – Primeira triagem entre gramíneas forrageiras. **Nematologia Brasileira**, v. 5: 51-55, 1981.

RIEDE, C.R.; GARBUGLIO, D.D.; MACHADO, A.C.Z.; PÓLA, J.N.; CARVALHAL, R.; ARRUDA, K.M.A. IPR Afrodite – new oat cultivar with nematode resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15: p. 278–281, 2015.

SILVA, S.A.; ZENI, F.; AMARO, P.M.; MACHADO, A.C.Z. **Host reaction of forage grasses to root-knot and lesion nematodes**. Nematoda, e01215, 2015.

VALLE, L.A.C.; FERRAZ, S.; DIAS, W.P.; TEIXEIRA, D.A. Controle do nematoide de cisto da soja, *Heterodera glycines Ichinohe*, com gramíneas forrageiras. **Nematologia Brasileira**, v. 20: p. 1–11, 1996.

ZIMMER, A.H. **Gramíneas forrageiras tropicais para integração lavoura-pecuária**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/6477925/artigo-gramineas-forrageiras-tropicais-para-integracao-lavoura-pecuaria>> Acesso em 20 mai. 2017.

Eixo Temático 2:

Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes

Ciclagem de nutrientes

Ibanor ANGHINONI ¹; Paulo C. F. CARVALHO ²; Amanda P. MARTINS ³;
Joice M. ASSMANN ⁴; Fernando ARNUTI ⁵; José B. M. BORIN ⁵; Diego
CEGAGNO ⁵, Luiz G. O. DENARDIN ⁵; Tales TIECHER ⁶; Anibal de
MORAES ⁷

¹ Professor Titular, Docente Convidado do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande Do Sul (UFRGS). Consultor Técnico do IRGA e Bolsista do CNPq. Rua Barão de Ubá 372/401, CEP 90450-090, Porto Alegre RS. Ibanghi@ufrgs.br.

² Professor Titular do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, da UFRGS. Bolsista do CNPq. Porto Alegre - RS.

³ Pós-Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS. Bolsista da CAPES. Porto Alegre, RS.

⁴ Doutora do Instituto Agronômica do Paraná, Pato Branco - PR.

⁵ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRGS, Porto Alegre - RS.

⁶ Professor Adjunto do Departamento de Solos da UFRGS. Porto Alegre - RS.

⁷ Professor Titular do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitário da Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR.

Abstract – Nutrient cycling is one of the most important characteristics of integrated crop-livestock production systems. Nutrients circulate among the compartments of the production system through their biogeochemical cycles. In such studies, compartmental models are adopted, which avoid the complexity of describing many processes as well as they allow to satisfactorily describe processes and the relationships among them. The synchronism among nutrient release and plant demand is of great importance for agrosystems sustainability. Nutrient uncoupling at real time determines the efficiency of the nutritional resources use. The animal at grazing in integrated crop-livestock systems, besides the direct effect of trampling the soil, modifies taxes and flows of the systemic process, recycling the organic compound and determining the dynamic of nutrients through the compartments. In this way, moderate grazing in a soybean-beef cattle system results in higher pasture biomass production and nutrient release as compared to intensive grazing and absence of grazing, with nutrients being mostly been released from the labile fraction of organic residues. The amount of nutrients released from soybean residues are not affected by previous pasture grazing and are similar of nutrient recommendations based on soil testing analysis.

Keywords: nutrient flow. production system compartments. synchronism. integrated soybean-beef cattle system.

Resumo – A ciclagem de nutrientes é uma das características mais reconhecidas dos sistemas integrados de produção agropecuária. Consiste no fluxo de nutrientes entre os diversos compartimentos do sistema de produção em uma série de processos nos respectivos ciclos biogeoquímicos. Nesses estudos, são adotados modelos compartimentalizados que evitam a complexidade de descrever muitos processos ao mesmo tempo em que permitem analisar satisfatoriamente as relações funcionais entre eles. O sincronismo entre as diversas etapas do processo de circulação de nutrientes é de grande importância para o estabelecimento e produção sustentada dos agrossistemas. O desacoplamento dos nutrientes nos resíduos compreende o tempo total de ciclagem e representa um aspecto fundamental da sua eficiência na utilização dos recursos nutricionais. O animal em pastejo em sistemas integrados de produção agropecuária, além do efeito direto do pisoteio sobre o solo, é um agente catalisador que modifica as taxas e os fluxos dos processos sistêmicos, reciclando o material orgânico e determinando a dinâmica dos nutrientes entre os seus compartimentos. No sistema de integração soja-bovinos de corte, o pastejo moderado resulta em maior produção de biomassa da pastagem e liberação de nutrientes em relação ao *pastejo intenso* e na ausência do pastejo, sendo os nutrientes predominantemente provenientes da fração lábil dos resíduos. As quantidades de nutrientes liberadas pelo resíduo da soja não são afetadas pelo manejo dos animais na fase pastagem e são similares às adubações indicadas pelas recomendações embasadas na análise química do solo.

Palavras-chave: fluxo de nutrientes. Compartimentos. sincronismo. integração soja-bovinos de corte.

Como Citar (NBR 6023)

ANGHINONI, Ibanor et al. Ciclagem de nutrientes. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 56–66. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

INTRODUÇÃO

A ciclagem de nutrientes consiste no seu movimento (fluxo) entre os diversos compartimentos (atmosfera-planta-animal-solo-água) dos eco e agrossistemas. Nesse contexto, a ciclagem envolve uma série de processos nos respectivos ciclos, onde a medida da quantidade e da velocidade de transferência de nutrientes de um compartimento para outro (fluxos e taxas) permite calcular o balanço no sistema. O conhecimento do balanço dos nutrientes é um requisito primordial para o seu uso eficiente, quer seja daqueles disponibilizados pelo solo ou adicionados como fertilizantes.

Os nutrientes presentes nesses sistemas se movimentam (circulam) entre os seus diversos compartimentos em ciclos denominados biogeoquímicos, estudados em uma ciência (Biogeoquímica) que trata da troca e circulação de matéria e energia entre os componentes bio-físico-químicos da biosfera (ODUM, 1971). O componente biológico (bio) se relaciona aos organismos vivos interagindo no processo de síntese orgânica e decomposição das substâncias; o componente geológico (geo) se refere ao meio terrestre (mineral) como fonte dos nutrientes; e o componente químico considera propriamente os ciclos dos elementos químicos.

Através da ciclagem em sistemas integrados de produção agropecuária, em seu modelo conceitual sistêmico, pode-se dimensionar os fluxos e processos que ocorrem nos diferentes compartimentos desses sistemas. Assim, na implantação da pastagem, os nutrientes são absorvidos e incorporados na biomassa vegetal que será consumida pelo animal, com pequena incorporação em seu organismo. O restante retorna ao solo como resíduo do pasto e na excreta animal (esterco e urina). A decomposição dos resíduos do pasto (pastagem e excreta) e a decomposição daqueles liberados pela cultura comercial, em sucessão ou em rotação à fase pastagem, libera nutrientes para a solução do solo, para a biomassa microbiana e para a formação da matéria orgânica (de diferentes labilidades) do solo.

CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DE NUTRIENTES

A importância dos quatro Grandes Ciclos Biogeoquímicos da terra: água, carbono, nitrogênio e fósforo, reside no grande volume de matéria e de energia movimentada em seus processos e na essencialidade desses elementos na formação e na manutenção da biosfera (ADUAN et al., 2004). O fluxo unidirecional de energia solar proporciona condições para síntese da matéria orgânica pelos seres autótrofos e sua decomposição e retorno ao meio como elementos inorgânicos pela ação dos microrganismos consumidores heterótrofos. Como os recursos na Terra são finitos, a vida depende do equilíbrio natural desses ciclos, sendo de suma importância a reciclagem da matéria orgânica.

As plantas utilizam o CO₂ e o vapor de água da atmosfera para, na presença de luz solar, sintetizar compostos orgânicos de carbono, hidrogênio e oxigênio. A fixação do carbono (C) em sua forma orgânica indica que a fotossíntese é a base da vida na Terra, com a energia solar sendo armazenada como energia química. Desta forma, a interação do C com o meio aquático e o respectivo ciclo hidrológico é de extrema importância aos seres vivos. Na sua complexidade, ocorre um ciclo principal, formado por organismos produtores, consumidores e decompositores que participam dos processos de fotossíntese e respiração, e um ciclo secundário, mais lento, responsável pela decomposição de plantas e de animais, incorporados ao sistema solo por processos geológicos na crosta terrestre. Os organismos que foram transformados em combustíveis fósseis e calcário ficam à margem do ciclo principal.

O ciclo do nitrogênio (N), assim como o do C, é um ciclo gasoso. Apesar dessa similaridade, existem diferenças notáveis entre os dois ciclos: a atmosfera é rica em N (78%) e pobre em C (0,032%). Apesar da abundância de N na atmosfera, somente um grupo seletivo de microrganismos consegue utilizá-lo na forma gasosa, o que resulta no envolvimento biológico no ciclo desse nutriente ser muito mais extenso que no ciclo do C. O ciclo equilibrado do N depende de um

conjunto de fatores bióticos e abióticos, fazendo com que nem sempre o sistema esteja apto a assimilar o excesso desse nutriente produzido ou inserido artificialmente no sistema.

Os ciclos do C e do N, segundo Soussana, Lemaire (2012), são fortemente associados pela estequiometria: de um lado a autotrofia das plantas e do outro, da comunidade microbiota. Plasticidade, na forma e na função das plantas, diversidade de espécies e regulação biológica na fixação de N contribuem para estabilizar a relação C/N da matéria orgânica do solo. Processos, como o *efeito prime* e a lixiviação de nitrato (NO_3^-), tendem ao reestabelecimento da estequiometria, pela liberação dos elementos que estão em excesso. Os animais herbívoros tendem a desacoplar os ciclos de C e N, pela liberação do C digestível, como CO_2 e CH_4 , e pelo retorno do N digestível como urina. Em intensidade moderada de pastejo, os herbívoros favorecem a ciclagem de N e ganho em produtividade, levando ao sequestro de C no solo, porém tende a diminuir em altas intensidades e na ausência de pastejo. Os impactos ambientais pelo pastejo são determinados pelo balanço entre o aumento da acoplagem de C e N pela pastagem e a sua desacoplagem pelos animais. O manejo adequado do pastejo e sua integração com espécies comerciais (commodities) minimizam o efeito prejudicial da desacoplagem por animais domésticos herbívoros, promovendo sinergia entre produção de alimentos, biodiversidade e serviços ambientais.

O fósforo (P) é constituinte das moléculas dos ácidos ribonucleico (RNA) e desoxirribonucleico (DNA), componente dos ossos e dentes e essencial no armazenamento e transferência de energia. É um elemento fundamental na transferência de caracteres no processo de reprodução dos seres humanos. Seu ciclo é predominantemente geológico e lento, sendo o principal reservatório, as rochas fosfatadas e, provavelmente, o fator mais limitante à produtividade primária. Por meio da dissolução dessas rochas, o P é liberado e, depois, absorvido pelos vegetais. A parte não aproveitada é carregada para os oceanos, onde se acumula a grandes profundidades. Os meios de retorno desse nutriente para os ecossistemas a partir dos oceanos são insuficientes para compensar a parcela que se perde. Esse retorno tem, por principais agentes, os peixes e as aves marinhas, estas como os extensos depósitos de guano (fosfato de cálcio), existentes nas costas do Peru e do Chile. A exploração da mineração, ocupação desordena do solo, desmatamentos e agricultura intensiva, entre outras atividades, aceleram o processo de perda de P, passando da litosfera para a hidrosfera.

O potássio (K), apesar de não fazer parte dos Grandes Ciclos da natureza e de não participar dos componentes estruturais dos vegetais, é de grande importância tanto nos sistemas naturais como nos agrossistemas. Esse nutriente é essencial para a síntese de carboidratos, síntese e estabilização de proteínas e relações osmóticas, incluindo abertura e fechamento de estômatos. Sua demanda pelas plantas é alta, assemelhando-se à do N. A exemplo do P, seu ciclo é predominantemente geológico, porém rápido. As fontes de K no solo são os feldspatos, micas e filosilicatos, sendo liberado pelo intemperismo, adsorvendo-se nas cargas negativas do solo (argilas 2:1 e matéria orgânica) e rapidamente desorvido para a solução do solo à medida que as raízes o absorvem. Como não faz parte de compostos estruturais das plantas, é rapidamente liberado para a solução do solo, sem depender da atividade microbiana. Dentre os cátions básicos (Ca, Mg e K), é o mais facilmente lixiviado pela ação da água e levado aos cursos de água e se acumulando nos oceanos.

MODELOS COMPARTIMENTALIZADOS NA CICLAGEM DE NUTRIENTES

Os estudos de ciclagem de nutrientes, segundo Delitti (1995), adotam modelos nos quais cada sistema pode ser dividido em compartimentos, cujo número é variável de acordo com os objetivos e as conveniências de cada pesquisa. A definição do modelo resultará na compartimentalização de espaços que reúne componentes similares, da determinação de características desses compartimentos e das relações funcionais existentes entre os mesmos. Esta abordagem evita a complexidade de descrever os muitos processos físicos, químicos e biológicos, que ocorrem simultaneamente dentro de cada compartimento e analisa satisfatoriamente a resultante de todos esses processos. Analisam-se as quantidades e o tempo de residência dos nutrientes contidos em cada compartimento, bem como o fluxo de nutrientes entre eles (ERICKSSON, 1971). A via de

absorção de nutrientes e o seu transporte são majoritariamente estimados de forma indireta, quase sempre pela deposição ou queda da biomassa produzida (resíduos). Entretanto, o ecossistema somente está em equilíbrio quando as quantidades supridas por essa via equivalem às absorvidas pelas plantas e microrganismos. A maioria desses modelos são, por isso, parciais descrevendo apenas uma parte da ciclagem de nutrientes que ocorre dentro dos compartimentos dos agro e ecossistemas. Além disso, poucas pesquisas são conduzidas por longo tempo, de modo a permitir a observação das flutuações que ocorrem prioritariamente a um longo prazo ou a detecção de padrões plurianuais (DELITTI, 1995).

Um relato sobre ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária em nosso país foi apresentado por Anghinoni e Assmann (2011). Foi, então, constatada nos trabalhos de Adami (2009), Koselinski (2009), Bortolli (2010) e Saraiva (2010), a adoção dos Modelos dos Compartimentos no dimensionamento do fluxo dos nutrientes entre alguns desses compartimentos dos sistemas integrados estudados: decomposição de resíduos da fase pastagem (palhada e excreta) e a conseqüente liberação de nutrientes, em sacos de decomposição (*litter bags*) no campo, na forma de taxas e tempos de meia-vida, pelo ajuste (R^2) de modelos não lineares (WIEDER; LANG, 1982) em relação à natureza dos resíduos (lábil e recalcitrante). É, entretanto, importante conhecer a ciclagem dos nutrientes em ambas as fases do sistema (produção animal e cultura comercial) em manejos conservacionistas (plantio direto) de longa duração. Isto, porque o balanço entre as adições e as perdas de C e de energia modificam o estado de organização do solo e o próprio funcionamento do sistema agropecuário de produção (MIELNICZUK et al., 2003).

CICLAGEM DE NUTRIENTES EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Conceitos e fundamentos

O sincronismo entre as diversas etapas do processo de circulação de nutrientes é de grande importância para o estabelecimento e produção sustentada dos agrossistemas (WITKAMPF; AUSMUS, 1976). O termo sincronia se relaciona com a ontogenia das plantas, combinando a liberação dos nutrientes das raízes e parte aérea com a demanda da planta (MYERS et al., 1994). Esse termo, usado nesse sentido, implica que a taxa de liberação de um nutriente em forma disponível esteja fortemente relacionada ao padrão de crescimento da planta. Segundo esses autores, a falta de sincronia (assincronia) ocorre quando um nutriente é liberado ou adicionado em períodos de baixa demanda das plantas ou quando é liberado em taxas superiores às taxas de absorção. A combinação desses fatores pode ocorrer durante o ciclo de crescimento das plantas. O deslocamento de nutrientes resulta no tempo total de ciclagem e compreende um aspecto fundamental da sua eficiência na utilização dos recursos nutricionais (DELITTI, 1995). Há, também, uma nítida diferença no sincronismo da produção primária de biomassa (microbiana, vegetal e animal) e sua decomposição entre os diversos agro e ecossistemas, determinada pelas condições climáticas. Assim, a presença de fatores climáticos de tensão ambiental, como congelamento e seca determinam um aumento, e fatores favoráveis de umidade e temperatura determinam uma diminuição do tempo de ciclagem dos nutrientes.

O processo de decomposição de resíduos, embora rápido, normalmente não é suficiente para equilibrar as perdas de nutrientes nos agrossistemas. Isto, porque as quantidades de resíduos do sistema de produção agropecuária depositadas na superfície do solo ou decorrente da decomposição das raízes são, quase sempre, inferiores às necessidades das culturas para as produtividades almejadas. Para satisfazer tais requerimentos e compensar as perdas de nutrientes nos agrossistemas, são efetuadas recomendações de doses de nutrientes e manejo da adubação determinadas por sua disponibilidade, avaliada pela análise química do solo.

O animal, quando presente no sistema, modifica os fluxos entre os compartimentos pela ingestão de nutrientes, via consumo da forragem, sua digestão e posterior retorno ao sistema. Além de impor heterogeneidade em uma série de variáveis, essa presença altera a via dos fluxos de nutrientes, em sua natureza e magnitude, modificando o funcionamento do sistema. Neste particular, o solo pode

ser considerado a *memória* do sistema, por ser o compartimento centralizador do processo e aquele que captura o sentido (+ ou -) das modificações do sistema (CARVALHO et al., 2010; ANGHINONI et al., 2011). Segundo os autores, enquanto os cultivos se sucedem, tanto quanto a presença dos animais, o solo é o único compartimento a permanecer convergindo alterações em seus atributos e propriedades ao longo do tempo. O animal em pastejo, por sua vez, pode ser considerado o *catalisador* da ciclagem do material vegetal e modifica profundamente a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos do sistema. Sendo assim, a aplicabilidade e a pertinência de estudos que vislumbrem compreender o solo como sistema, vem tendo maior destaque ultimamente. Ao optar por determinado manejo, especialmente a lotação animal e o método de pastoreio, está se definindo a ação direta do animal, que além de influenciar as características e propriedades do solo, determina a magnitude do fluxo dos nutrientes entre os compartimentos do sistema.

ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE INTEGRAÇÃO SOJA-BOVINOS DE CORTE

Para a ilustração da ciclagem dos principais macronutrientes (N, P e K), utilizar-se-á os resultados do acúmulo de resíduos e liberação desses nutrientes nos diferentes compartimentos de um protocolo de produção integrada de longa duração em semeadura direta (Tabela 1). O experimento foi iniciado em 2001 em uma propriedade agrícola sediada no município de São Miguel das Missões na região fisiográfica das Missões do Rio Grande do Sul, cujos detalhes podem ser encontrados em Martins et al. (2015). Do experimento, foram utilizados os tratamentos: 1. *Pastejo intenso*; (altura do pasto de 10 cm), 2. *Pastejo moderado* (altura média do pasto de 20 e 30 cm) e 3. *Sem pastejo*, utilizando-se dados de 14 ciclos de pastejo e 12 ciclos de soja no período 2001/2015. A cinética de decomposição dos resíduos e de liberação de nutrientes foi avaliada em dois ciclos completos (2009/2011) de produção animal (bovinos de corte) e de soja, pelo ajuste de modelos de regressão não linear aos dados observados da decomposição dos resíduos e da liberação de nutrientes de sacos de decomposição (*litter bags*), conforme Wieder e Lang (1982), utilizando o programa Sigma Plot (SPSS Inc., Chicago IL/EUA), conforme consta em Assmann (2013).

Tabela 1 – Biomassa de resíduos e conteúdo de nutrientes em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta

Biomassa/nutrientes	Cultura	Intensidade de pastejo		
		Pastejo intenso	Pastejo moderado	Sem pastejo
Biomassa aérea (t/ha)	Pasto	4,7	6,2	5,5
	Soja	5,1	5,3	5,4
	Total	9,8	11,5	10,9
Nitrogênio – N (kg/ha)	Pasto	80	129	104
	Soja	175	210	209
	Total	255	339	313
Fósforo – P (kg/ha)	Pasto	15	16	13
	Soja	7	9	10
	Total	22	25	23
Potássio – K (kg/ha)	Pasto	68	94	72
	Soja	65	62	70
	Total	133	156	142

Fonte: Adaptado de Anghinoni et al. (2015) e Assmann et al. (2017).

A ciclagem, no contexto deste trabalho, se refere à medida do desaparecimento dos resíduos da parte aérea do pasto (aveia preta e azevém), do esterco bovino e da parte aérea da soja (caules e folhas) em sacos de decomposição no campo e a consequente liberação dos nutrientes neles contidos. A quantidade total de nutrientes a circular no sistema é determinada pela quantidade de biomassa produzida nas fases de pastejo animal na mistura de forrageiras (azevém e aveia preta) animal e soja. No caso presente, dos resíduos analisados foram da parte aérea do pasto e do esterco e da soja (Tabela 1), uma vez que a urina e as raízes não foram avaliadas.

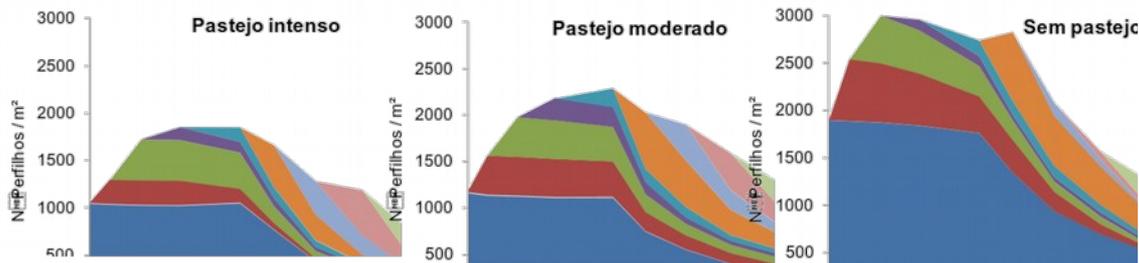


Figura 1 – Dinâmica do perfilamento do pasto (aveia + azevém) em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta. Fonte: Kunrath et al. (2015).

A maior produção de biomassa do pasto no *Pastejo moderado* em relação ao *Pastejo intenso* e ao *Sem pastejo*, ocorre devido à dinâmica do perfilamento dos componentes da pastagem (KUNRATH et al., 2015). No caso do *Pastejo intenso* (10 cm), a população total de afillhos da pastagem decresce inicialmente devido à morte dos afillhos da aveia preta, uma vez que eles estão mais presentes do que os do azevém até o mês de julho (Figura 1). A partir de então, o crescimento da pastagem passa a depender dos afillhos do azevém, que são insuficientes para promover uma população adequada de plantas, resultando em degradação da pastagem e presença de plantas daninhas. No tratamento não pastejado, a população de afillhos aumenta até meados de agosto, quando passa a decrescer devido ao sombreamento, principalmente da aveia preta, que rapidamente entra no estágio reprodutivo e não mais emite afillhos. Entretanto, o *Pastejo moderado* oferece condições adequadas para a contínua renovação de afillhos, diminuindo seu tempo médio de vida e aumentando a taxa de renovação, resultando em maior produção de biomassa do pasto (Figura 2).

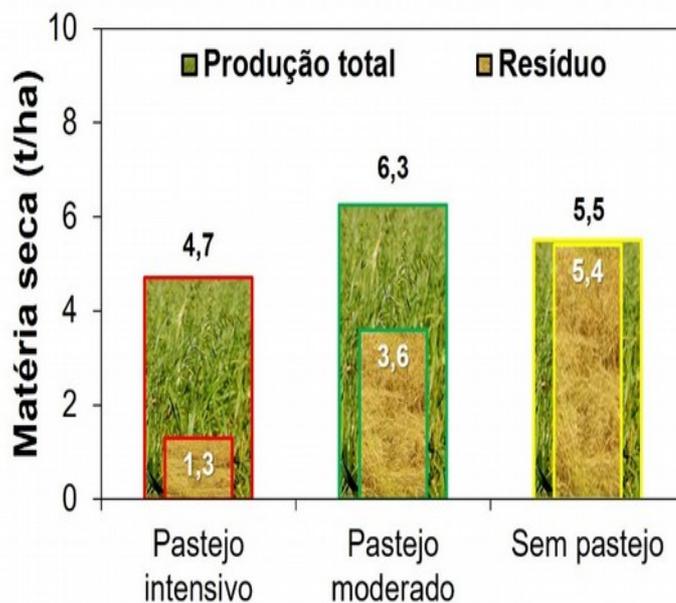


Figura 2 – Acúmulo e resíduo de biomassa do pasto (avevém + aveia preta) em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta. Fonte: adaptado de Kunrath et al. (2015).

Da biomassa acumulada no pastejo, parte é absorvida e parte retorna como resíduo do pasto, esterco e urina, além da exportação pelos animais. Os resíduos totais são menores no *Pastejo intenso*, a despeito da maior contribuição pela excreta e maior retirada pela carne, uma vez que não ocorre diferença entre os manejos do pasto na produção de resíduos da soja (folhas e caule) (Tabela 1). A quantidade dos nutrientes nos compartimentos da fase pastagem seguiu o comportamento da produção de resíduos do pasto: foi maior no *pastejo moderado* em relação aos demais, mesmo com maior quantidade de nutrientes liberados pelo esterco no *Pastejo intenso*, uma vez que não houve diferença entre os tratamentos no teor dos nutrientes estudados nos resíduos (ASSMANN et al., 2015). Assim, a dinâmica de decomposição desses resíduos, é determinada pela natureza (forma) de seus

constituintes, assim denominados: lábil e recalcitrante, isto é, de fácil e de difícil decomposição, respectivamente, determinados pelos teores de celulose, hemicelulose e lignina. A decomposição dessas formas (lábil e recalcitrante) e a consequente liberação de nutrientes ocorre de forma concomitante ou separada (primeiro, a lábil e, depois, a recalcitrante) e identificada pelo ajuste de equações não lineares (WEIDER; LANG, 1982). O tempo de meia vida ($T_{1/2}$), para liberar a metade da quantidade do nutriente do resíduo, tem sido utilizado para comparar os efeitos do manejo do sistema de produção na cinética de liberação dos nutrientes dos diferentes compartimentos. Nesta perspectiva, quando o ajuste das funções for maior para a decomposição separada, resultará em um único $T_{1/2}$ (fração lábil) e, quando o ajuste indica decomposição conjunta, resultará em dois $T_{1/2}$ (fração lábil e recalcitrante).

Assim, para N (Tabela 2) e P (Tabela 3) a fração lábil e o $T_{1/2}$ dos resíduos do pasto e do esterco foram afetados pela intensidade de pastejo, enquanto que nos resíduos da soja, isso não ocorreu. Em relação ao K (Tabela 4), não houve alteração desses parâmetros, quer seja dos resíduos da fase pastagem (pasto e esterco) ou da soja (folhas e caule). A liberação desse nutriente é rápida, devido ao mesmo não fazer parte de estruturas complexas, mas sim atuando nos processos fisiológicos. Maior ciclagem de N e P no *Pastejo moderado* estão relacionados ao menor teor de lignina dos resíduos do pasto e do esterco (Tabela 5) e determinados pela dinâmica do perfilhamento do pasto (Figura 1), resultando em contínuo crescimento da pastagem e predominância de folhas jovens (teor mais baixo de lignina e maior teor de nutrientes em relação às folhas mais velhas) (Tabela 5). As folhas de soja são de decomposição rápida em função de sua menor relação C/N; já o esterco sofre, no trato digestivo animal, um processo de degradação (mesmo que parcial) da fração recalcitrante, tornando-a mais rapidamente degradável no solo.

Tabela 2 – Parâmetros de liberação de nitrogênio em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta

Intensidade de pastejo	Parâmetros de liberação de N dos resíduos							
	Pasto		Esterco bovino		Folha de soja		Caule de soja	
	FL ¹ (%)	T _{1/2} (dias)	FL (%)	T _{1/2} (dias)	FL (%)	T _{1/2} (dias)	FL (%)	T _{1/2} (dias)
<i>Pastejo intenso</i>	72	128	61	77	82	127	75	66
<i>Pastejo moderado</i>	60	46	12	9	83	125	74	63
<i>Sem pastejo</i>	68	82	-	-	83	130	75	70

¹ FL = fração lábil; T_{1/2} = tempo de meia vida. Fonte: Adaptado de Anghinoni et al. (2015).

Tabela 3 – Parâmetros de liberação de fósforo em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta

Intensidade de pastejo	Parâmetros de liberação de P dos resíduos							
	Pasto		Esterco bovino		Folha de soja		Caule de soja	
	FL ¹ (%)	T _{1/2} (dias)	FL (%)	T _{1/2} (dias)	FL (%)	T _{1/2} (dias)	FL (%)	T _{1/2} (dias)
<i>Pastejo intenso</i>	31	24	35	9	61	57	22	12
<i>Pastejo moderado</i>	44	14	44	32	61	58	22	15
<i>Sem pastejo</i>	32	25	-	-	61	59	23	15

¹ FL = fração lábil; T_{1/2} = tempo de meia vida. Fonte: Adaptado de Anghinoni et al. (2015) e Assmann et al. (2017).

Para efeito do balanço dos nutrientes no sistema, foram incluídas as quantidades exportadas pelos animais a partir da literatura (HAYNE; WILLIAMS, 1993) e as quantidades que retornam ao solo pela urina, a partir das quantidades de nutrientes absorvidas pela pastagem, descontando-se as quantidades liberadas pela decomposição do resíduo do pasto e do esterco e as exportadas pelos animais (Tabela 6). A partir desse balanço, verifica-se que as quantidades de N e K que circulam nos compartimentos dos sistemas são grandes, equiparando-se às quantidades adicionadas pelos fertilizantes sendo sempre maiores no *Pastejo moderado*. Essa diferença é atribuída à reciclagem desses nutrientes no sistema. É importante que se observe que as quantidades de N e de K contidas na excreta dos animais são significativas e aumentam com a intensidade de pastejo, majoritariamente pela urina em relação ao esterco (Tabela 6). A ciclagem de fósforo pela excreta dos animais é, entretanto, pequena e não afetada pelo manejo do fosfato.

Tabela 4 – Parâmetros de liberação de potássio em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta

Intensidade de pastejo	Parâmetros de liberação de K dos resíduos							
	Pasto		Esterco bovino		Folha de soja		Caule de soja	
	FL ¹ (%)	T _{1/2} (dias)	FL (%)	T _{1/2} (dias)	FL (%)	T _{1/2} (dias)	FL (%)	T _{1/2} (dias)
<i>Pastejo intenso</i>	86	17	91	11	99	16	98	11
<i>Pastejo moderado</i>	90	19	94	12	99	16	98	11
<i>Sem pastejo</i>	90	18	-	-	98	20	98	12

¹ FL = fração lábil; T_{1/2} = tempo de meia vida. Fonte: Adaptado de Anghinoni et al. (2015) e Assmann et al. (2017).

Tabela 5 – Teores de nutrientes e de lignina nos resíduos do pasto e do esterco em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta

Intensidade de pastejo	Pasto				Esterco			
	N	P	K	Lignina	N	P	K	Lignina
	----- g kg ⁻¹ -----				--- % ---			
<i>Pastejo intenso</i>	16,4	3,1	14,5	11,2	21,7	6,8	18,6	24,4
<i>Pastejo moderado</i>	20,7	2,3	14,9	9,3	26,0	6,2	19,5	18,2
<i>Sem pastejo</i>	18,8	2,4	13,1	12,3	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Assmann (2013).

Tabela 6 – Biomassa e quantidades de nutrientes nos resíduos do pastejo em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta

Biomassa/nutrientes	Compartimento do sistema	Intensidades de pastejo		
		Sem	Moderado	Intenso
Biomassa aérea (t/ha)	Pasto	5,4	3,8	1,5
	Esterco	--	0,7	1,2
Nitrogênio – N (kg/ha)	Pasto	89	76	28
	Esterco	--	18	26
	Urina	--	20	21
	Animal	--	9	14
	Total	89	103	89
Fósforo P (kg/ha)	Pasto	17	10	5
	Esterco	--	4,2	8
	Urina	--	0,6	0,9
	Animal	--	2,4	3,6
	Total	17,0	17,2	17,5
Potássio - K (kg/ha)	Pasto	78	58	20
	Esterco	--	13	22
	Urina	--	20	23,7
	Animal	--	0,8	1,3
	Total	78	92	67

Fonte: Adaptado de Assmann (2013).

A marcha da liberação dos nutrientes para o ciclo seguinte reflete as taxas de decomposição, especialmente da fração lábil e tempo de meia vida (T_{1/2}) (Tabelas 2, 3 e 4). Assim, a liberação de N e K dos **resíduos do pasto** é maior e mais rápida no *Sem Pastejo* em relação aos demais (Tabela 7). A fração dos nutrientes liberada até 120 dias em relação ao total existente nos resíduos é relativamente baixa para o P (42 a 49%), média para o N (46 a 69%) e alta para o K (80 a 98%). As quantidades de nutrientes liberadas dos resíduos do pastejo para a cultura da soja (120 dias), representa uma pequena quantidade de P (11,4 a 14,4 kg de P ha⁻¹) e grande e diferenciada de nitrogênio (41 a 102 kg de N ha⁻¹) e de K (44 a 122 kg K ha⁻¹). A liberação desses nutrientes dos resíduos da soja para a pastagem, a exemplo do crescimento e rendimento de grãos, não foi afetada pelo pastejo anterior (Tabela 8). As quantidades liberadas desses nutrientes para o ciclo seguinte (pastejo) seguiu a mesma ordem da liberação dos resíduos do pastejo, mas em quantidades menores, especialmente para o N, uma vez que a coleta dos resíduos de soja foi feita na colheita dos grãos, quando uma fração considerável das folhas já havia senescido e caído ao chão. É importante que se

ressalte, com base nesses resultados, que a contribuição da ciclagem dos resíduos é uma importante fonte de nutrientes para as culturas. A cinética de sua liberação informa a taxa de sua liberação no tempo, o que permite definir a dose e o manejo da adubação, especialmente a nitrogenada, para a expectativa de rendimento, de forma a estabelecer uma sincronia entre o suprimento pelo solo e a demanda pelas culturas ao longo do seu desenvolvimento. Para isso, deve-se conhecer o fluxo dos nutrientes entre todos os compartimentos do sistema: resíduos da palhada na superfície e da excreta dos animais (esterco e urina), das raízes e de seus exsudatos e da fração lábil da matéria orgânica do solo.

Tabela 7 – Liberação de nutrientes dos resíduos do pastejo (pasto e esterco) ao longo do tempo e fração liberada aos 120 dias em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta

Nutriente	Intensidade de pastejo	Tempo após a deposição dos litter bags (dias)				Total nos resíduos	Fração liberada (%)
		30	60	90	120		
Nitrogênio - N¹ (kg/ha)	<i>Sem pastejo</i>	44	50	62	70	102	69
	<i>Moderado</i>	26	37	46	50	92	55
	<i>Intenso</i>	8	10	16	19	41	46
Fósforo - P₂O₅¹ (kg/ha)	<i>Sem pastejo</i>	7	8	13	28	31	49
	<i>Moderado</i>	12	12	13	14	32	50
	<i>Intenso</i>	7	9	10	11	27	42
Potássio - K₂O¹ (kg/ha)	<i>Sem pastejo</i>	77	80	82	83	85	98
	<i>Moderado</i>	53	55	61	64	80	78
	<i>Intenso</i>	28	34	38	44	49	90

⁽¹⁾ Valores retirados das curvas de regressão não lineares nos ciclos de pastejo de 2009 e 2010, ajustados para o período 2001 a 2015. Fonte: Adaptado de Assmann (2013).

Tabela 8 – Liberação de nutrientes dos resíduos da soja (caule e folhas) ao longo do tempo e fração liberada aos 120 dias em função da intensidade de pastejo em sistema soja-bovinos de corte em semeadura direta

Nutriente	Intensidade de pastejo	Tempo após a deposição dos litter bags (dias)				Total nos resíduos	Fração liberada (%)
		30	60	90	120		
Nitrogênio - N⁽¹⁾ (kg/ha)	<i>Sem pastejo</i>	12	19	31	38	94	40
	<i>Moderado</i>	14	20	32	35	95	37
	<i>Intenso</i>	9	15	23	30	75	40
Fósforo - P₂O₅⁽¹⁾ (kg/ha)	<i>Sem pastejo</i>	4,1	6,4	7,8	8,3	10,7	78
	<i>Moderado</i>	3,0	5,4	6,8	7,2	9,8	76
	<i>Intenso</i>	3	4,0	5,0	6,5	8,6	76
Potássio - K₂O⁽¹⁾ (kg/ha)	<i>Sem pastejo</i>	14	57	66	75	78	96
	<i>Moderado</i>	24	51	58	67	70	95
	<i>Intenso</i>	19	43	47	49	65	80

⁽¹⁾ Valores retirados das curvas de regressão não lineares nos ciclos de soja de 2009/10 e 2010/11, ajustados para o período 2001 a 2015. Fonte: Adaptado de Assmann (2013).

O sistema soja-bovinos de corte em tela pode ser caracterizado como consolidado dentro dos princípios da agricultura conservacionista (semeadura direta). Ele apresenta fertilidade química do solo construída no tempo (sem problemas de acidez e com disponibilidade de nutrientes na faixa de suficiência), sem fatores físicos restritivos, com balanço positivo de C, alta atividade microbológica e bioquímica e alta qualidade funcional (agregação, diversidade microbiana funcional e índice de manejo de carbono-IMC) (ANGHINONI et al., 2015) e, como aqui apresentado, com alta ciclagem de nutrientes, especialmente no *pastejo moderado*, levando a se utilizar uma lógica diferente: a adubação do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disponibilidade e o padrão da ciclagem dos nutrientes minerais se constituem nos principais fatores que determinam a produção primária e, conseqüentemente, o estabelecimento e o desenvolvimento dos agro e ecossistemas. O seu padrão de funcionamento é tema relevante de

pesquisa principalmente por ser capaz de fornecer subsídios para o manejo adequado dos recursos da biosfera.

O animal, presente nos sistemas integrados de produção agropecuária, modifica os fluxos entre os compartimentos pela ingestão de nutrientes, via consumo da forragem, sua digestão e posterior retorno ao solo. Neste particular, o solo pode ser considerado a *memória* do sistema por ser o compartimento *centralizador* do processo e aquele que captura o sentido das modificações que nele se operam. O animal em pastejo é considerado o *catalisador* da ciclagem do material vegetal e modifica profundamente a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos do sistema.

Resultados do estudo da ciclagem de nutrientes afetada por diferentes manejos do pasto por bovinos em integração com a soja revelam altas quantidades de nutrientes liberadas (similares às adubações), tanto da fase pastagem para a soja, quanto desta para a pastagem. O *Pastejo moderado* (entre 20 e 30 cm de altura do pasto) resulta em quantidades maiores de nutrientes (N e K) disponibilizadas em relação ao *Pastejo intenso* (10 cm de altura do pasto) e ao *Sem pastejo*, sendo preferencialmente provindos da fração lábil dos resíduos. O manejo do pasto não afeta a dinâmica da ciclagem dos nutrientes dos resíduos da soja, a serem utilizados na fase pastagem.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, P.F. **Produção, qualidade e decomposição de papuã sob intensidades de pastejo e níveis de nitrogênio**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009. 98 p. Dissertação (Mestrado).
- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; REIS JUNIOR, F. B. **Os Grandes Ciclos Biogeoquímicos do Planeta**. Embrapa: Planaltina, 2004. 25 p. (Embrapa Documentos 119).
- ANGHINONI, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; SOUZA, E.D.; CONTE, O.; LANG, C.R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio-direto. In: FONSECA, A.; CAIRES, E.F.; BARTZ, G. (Org.). **Fertilidade do solo e plantas no sistema plantio direto**. Ponta Grossa, Fundação ABC, 2011. p. 272–309.
- ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S.E.V.A., et al. O solo no contexto. In: MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. S.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F. (Ed.). **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil: 15 anos de resultados**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. p. 51–70. (Boletim técnico, 2). ISBN: 978-85-67302-11-9.
- ASSMANN, J.M.; ANGHINONI, J.; MARTINS, A.P. et al. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2015. v. 50, p. 967–978.
- ASSMANN, J.M.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I. et al. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities insubtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 2017. v. 95, p.1–13.
- ASSMANN, J.M. **Ciclagem e estoque de nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto de longa duração**. Porto Alegre: UFRGS, 2013. 151 p. Tese (Doutorado).
- BORTOLLI, M. A. **Influência de períodos de pastejo em trigo duplo propósito sobre a decomposição e liberação de nutrientes da palhada em sistema de integração lavoura-pecuária**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010. 81 p. Dissertação (Mestrado).
- CARVALHO, P.C.F., ANGHINONI, I., MORAES, A. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88 p. 259–273, 2010.
- DELITTI, W. C. Estudo de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. In: STEVES, F.A (Org.), **Oecologia Brasiliensis**. v. 4, Rio de Janeiro: UFRJ, 1995. p. 469–486
- ERICKSSON, E. Compartment levels and the reservoir theory. **Rev. Ecology Systems**, v. 2 p. 67–83, 1971.
- HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, 1993. v. 49, p. 119-199, [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60794-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60794-4).

KOZELINSKI, S.M. **Produção de trigo duplo propósito e ciclagem de nutrientes em sistema de integração lavoura pecuária**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado).

KUNRATH, T.R.; MARTINS, A.P.; NUNES, P.A.A. et al. **Fase pastagem**. In: Martins, A.P.; Kunrath, T.R.; Anghinoni, I.; Carvalho, P.C.F (Org.). **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil: 15 anos de resultados**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. p. 31–42. (Boletim Técnico 2).

MARTINS, A.P.; KUNRATH, T.R.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F. . **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil: 15 anos de resultados**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. 101p. (Boletim Técnico 2).

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M. et al., Manejo do solo e de culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: Curi, N.; Marques, J.J.; Guilherme L.R.G. (Org.) **Tópicos Especiais em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2003. v. 3 p. 209–278.

MIRANDA, C. H. B. **Ciclagem de nutrientes em pastagens com vistas à sustentabilidade do sistema**. Campo Grande. 2002, 16 p.

MYERS, R. J. K.; PALM, C. A.; CUEVASI, E.; GUNATILLA,; BROSSARD, E. K. E. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: Woomer, P.L.; Swift, M.J. (Org.). **The Biological Management of Tropical Soil Fertility**, 1994. p. 81–116

SARAIVA, F.M. **Ciclagem de nutrientes em pastagens de gramíneas tropicais manejadas sob diferentes intensidades de pastejo**. Recife: UFRPE, 2010. 73 p. Dissertação (Mestrado)

SOUSSANA, J. F.; LEMAIRE, G. Coupling the carbon and nitrogen cycles through grassland management and crop-livestock integration. In: **2. International Symposium on crop-livestock Systems**. Porto Alegre, 2012. 16 p.

WIEDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, v. 63, p. 636–642, 1982.

WITKAMPF, M.; AUSMUS, B.S. Process in decomposition and nutrient transfer in forest systems. In: Proctor, J. (Org.) **The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes**. Oxford Blackwell Scientific Publications, 1976. p. 375–376.

Adubação de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária

Tangriani Simioni ASSMANN¹; André Brugnara SOARES¹; Alceu Luiz ASSMANN², Flávia Levinski HUF¹, Rosangela Corrêa de LIMA¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná / Campus Pato Branco; Departamento de Agronomia. e-mail: tangriani@utfpr.edu.br

² Instituto Agrônomo do Paraná / Pato Branco

System Fertilization on Integrated Crop Livestock Systems

Abstract – The concept of System Fertilization is based on the biological cycling of nutrients between the phases of a rotation system looking for to the maximum efficiency of nutrient use, reducing inputs, avoiding losses and maintaining soil fertility in the long term. This approach contrasts with the typical crop fertilization paradigm, which is most often made for grain crops. System Fertilization considers the fertilization transfer between all crops involved in rotation (pasture and agricultural crops). In the case of integrated crop livestock systems where animal production is conducted predominantly on pasture, it is known that animals can recycle N, P and K with efficiency. By using the concept of nutrient cycling in an applied way with System Fertilization philosophy, fertilization and liming recommendations become more economical, efficient and offer lower risks to the environment. It is worth noting that it is urgent to change paradigms of fertilization and liming recommendation methodologies, adapting this new paradigm to the edaphoclimatic and crop rotation conditions in the Brazilian tropical and subtropical regions.

Keywords: nutrient cycling. ammonia volatilization. nitrate leaching. integrated crop-livestock systems.

Resumo – O conceito de Adubação de Sistemas tem como base a ciclagem biológica de nutrientes entre as fases de um sistema de rotação buscando a máxima eficiência de uso de nutrientes, reduzindo entradas, evitando perdas e mantendo a fertilidade do solo a longo prazo. Esta abordagem contrasta com o típico paradigma de fertilização especificamente para uma cultura, a qual na maioria das vezes é feita para a cultura de grãos. A Adubação de Sistemas considera todas as culturas envolvidas na rotação (pastagens e culturas agrícolas) no esquema de transferência de fertilização entre os cultivos como uma componente chave. No caso de sistemas integrados de produção agropecuária em que a produção é realizada predominantemente a pasto sabe-se que os animais podem reciclar N, P e K com eficiência. Ao utilizar-se o conceito de ciclagem de nutrientes de maneira aplicada com filosofia de adubação de sistemas, as recomendações de adubações e calagem se tornam mais econômicas, eficientes e oferecem menores riscos ao meio-ambiente. Ressalta-se que se torna urgente a mudança de paradigmas de metodologias de recomendação de adubação e calagem, adequando esse novo paradigma às condições edafoclimáticas e de rotações de culturas vigentes nas regiões tropicais e subtropicais brasileiras.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes. Antecipação de adubação nitrogenada. volatilização de amônia. lixiviação nitratos. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária.

Como Citar (NBR 6023)

ASSMANN, Tangriani Simioni et al. Adubação de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). *Palestras: intensificação com sustentabilidade*. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 67–84. ISBN - 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.pb.utfpr.edu.br/coagr/eventos>>

INTRODUÇÃO

O conceito de Adubação de Sistemas tem como base a ciclagem biológica de nutrientes entre as fases de um sistema de rotação buscando a máxima eficiência de uso de nutrientes, reduzindo entradas, evitando perdas e mantendo a fertilidade do solo a longo prazo.

Esta abordagem contrasta com o típico paradigma de fertilização especificamente para uma cultura, a qual na maioria das vezes é feita para a cultura de grãos. A Adubação de Sistemas considera todas as culturas envolvidas na rotação (pastagens e culturas agrícolas) no esquema de transferência de fertilização entre os cultivos como uma componente chave. A transferência de nutrientes entre as culturas pode se dar diretamente via formas inorgânicas ou indiretamente via formas orgânicas resultantes dos processos de mineralização.

Tradicionalmente as recomendações de adubação são feitas considerando as necessidades e a eficiência de uso dos fertilizantes apenas para a cultura que está sendo implantada. O efeito residual destas fertilizações, bem como, as modificações que estas podem causar no sistema solo-planta-animal são raramente avaliadas como possível motivo para redução de aplicação de insumos.

Tal atitude tem sua fundamentação na interpretação de conceitos químicos tradicionais de fertilidade de solo e nutrição de plantas, os quais foram concebidos na sua maior parte em condições de sistema de plantio convencional e em clima temperado, onde a possibilidade de mais de um cultivo por ano agrícola é rara devido a condições de clima desfavorável para tal.

Apenas em algumas situações tem sido observada a antecipação de aplicação de macronutrientes, por exemplo, sobre uma cultura de adubação verde ou pastagens e, esta tomada decisão é guiada mais por fatores logísticos, tais como menor número de recarga da semeadora, do que devido a fatores técnico-científicos.

No caso de sistemas integrados de produção agropecuária em que a produção é realizada predominantemente a pasto (Integração Lavoura-Pecuária) sabe-se que os animais podem reciclar N, P e K com eficiência. Por outro lado, a produção de bovinos em confinamento pode resultar em grande perda de nutrientes, especialmente quando os dejetos animais não são manejados adequadamente. A reciclagem de dejetos animais resultantes dos sistemas agropecuários seria a melhor opção para integração dos sistemas de produção animal e de grãos, o que resultaria em uma redução de uso de fertilizantes e redução de possíveis contaminações ambientais.

A reciclagem de dejetos animais, em nível de propriedade ou em nível de região agrícola, pode ser feita via a coleta de resíduos de esterqueiras, cama de aviários por exemplo, e a posterior deposição destes resíduos em áreas agrícolas. Por outro lado, em áreas conduzidas em sistema integração lavoura-pecuária, o dejetos já é depositado diretamente no solo cultivado em uma determinada fase de tempo quando os animais se encontram em pastejo.

No Brasil tem-se observado que mesmo após a incorporação de tecnologias, tais como os sistemas de plantio direto e o sistema de integração lavoura-pecuária, os manuais de recomendação de adubação e calagem publicados no Brasil mantém a filosofia de recomendação de aplicação de fertilizantes para a cultura a ser semeada. Apenas pequenas reduções de aplicação de nutrientes são sugeridas se considerado um segundo cultivo ou sugere-se pequenas reduções de aplicação de adubação nitrogenada caso tenha sido cultivado uma leguminosa anteriormente.

Além disso, alguns manuais, recomendam aplicação de reposição de nutrientes, como por exemplo para o potássio, mesmo que este elemento já se apresente em elevada concentração no solo. Para as recomendações de adubação, via de regra consideram-se as quantidades de nutrientes exportadas e quase sempre, desconsideram-se as quantidades de nutrientes recicladas via a decomposição da palhada depositada sobre o solo. Desta forma, na prática, pouco é considerado do conceito de ciclagem e reciclagem de nutrientes para que recomendações de adubação e calagem sejam procedidas de forma mais racional.

No Sul do Brasil, muitos estudos têm confirmado o efeito residual de adubação de pastagens de inverno para culturas de grãos cultivadas em sequência, inclusive com possibilidades de omissão de adubação nitrogenada para o milho.

Assmann et al. (2003) constatou que a produtividade de grãos de milho cultivado posteriormente a uma pastagem de azevém e aveia foi de aproximadamente 10.000 kg ha⁻¹ de grãos de milho, sem estas plantas terem recebido adubações nitrogenadas de base e de cobertura. No mesmo experimento, quando o milho foi cultivado sobre pastagem não adubadas com nitrogênio, produtividades de grãos semelhantes (10.000 kg ha⁻¹) só foram obtidas com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, no estágio V5-V6 da cultura do milho.

Sandini et al. (2011) não constatou aumentos de produtividade milho (média de 13.000 kg ha⁻¹) resultantes da aplicação de N em cobertura em milho (estágio V5-V6) quando o milho foi cultivado em sequência a pastagem de aveia e azevém que havia recebido 225 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia.

Tais experiências demonstram o poder de construção da fertilidade do solo pela inclusão de pastagens no sistema de rotação, contudo este efeito é potencializado pela adição de fertilizantes durante a fase de pastejo. Quando forrageiras são cultivadas em sistema de integração lavoura-pecuária e não recebem a devida adubação, em especial a adubação nitrogenada e, na maioria dos casos, estão sujeitas a altas pressões de pastejo, têm-se observado redução do potencial produtivo do sistema bem como sinais iniciais de degradação de solo e ambiental.

Algumas condições específicas do Brasil são responsáveis pela possível mudança de paradigmas de recomendação de adubação.

Certamente a adoção do sistema de plantio direto e o uso predominante de plantas forrageiras como cultura de cobertura, a exemplo da aveia, foi um ponto preponderante para direcionar em parte do tempo, o uso de áreas exclusivamente agrícolas, para o uso de produção animal.

Nos sistemas de plantio convencional, a atividade de revolvimento do solo provoca a incorporação de oxigênio no perfil do solo, fazendo com que os processos de decomposição da matéria orgânica e mineralização de nutrientes sejam acelerado, ocasionando a disponibilização dos nutrientes na solução do solo antes que exista uma quantidade adequada de raízes de plantas que possam absorvê-los, deixando-os, desta forma, sujeitos aos processos de perdas de nutrientes, principalmente processos de lixiviação. Neste caso, os nutrientes mais sujeitos a perdas por lixiviação seriam o nitrogênio e o potássio.

Contudo ao utilizar-se uma área de plantio direto em sistemas de integração lavoura-pecuária e por condições climáticas específicas de nosso País, é possível, ter o solo coberto por plantas vegetando, praticamente, pelos 365 dias do ano. Ressalta-se que tal situação confere condições de aproveitamento dos nutrientes completamente diferenciada do que quanto o manejo de adubação é feito sobre uma palhada morta, por exemplo.

Assim, dentro da filosofia de adubação de sistemas, um novo conceito que deve ser incorporado é de que a cobertura do solo, além de permanente, deve ser o maior tempo possível composto por plantas vivas, fazendo fotossíntese e incorporando carbono ao solo. Aumentos dos teores de carbono no solo (sequestro de carbono) além de contribuir para a redução de gases efeito estufa (CO₂), fazem com que o solo fique menos suscetível à compactação, aumentando a capacidade de infiltração e retenção de água, diminuindo dessa forma processos de erosão e escoamento superficial.

As raízes de plantas forrageiras são agentes de ligação essenciais que ajudam no desenvolvimento de estrutura de solo estável e rica em porosidade, o que beneficia a infiltração de água no perfil do solo, melhorando desta forma o fluxo da água até os reservatórios de água subterrânea e diminuindo, conseqüentemente, a possibilidade de ocorrência de erosão causada por escoamento superficial (FRANZLUEBBERS et al., 2014).

Essa presença quase que constante de cobertura viva sobre o solo (Figura 1) faz com que os nutrientes sejam constantemente absorvidos pelas plantas e que fiquem ligados a compostos orgânicos, reduzindo desta forma as possibilidades de perdas dos mesmos.



Figura 1 – Momento de semeadura de milho sobre o resíduo de pastagem dessecada quimicamente no dia anterior ao plantio. À esquerda área de pastagem que não recebeu adubação nitrogenada, à direita, pastagem que recebeu 200 kg de N/ha durante o perfilhamento da aveia.

Por outro lado, em países de clima temperado, nos quais ocorre a presença de neve em determinado período do ano, o congelamento do solo paralisa a atividade microbiana, assim como o crescimento da maioria das plantas, fazendo com que o nutriente não seja assimilado pelos organismos do solo, deixando-os livre em sua forma mineral.

Somado a isto, no momento em que ocorre o degelo da água do solo, a qual encontra-se carregada de nutrientes, será facilmente escoada pelo perfil do solo devido o surgimento de fissuras provocadas pelo aumento de volume da água congelada do solo, fazendo com que grande parte dos nutrientes seja lixiviado e fique longe do alcance das raízes.

Além das características gerais dos sistemas integração lavoura-pecuária acima descritas, outros fatores que atuam com maior ou menor intensidade conforme o nutriente que está sendo utilizado e assim tem forte influência na metodologia de recomendação de adubação de sistemas.

A sustentabilidade dos sistemas de produção depende da adequação e balanço do suprimento de nutrientes em relação ao requerimento para a produção de um nível adequado de matéria seca para assegurar a qualidade nutricional das plantas e de animais herbívoros e o necessário retorno de matéria seca para o solo. Neste sentido, vem aumentando a inquietude de pesquisadores e difusores de tecnologia quanto o manejo de nutrientes e seu impacto sobre a qualidade ambiental e seus efeitos na composição da água e do ar. Bem como, a preocupação da manutenção dos sistemas de solo que possam sustentar a produção atendendo as necessidades de longo prazo.

RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO DE SISTEMAS

Vários resultados técnicos-científicos da eficiência de adubação de sistemas têm sido apresentados, inclusive da permanência das adubações nitrogenadas disponíveis para culturas que sucedem o cultivo de pastagens conforme descrito anteriormente. Contudo, na prática ainda reside à dificuldade de apresentação de indicadores robustos para assegurar que a redução da quantidade de aplicação de adubos não venha a acarretar reduções de produtividades.

Ao se fazer recomendação de adubação e calagem dentro da filosofia de adubação de sistemas, alguns dos conceitos clássicos de fertilidade do solo devem ser revistos e adaptados sob o foco da ciclagem de nutrientes.

Ainda que aparentemente o sistema de recomendação de adubação via manuais de recomendação de adubação e calagem possa ser considerado como o mais seguro dada sua constância, cabe ressaltar que para a elaboração destes manuais, mesmo as edições mais recentes, raras são as instituições que têm instalados experimentos de calibração de níveis críticos de nutrientes no solo e respostas de produtividade de culturas instalados à campo em rede em um Estado ou para uma Região de nosso País, sendo a recomendação feita via a repetição de informações produzidas 20 ou 30 anos atrás.

Algumas inovações são incluídas nestes manuais na tentativa de fazer uma recomendação de adubação que tente acompanhar as modificações na fertilidade de solo e nutrição mineral de plantas, provocadas pela adoção do sistema de plantio direto e do sistema de integração lavoura-pecuária. No entanto, a maioria destas adaptações mantém a metodologia de recomendação de adubação para um cultivo agrícola no ano e tratam a eficiência de uso dos fertilizantes e o conseqüente retorno deste nutriente para o sistema de forma igual para todos as culturas agrícolas, o que não é uma verdade, conforme demonstrado anteriormente neste capítulo.

Assim, a recomendação de adubação de sistemas constitui-se em uma recomendação muito mais dinâmica e sistêmica apoiada na interpretação do sistema de produção como um todo e não apenas leva em conta a interpretação de tabelas de recomendação de adubação e calagem.

Contudo, considerando que o efeito residual de adubações e calagem nos sistemas de produção agropecuária brasileiros são bem mais efetivos a possibilidade de aplicação de nutrientes de

forma isolada, fazendo com que não exista a necessidade do uso de formulados NPK nas operações de aplicação de adubação de base, comumente utilizadas no plantio de culturas produtoras de grãos.

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS – CALAGEM

Durante o processo de decomposição, os dejetos animais, além de fornecerem nutrientes também produzem compostos químicos que neutralizam elementos tóxicos e aumentam o pH do solo. Whalen et al. (2000) constataram que a adição de esterco de cavalo fresco aumentou o pH do solo de 4,8 até 6,0; provavelmente, isso se deveu à presença de CaCO_3 utilizado na dieta alimentar dos cavalos, o qual é excretado nos estercos (EGHBALL, 1999).

De forma semelhante ao calcário, o efeito do esterco animal sobre o pH do solo pode persistir durante muitos anos, uma vez que os compostos orgânicos liberados durante o processo de decomposição do esterco podem formar complexos com o Al, diminuindo sua fitotoxicidade (IYAMUREMYE et al., 1996).

A adição de material orgânico, seja resíduo vegetal ou animal, ao solo diminui o teor de Al trocável (HARGROVE; THOMAS, 1982; MIYAZAWA et al., 1993), o que pode ser explicado pelo aumento do pH do solo, ocasionando hidrólise do Al_3^+ , e pela complexação orgânica deste (MIYAZAWA et al., 1993). Essa complexação pode ser atribuída a duas reações químicas: pela formação de complexos orgânicos solúveis com os ácidos orgânicos (cítrico, tartárico, malônico, oxálico) presentes no material orgânico, que são lixiviados à camada inferior do solo, e pela formação de complexos insolúveis com as substâncias orgânicas de alto peso molecular, adsorvidas nas superfícies das partículas do solo (MIYAZAWA et al., 1998).

A neutralização do Al^{3+} e o aumento do pH além da camada superficial foram relatados por Hue; Amien (1989), após aplicação de esterco de animais no solo, e por Franchini et al. (1999), com extratos de resíduos vegetais. Resultados semelhantes foram obtidos por Hue; Licudine (1999) com aplicação de esterco de aves e lodo de esgoto no solo, atribuindo-se esse efeito à presença de compostos orgânicos, que aumentam significativamente no solo com a adição de grande quantidade de carbono. Ceretta et al. (2003) verificaram diminuição do Al trocável até 40 cm de profundidade, com aumento da matéria orgânica apenas na camada 0–5 cm, na dose de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de esterco líquido de suíno, em um Alissolo Crômico órtico típico. Assmann et al. (2007) constatou que a aplicação de dejetos líquidos de suíno em solo cultivado com aveia promoveu aumento do pH e reduziu os teores de Al no solo até 20 cm de profundidade.

Martins et al. (2014) constatou que independentemente da pressão de pastejo aplicada, depois de nove anos de uma calagem superficial realizada em área cultivada com o binômio soja – gado de corte, os menores valores de acidificação do solo foram observados nas áreas pastejadas. Ainda, estas apresentaram maiores valores de saturação por bases e menores valores de saturação de alumínio em todo o perfil do solo examinado (0-40 cm) quando comparados a áreas não pastejadas.

A presença da urina e fezes igualmente aumenta a população da mesofauna, especialmente os besouros coprófagos (rola-bosta) e minhocas. Estes organismos têm papel fundamental na construção de canais preferenciais no solo os quais são ocupados pelas raízes das plantas cultivadas. Estes mesmos canais possibilitam a maior infiltração de água e descida de nutrientes pouco móveis em profundidade.

Assim, tendo em vista o elevado potencial de correção de perfil do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária recomenda-se que as correções de acidez e alumínio sejam feitas com maior frequência, via a aplicação de menores quantidades de calcário em superfície e que sejam feitas mediante o monitoramento constante via amostragens de solos estratificadas em profundidade.

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS – POTÁSSIO

Por ser um elemento que apresente sua ciclagem quase que totalmente na forma mineral, grande parte do elemento potássio não faz parte da estrutura de compostos orgânicos de plantas, animais ou solos. Tal característica faz com que a disponibilidade do elemento no solo seja elevada, bem como a liberação do mesmo dos componentes vegetais e de resíduos animais, seja praticamente imediata quando comparada a liberação dos demais nutrientes.

Embora exista a preocupação em relação a perdas por lixiviação de potássio, principalmente em solos arenosos, deve-se ressaltar que em sistemas que mantenham uma boa quantidade de palhada sobre o solo, a qual servirá de reserva de K em seu tecido vegetal a adubação potássica pode ser antecipada sendo realizada totalmente, por exemplo na fase de cultivo de forrageiras de inverno como a aveia e azevém, ou este potássio pode ser aplicado totalmente na implantação, por exemplo de braquiárias.

É importante ressaltar que devido a alta velocidade de liberação de potássio dos tecidos vegetais em decomposição, quase que 80% do potássio é liberado, via processo de mineralização, em menos de 30 dias, o que leva a forte recomendação que áreas agrícolas com presença de resíduo vegetal não sejam deixadas em pousio.

Considerando que o potássio é o macronutriente que apresenta características de um ciclo mais mineral, a Figura 2 apresenta os valores de K e K₂O contidos nos compartimentos exportação grãos, palhada residual e solo. Desta figura observa-se que a reserva de K encontrada no solo a 20 cm de profundidade (312 kg/ha de K) e nos resíduos de palhada (90 kg/ha de K) deixados sobre o solo em sistema de plantio direto é de aproximadamente dez vezes maior que a quantidade exportada do nutriente via colheita (42 kg/ha de K).

Ressalta-se que a grande maioria das tabelas de recomendações de adubação orientam a aplicação de reposição de adubação potássica, mesmo quando os teores do nutriente no solo são superiores ao nível considerado crítico (0,3 cmol(c)/dm³ de K), tendo em vista a exportação do elemento.



Figura 2 – Quantidades de potássio (K) e óxido de potássio (K₂O) contidas nos compartimentos palhada, solo e exportadas em grãos de milho. Exportação de potássio no grão e de retorno de potássio via palhada adaptado de Coelho (2005)

Segundo Kurihara et al. (2013) a exportação de K em 4.500 kg/ha de soja é de 55 kg/ha e com um retorno na palhada de 114 kg/ha. Da mesma forma que o descrito para a cultura do milho, se somados as quantidades de potássio que é liberada pela palhada e quantidade de K de reserva no solo, encontra-se o valor de 426 kg/ha de K o que é aproximadamente oito vezes mais que quantidade de potássio exportada pela cultura.

Assim, o atual sistema de recomendação de adubação por cultura, em que a prática de fertilização de manutenção tem como meta a reposição das quantidades de K exportadas, está levando à aplicação de quantidades de potássio desnecessárias e que não resultarão em necessários acréscimos de produtividade.

Ressalta-se ainda que a profundidade de solo utilizada para o presente cálculo foi de 20 cm, contudo, muito das culturas utilizadas, principalmente as forrageiras, apresentam um sistema radicular bastante agressivo o que permite a absorção do potássio que se encontra localizado a profundidades inferiores aos 20 cm, recuperando-o desta forma, para que o cultivo subsequente possa vir a utilizá-lo.

Outra consequência indireta desta adubação de reposição da exportação de potássio no grão, é o aumento de custo de adubação e redução do número de hectares plantados em um mesmo período de tempo. Normalmente, a reposição do nutriente é feita em antecedência na adubação de base, no plantio, via a utilização de formulados NPK. No caso da utilização de formulados, acaba-se usando uma fonte cuja concentração individual de nutriente via de regra, é bem menor do que a concentração do mesmo nutriente quando se utiliza como fonte um adubo simples, o que acarretaria maiores custos por quilo do nutriente e em um menor rendimento de área plantada, uma vez que a recarga da caixa de adubo da semeadora deve ser realizada em maior intensidade.

Ao se fazer a recomendação de adubação de sistemas, usando os preceitos de ciclagem de nutrientes, pode-se realizar a aplicação de nutrientes de forma isolada, não havendo assim a necessidade de utilização de formulados. No caso do potássio, por exemplo, em sistemas de integração lavoura-pecuária, é recomendado que adubação do sistema, tanto para a fase de pastejo como para a fase de produção de grãos de um ano agrícola, seja feita em sua totalidade, com a aplicação na hora do plantio da cultura forrageira, usando como fonte um fertilizante de alta concentração de potássio, como por exemplo o cloreto de potássio (60% de K_2O).

A inclusão de animais em pastejo em uma área de integração lavoura-pecuária aumenta a eficiência de utilização dos nutrientes, uma vez que a exportação de nutrientes via produtos animais (carne, leite e outros) varia de 4 a 20% dos nutrientes absorvidos sendo esta quantidade bem menor do que a exportação observada em culturas produtoras de grãos.

Assim, grande parte dos fertilizantes aplicados na fase pastagem do sistema integração lavoura-pecuária, retorna na forma de urina e fezes. Desde que considerados os preceitos de pressões de pastejo adequadas, estes nutrientes retornarão ao solo e estarão disponíveis para absorção do cultivo posterior à fase pastagem.

O retorno de nutrientes via fezes varia, uma vez que a quantidade e a qualidade das excretas produzidas diariamente dependem do tamanho do animal, da dieta utilizada e das condições ambientais. Entretanto, Haynes e Williams (1993), afirmam que um animal é responsável em média pela liberação de aproximadamente 20 kg de fezes por dia com um teor de matéria seca de aproximadamente 15%. Assim, considerando uma carga animal de três animais por hectare e um período de pastejo de 105 dias, tem-se uma produção e deposição de esterco de 945 kg de matéria seca. A partir deste valor e considerando os valores iniciais de nutrientes do esterco de 35,5; 3,5; 22,2; 3,5 e 2,2 g de N, P, K, Ca e Mg em cada kg de MS de esterco, respectivamente, estima-se que o retorno de nutrientes via fezes tenha sido de 33 kg de N, 3,3 kg de P, 21 kg de K, 3,31 kg de Ca e 2,1 kg de Mg, armazenados na matéria seca do esterco. Ainda, no que diz respeito ao N e K uma quantidade maior é ciclada via urina. A partir dos dados de Bernardon (2016), pode-se estimar que a quantidade de K que retorna via fezes, mas principalmente via urina, é de aproximadamente 230 kg/ha de K, o que certamente asseguraria os teores de potássio do solo por um bom período de tempo.

Ao utilizar-se a filosofia de adubação de sistemas estes compartimentos passam a ser preponderantes para que as recomendações de adubações e calagem se tornem mais econômicas, eficientes e que ofereçam menores riscos ao meio-ambiente.

RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO DE SISTEMAS – FÓSFORO

Devido a presença de elevados teores de óxidos-hidróxidos de Al e Fe nos solos brasileiros e o poder de fixação do fósforo por estas frações minerais do solo, normalmente recomenda-se a aplicação do fertilizante em linha quando as adubações são realizadas via a aplicação de fosfatos acidulados (super-simples, super-tríplo, fosfato monoamônio, fosfato diamônio). Uma vez que, estes fosfatos apresentam característica de liberação rápida e, caso o fossem aplicados à lanço aumentar-se-ia a possibilidade de contato no solo, com os óxidos-hidróxidos de Al e Fe o acarretaria a indisponibilidade do nutriente.

Assim, recomendações de antecipação de adubações fosfatadas para a fase de pastejo em um sistema de integração lavoura-pecuária poderiam contribuir teoricamente para uma maior imobilização do fósforo, devido ao maior tempo que este elemento poderia estar em contato com o solo.

Por outro lado, algumas evidências vêm sendo apresentadas mostrando que o pastejo em áreas SILP aumenta a biodisponibilidade do P no solo e reduz a presença de formas orgânicas de P mais recalcitrantes (DEISS et al., 2016) o que poderia resultar em um melhor aproveitamento do mesmo pela cultura subsequente.

Tal situação possibilitaria a antecipação de adubações fosfatadas para culturas agrícolas para a fase de pastejo em SILP. Recomenda-se neste caso que parte da fertilização fosfatadas possa ser realizada com fosfatos não acidulados, mas que apresentem maiores disponibilidade, tais como termofosfatos e fosfatos oriundos de rochas sedimentares.

MANEJO DE ADUBAÇÕES NITROGENADAS

Provavelmente entre os três macronutrientes, o nitrogênio é o elemento que apresenta metodologia de recomendação de adubação feita de forma mais incipiente. Recomendações de fertilizantes nitrogenados devem assegurar altas produtividades e a preservação ambiental, pontos vitais para que a agricultura brasileira seja competitiva no mundo moderno.

Além do conceito de ciclagem de nutrientes ser pouco explorado nos sistemas agropecuários brasileiros, observa-se uma tendência, tanto dos técnicos de campos como de pesquisadores, superestimarem perdas de nutrientes por lixiviação (N e K) e por volatilização (N). Poucos são os estudos realizados em sistemas integrados de produção agropecuários, que estimem os reais valores de perdas. Menores ainda são os estudos de perdas de N em sistemas de integração lavoura-pecuária.

Considerando-se que todas as outras condições de fertilidade de solos (saturação de bases, Al tóxico neutralizado, disponibilidade de P e K, etc.) estejam em níveis adequados a aplicação de fertilizantes nitrogenados em gramíneas forrageiras será a ação que mais resultará em retorno econômico.

No Estado do Paraná, foi avaliado o efeito da inclusão de trevos e a aplicação de nitrogênio sobre a produção animal e de forragem em sistemas ILP. O ganho médio diário, durante 89 dias de pastejo foi de 1.280 kg/animal/dia, valor este comparado aos ganhos diários obtidos em confinamento. O ganho de peso vivo ao final do período de pastejo foi de 379,6; 404,8 e 541,5 kg/ha e a produção de matéria seca total foi de 7.348; 9.275 e 12.058 kg/ha, respectivamente nas parcelas cultivada apenas com aveia; nas parcelas que receberam inclusão de leguminosa e nas parcelas que receberam 200 kg/ha de N (ASSMANN et al., 2010).

Em um sistema de integração lavoura-pecuária foi avaliada a influência da aplicação de nitrogênio em uma pastagem composta por azevém e aveia. Constatou-se que o aumento das doses de N aplicadas de 0 a 300 kg/ha de N provocaram aumentos no ganho de peso vivo animal de 480 para 656 kg/ha durante 93 dias de pastejo (ASSMANN et al., 2004).

Na Figura 3 constata-se que a aplicação de 200 kg/ha de N na forma de ureia sobre pastagem de azevém tetraploide em sistema integração lavoura-pecuária possibilitou um ganho de aproximadamente 190 kg/ha de peso vivo em um período de pastejo de 28 dias e permitiu uma lotação animal de 7,4 unidades animais por hectare. Enquanto que, na mesma pastagem, quando esta não recebeu adubação nitrogenada o ganho de peso vivo por hectare durante o período de pastejo foi de aproximadamente 31 kg e permitiu uma lotação de 0,77 unidades animais/ha. Provavelmente, ao final do período de pastejo do sistema, o ganho de peso animal será suficiente para custear o valor gasto em adubação nitrogenada.



Figura 3 – Lotação animal, ganho de peso médio diário por animal e ganho de peso vivo por hectare em um período de 28 dias de pastejo em área cultivada com azevém tetraploide em área de integração lavoura pecuária. Dados não publicados - Barriga, P.A.B. (2016).

Ainda, a pesquisa brasileira é rica em apresentar evidências de que utilização de N provoca aumentos significativos de produção de matéria seca e melhoria de qualidade da forrageira. Sartor et al. (2014) constataram que a aplicação de 200 kg/ha de N resultaram em uma produtividade de 19.834 kg/ha de N de massa seca de Papuã, por sua vez, quando o N não foi aplicado, constatou-se uma produção de 13.659 kg/ha de matéria seca de papuã. Alguns estudos mostram o mesmo efeito resultante da aplicação de N, tais como Lançanova et al. (1988) e Martins et al. (2000).

Contudo, uma das principais características das adubações nitrogenadas quando aplicadas em sistema de integração lavoura-pecuária, é que além da agregação de ganhos com a produção animal, o efeito residual do nitrogênio aplicado nas pastagens pode vir a reduzir ou mesmo eliminar a necessidade de aplicação deste elemento em cultivos posteriores de gramíneas, como por exemplo o milho.

De acordo com Vendramini et al. (2014) a ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção consiste em uma importante fonte de nutrientes e melhora a eficiência de uso de nutrientes. Neste contexto, no Sul do Brasil, muitos estudos têm confirmado o efeito residual de

adubação de pastagens de inverno para culturas de grãos cultivadas em sequência a pastagens, inclusive com possibilidades de omissão de adubação nitrogenada para o milho.

PRINCÍPIOS DE ADUBAÇÃO DE SISTEMA NITROGENADA

A possibilidade de que a aplicação de nitrogênio realizada em uma cultura anterior possa ser utilizada pelo cultivo posterior vai de encontro ao clássico conceito de necessidade de parcelamento de adubação nitrogenada, uma vez que tal elemento estaria sujeito a intensos processos de perdas. Assim, o efeito residual deste elemento tradicionalmente é considerado irrisório o que obrigaria sua reposição constante.

Tal conceito é perfeitamente aceitável quando analisado sob o enfoque exclusivamente químico de fertilidade do solo, contudo a partir da adoção de sistemas mais conservacionistas de manejo, o solo passou a ser enxergado como um organismo vivo, cujo fator biológico é preponderante para melhoria da eficiência de uso e economia de aplicação de insumos, bem como redução de contaminações ambientais.

Um dos principais pontos a ser considerado para recomendação de adubações de sistemas agropecuários é que as culturas forrageiras são mais eficientes no uso de fertilizantes nitrogenados minerais. Em estudo conduzido em duas localidades, durante três anos em que foram aplicados 90 kg/ha em pré-plantio, constatou-se que nos sistemas de produção de forrageiras a eficiência de uso de nitrogênio (EUN) foi de 77% comparado a uma EUN 31% dos sistemas de produção de grãos (THOMASON, 1998).

Estes valores indicam que as perdas de N, seja por volatilização da amônia ou por lixiviação de nitratos tendem a ser menores as que são propagadas em literatura ou mesmo pela assistência técnica.

Em avaliação de perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, em sistema de integração lavoura-pecuária, foi constatado que as perdas acumuladas de N, via volatilização de amônia, foi de 1,3%, mesmo quando 200 kg/ha de nitrogênio, na forma de ureia, foram aplicados sem parcelamento, na fase de perfilhamento do azevém. Nas parcelas em que o N não foi aplicado as perdas acumuladas aos 14 dias, foram de aproximadamente 0,5%. Da mesma forma, quando avaliado na cultura da aveia no ano subsequente, as perdas foram inferiores a 1% do N aplicado na forma de ureia, na dose de 200 kg/ha (LIMA et al., 2017a). Em estudo realizado por Viero et al. (2014), na região centro-sul do Paraná, na cultura do trigo em SPD, foi constatado perdas de N por volatilização de amônia a partir de ureia, e de outros fertilizantes nitrogenados, sendo estes inferiores a 5,5% do N aplicado.

Outro ponto que comumente costuma-se superestimar perdas por volatilização de amônia, são em pontos de micção de bovinos, uma vez que a concentração de nitrogênio depositado nestes pontos é elevada. Contudo, avaliações realizadas nos pontos de micção de urina bovina em sistema de integração lavoura-pecuária nas mesmas condições do estudo relatado anteriormente, constatou-se que o tratamento que recebeu adubação nitrogenada na pastagem, conduzido sob uma alta pressão de pastejo, apresentou as menores perdas por volatilização de amônia. Isso se deve, possivelmente, à maior demanda em absorção de nutrientes pelas plantas de azevém quando conduzidas em baixa altura (BA), uma vez que estão submetidas a constante desfolha mediante pastejo, o que maximiza a absorção de nutrientes visando a reposição da parte aérea, o que estimula o crescimento radicular e com isso a absorção de N (LIMA et al., 2017b).

E ainda, em estudos realizados na cultura do feijoeiro (verão de 2016/2017), cultivado na sequência da pastagem, mesmo na maior dose (150 kg de N/ha) as perdas de N na forma de amônia foram baixas, média de 1,6 kg/ha de NH₃. Isso representa menos de 2% do total de N aplicado. Esses resultados mostram que um correto manejo de solo, água, planta e animal auxilia a manutenção de nutrientes no solo, impedindo que este seja perdido do sistema e também indicam que se a porcentagem de perdas por volatilização de amônia foi pequena, dessa forma o N aplicado pode estar

ciclando e sendo ocupado em maior intensidade nos diversos compartimentos do sistema (LIMA et al., 2017c).

Por outro lado, Rojas et al. (2012) constataram perdas por volatilização de amônia de 18% quando o nitrogênio foi aplicado no milho cultivado em sistema de plantio direto. Esta maior perda está relacionada a presença de maior quantidade de matéria seca de plantas de cobertura. O uso de plantio direto aumentará os teores de matéria orgânica do solo (BAYER et al., 2000) e a atividade da biomassa microbiana (VARGAS et al., 2005), especialmente na camada superficial podendo ocasionar uma maior atividade da urease e potencializando desta forma as perdas por volatilização da amônia.

Embora, por concepção os sistemas de integração lavoura-pecuária devam ser conduzidos igualmente em manejo de plantio direto, inclusive para implantação das culturas forrageiras, o que, somado a presença de animais potencializaria ainda mais a atividade biológica dos solos, existem algumas características inerentes ao sistema ILP que justificam a maior eficiência de uso das adubações nitrogenadas aplicadas na fase de pastejo e o efeito residual destas adubações para a cultura subsequente.

A maior habilidade em aproveitamento da adubação nitrogenada por plantas forrageiras pode ser atribuída as seguintes características: (a) o espaçamento entre linhas das pastagens (17 cm) é menor que o espaçamento da maioria das culturas de grãos, como por exemplo o milho (45 cm). O menor espaçamento entre linhas observado no cultivo de pastagens aumenta a probabilidade de contato das raízes com os fertilizantes aplicados, inclusive e principalmente no caso de aplicação de nitrogênio em cobertura (Figura 4); (b) o pastejo aplicado sobre as forrageiras implica no rebrote das mesmas, tal fato incrementa a necessidade de absorção de nutrientes evitando desta forma possíveis perdas dos mesmos; (c) a exportação de nutrientes via produtos animais (carne, leite e outros) varia de 4 a 10% dos nutrientes absorvidos (SIMPSON; STOBBS, 1981) sendo esta quantidade bem menor do que a exportação observada em culturas produtoras de grãos; (d) o intervalo de tempo para aplicação de adubações nitrogenadas em pastagens é maior do que por exemplo em milho, o que possibilita que a aplicação seja feita sempre em condições climáticas mais propícias para o melhor aproveitamento do nitrogênio proveniente dos fertilizantes (e) no caso dos sistemas ILP subtropicais a aplicação de adubação nitrogenada em pastagens que normalmente são cultivadas nos períodos de outono/inverno se dá em melhores condições climáticas, uma vez que as temperaturas médias observadas são mais baixas. Além disso, na fase pastagem existe um maior sombreamento dos grãos de ureia aplicados, resultando em um microclima menos favorável as perdas (Figura 4); (f) e para o caso das pastagens tropicais cultivadas em ILP o maior aproveitamento de uso de adubações, principalmente a nitrogenada, é assegurado pela maior eficiência de fixação de carbono, uma vez que a grande maioria das forrageiras tropicais é constituída por plantas C4.

Contudo, no Brasil, a aplicação de N em culturas forrageiras, em muitos casos não é feita ou então, este elemento é aplicado em pequenas quantidades, situação contrária ao observado nos países europeus e nos Estados Unidos da América.

O conceito de adubação de sistemas implica que a adubação feita para uma dada cultura, não vai apenas servir para a mesma, mas também vai ter seu efeito refletido nas culturas sucessoras. Sob este enfoque o solo, principalmente sua comunidade microbiológica, passa a ser a interface entre as etapas de cultivo.



Figura 4 – Aplicação de ureia em feijão (A) e aplicação de ureia em azevém cultivados sobre resíduos de milho (B).

Em determinadas fases de cultivo pode-se observar visualmente, devido a modificações de coloração no tecido foliar, o efeito residual da adubação nitrogenada. A Figura 1 mostra o momento do plantio de milho sobre o resíduo de uma pastagem, sendo que a esquerda, de coloração amarelada mais clara, encontra-se uma pastagem de aveia que não recebeu adubação nitrogenada e a direita, a parcela da pastagem que recebeu adubação nitrogenada, no perfilhamento da aveia. Assim, conceitos como a curta permanência da adubação nitrogenada em um sistema, o que justificaria o parcelamento de doses, devem ser revistos.

Esse efeito residual da aplicação de nitrogênio em áreas pastejadas confere características particulares ao solo, as quais refletirão nas condições de fertilidade do solo, da nutrição das plantas e finalmente sobre a produtividade das culturas e do sistema como um todo.

O efeito residual da adubação nitrogenada de pastagem para cultivos posteriores de grão pode ser constatado, por exemplo, nos teores de N-NO₃ no momento da aplicação de adubação de cobertura conforme demonstrado na Figura 5 (ASSMANN et al., 2003).

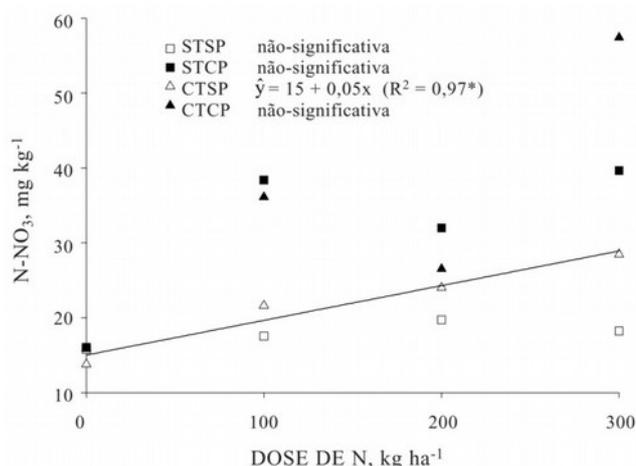


Figura 5 – Teores de N-NO₃ no solo determinados antes da aplicação de adubação de cobertura no milho (estágio V4/V5) em função de doses de nitrogênio aplicadas na fase de cultivo de pastagem (outono/inverno) nas parcelas Sem Trevo-Sem Pastejo (STSP); Sem Trevo-Com Pastejo (STCP); Com Trevo-Sem Pastejo (CTSP); Com Trevo-Com Pastejo (CTCP);

Quando o N na fase pastagem não foi aplicado, não foram observadas diferenças entre presença e ausência de trevo e, ou, pastejo. Por outro lado, conforme as doses de N eram aplicadas no outono/inverno (N-TI), as diferenças provocadas pelos tratamentos aumentaram, tendo sido a maior disponibilidade de N-NO₃ observadas nas áreas com trevo, pastejadas anteriormente (CTCP) e que receberam 300 kg ha⁻¹ de N. Isso evidencia que a presença de trevo e pastejo simultaneamente estabilizou a permanência de teores N-NO₃ os quais foram 3,1 vezes maiores que naquelas áreas que apenas receberam a mais alta dose de N, mas não foram pastejadas nem apresentavam trevo em sua composição botânica (STSP).

Ainda, experimento de ILP sob o cultivo de azevém após a cultura da soja, parcelas que receberam adubação nitrogenada no perfilhamento da pastagem (N-Adubação Pastagem), independentemente do manejo da altura de pasto (Alta ou Baixa Altura de Pasto), apresentaram maiores teores de N-NO₃ dez dias após a aplicação de ureia (PICOLOTTO JUNIOR et al., 2017). As condições adequadas de aplicação em conjunto ao ambiente favorável a microbiota do solo proporcionou a rápida transformação dos grânulos de ureia, evitando perdas. Uma vez que, no mesmo estudo não foram visualizadas perdas de N-NO₃ por lixiviação em avaliação até 60 cm de profundidade do solo, onde houve uma única aplicação de 200 kg de N/ha. Desse modo, as parcelas manejadas com adubação na pastagem apresentaram quantidades suficientes de N disponível no solo para o desenvolvimento da planta, principalmente na camada superficial do solo.

Contudo, as parcelas que não receberam adubação nitrogenada na fase pastagem (N-Adubação Grãos) obtiveram baixos teores de N-NO₃, demonstrando que a fixação biológica de N pela

soja não apresenta a capacidade de manter um efeito residual de N após seu cultivo (PICOLOTTO JUNIOR et al., 2017).

A contribuição da adubação nitrogenada na pastagem e do pastejo dos animais é visível durante a transição da fase pastagem para lavoura, devido à manutenção de teores de N-NO₃ elevados nas parcelas que receberam adubação nitrogenada na pastagem, indiferente do manejo de altura de pasto (RINTZEL et al., 2017a). A resposta da pastagem à adubação nitrogenada é evidenciada em conjunto com o pastejo dos animais, uma vez que, a adubação proporciona o aporte ao maior desenvolvimento fisiológico da planta, aumentando sua massa verde e reduzindo a relação C/N. Por sua vez, o N determina a atividade e o crescimento dos microrganismos no solo que mineralizam o carbono orgânico da palhada, influenciando a taxa de decomposição e mineralização da mesma (FOLLONI, 2016). Desse modo, a ciclagem de nutrientes dentro do sistema é beneficiada pelo aporte de dejetos animais em maior quantidade nas parcelas que receberam adubação nitrogenada na pastagem.

Esta condição de maior disponibilidade de N-mineral no solo se refletirá no estado nutricional da cultura a ser implantada na sequência. Em áreas que foram cultivadas com pastagem e que receberam adubação nitrogenada existe a tendência dos teores de N-mineral no solo manter-se acima do nível crítico mesmo no momento da implantação da cultura de grãos, como por exemplo o milho. Neste caso, as plantas começam a desenvolver-se em um ambiente sem restrições nutricionais de N. Por outro lado, plantas de milho cultivadas em áreas que não receberam adubação nitrogenada durante o cultivo de pastagens, mesmo que recebam adubação nitrogenada de base, tenderão a se desenvolver em um ambiente nutricional menos propício o que poderá comprometer componentes de rendimento da cultura que já são definidos na fase inicial de desenvolvimento da cultura.

O reflexo da maior disponibilidade de N-mineral no solo é visto dezoito dias após a adubação nitrogenada na cultura de grãos, nesse caso o milho, em que a adubação nitrogenada combinada a Baixa Altura de Pasto proporcionaram aumento significativo nos teores de N-NO₃ no solo (RINTZEL et al., 2017b). Assim, a possibilidade de manter maior carga animal na pastagem fez com que tivesse maior ciclagem de nutrientes, devido à concentração maior de dejetos animais na área.

RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO DE SISTEMAS – NITROGÊNIO

Na concepção de Adubação de Sistemas o nitrogênio, devido sua estreita ligação junto ao ciclo de carbono, é o elemento químico que tem o poder de provocar as maiores alterações na ciclagem de nutrientes, não só sobre ele mesmo, mas também afetando a ciclagem de outros nutrientes, bem como tem forte impacto sobre conservação dos teores de matéria orgânica no solo.

Justamente por essas características a grande variação de formas químicas em que o nitrogênio pode estar presente no solo, a recomendação de adubação deste nutriente é bastante complexa.

Atualmente utiliza-se como “suporte” a recomendação de adubação nitrogenada, os teores de matéria orgânica no solo e se a cultura cultivada anteriormente foi uma leguminosa ou gramínea. Contudo, via de regra, as possíveis reduções de aplicação de adubações nitrogenadas resultante de maiores teores de matéria orgânica no solo ou devido ao cultivo anterior ser uma leguminosa, são desconsideradas e os produtores acabam aplicando uma dose constante de adubos nitrogenados.

Considerando que em nosso País poder-se-ia reduzir uma grande quantidade de adubações nitrogenadas caso os profissionais pudessem contar com indicativos robustos para recomendação de fertilização nitrogenada, o mais adequado para aprimorar a metodologia de recomendação de adubação seria a combinação de três parâmetros que atualmente não são comumente utilizados, sendo dois de solo e um de avaliação nutricional de plantas que poderiam constituir-se em uma indicação segura para esta recomendação.

Assim, recomenda-se o início da implementação da combinação de avaliação destes três parâmetros para recomendação de quantidade total ou reduções de adubação nitrogenada:

1. Teores de nitrato (NO₃-N) no solo, estágio V4-6 da cultura do milho

Este teste de solo é largamente utilizado no Estados Unidos para proceder a recomendação de adubação nitrogenada, contudo tal prática não foi adotada pelo Brasil. Conhecido no EUA como *Presidedress Nitrogen Test* (PSNT), o que poderia ser traduzido como Teste de Nitrogênio Pré Aplicação de Adubação de Cobertura. Este teste constitui-se em avaliação dos teores de N-NO₃ no solo quando as plantas de milho se encontram nos estágios V3 e V6 de desenvolvimento. O PSNT foi desenvolvido originalmente para ajudar na estimativa da disponibilidade de N no solo quando dejetos animais eram aplicados ou quando o milho era cultivado em rotação com leguminosas. O objetivo deste teste é identificar as áreas de cultivo de milho em que não haveriam respostas de aumento de produtividade no caso de aplicação suplementar (N de cobertura) de adubações nitrogenadas.

Contudo, principalmente para os solos brasileiros, persiste a necessidade de estudos para calibração das recomendações de adubação nitrogenada tendo como base este teste. Atualmente nos EUA tem-se adotado o consenso de que o nível crítico de N-NO₃ no solo a ser adotado na camada de 0-30 cm de profundidade é de 30 mg de N-NO₃/kg de solo quando o milho se encontra entre os estágios V3 e V6 de desenvolvimento. Segundo nossos estudos esse mesmo nível poderia ser adotado para os Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária no Brasil. Conforme observado quanto aos teores de N-NO₃ no solo (Figura 5), na camada de 0-20 cm de profundidade de amostragem, mantiveram-se próximos ou superiores ao nível crítico de 30 mg/kg de N-NO₃ nas parcelas pastejadas e que receberam pelo menos durante o cultivo da forrageira 100 kg/ha de N na forma de ureia.

Ressalta-se que não foram constatados aumentos de produtividade provocados pelas adubações nitrogenadas de cobertura no milho cultivado nas parcelas que receberam 200 ou 300 kg/ha de N durante o cultivo pastagem. Já nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada durante o cultivo de pastagem, e em que se observou um teor de N-NO₃ de aproximadamente 15 mg/kg deste composto no solo, o que corresponde à metade do nível apontado como crítico, constatou-se aumentos de produtividade de grãos de milho resultante da aplicação de adubação nitrogenadas de cobertura na cultura do milho.

Embora a indicação de um possível nível crítico de N-NO₃ no solo possa ser de 25-30 mg/kg de solo, ainda existe a necessidade de desenvolvimento de pesquisas que permitam estipular a quantidade de N a ser recomendada quando os teores observados no solo forem inferiores a este nível crítico previamente determinado.

2. Fluxo de CO₂ após reidratação do solo antes da implantação da cultura

No caso de recomendações de adubação nitrogenada, além da determinação dos teores minerais disponíveis torna-se necessária a inclusão de um parâmetro que possam refletir o potencial de fertilidade biológica e de mineralização da matéria orgânica no solo. Neste caso a avaliação da quantidade de CO₂ liberada do solo (respiração do solo) é um excelente indicador da disponibilidade de nutrientes principalmente N.

3. Índice nutricional nitrogenado

Uma forma de avaliar o estado nutricional nitrogenado de uma cultura em seu estágio inicial de crescimento é via curvas de diluição de nitrogênio. Segundo Lemaire (1997) quando concentrações de N na parte aérea de plantas em função do acúmulo de matéria seca estão acima às calculadas para plantas C4 ou plantas C3, estas plantas encontram-se bem nutridas e pode estar ocorrendo um consumo de luxo do nutriente. Por outro lado, se a concentração de N se encontra abaixo desta curva provavelmente as plantas estão passando por um processo de deficiência do nutriente.

Em estudos realizados no Brasil a metodologia de avaliação do estado nutricional nitrogenado via curvas de diluição vem se demonstrando uma ferramenta robusta para diagnose de suficiência ou carência de nitrogênio em plantas de milho e em forrageiras, conforme trabalhos realizados por Sartor et al. (2014) estudando *Urochloa plantaginea*, Bernardon (2016) estudando

azevém e por Maccari (2016) estudando a cultura do milho cultivada em sequência a pastagem em sistema integração lavoura-pecuária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil é um grande produtor de alimentos para o mundo, sejam estes de origem vegetal ou animal. Possui o maior rebanho bovino do mundo e características edafoclimáticas diferenciadas que permitem a intensificação dos sistemas produtivos de forma sustentável.

Contudo, o uso de modelos de adubação no Brasil ainda tem como base sistemas de recomendação que tiveram sua origem em países de clima temperado, cuja recomendação é direcionada para um único cultivo, considerando as necessidades e a eficiência de uso dos fertilizantes apenas para a cultura que está sendo implantada. O efeito residual destas fertilizações, bem como, as modificações que estas podem causar no sistema solo-planta-animal são raramente avaliadas como possível motivo para redução de aplicação de insumos. Tal fato reduz a eficiência do uso dos fertilizantes pelas plantas, aumenta o custo de produção e os riscos de contaminações ambientais.

Aliar a exploração pecuária, principalmente a pasto, com a produção de grãos aumenta em muito a eficiência de produção de nosso País, mas exige que novos paradigmas técnico-científicos sejam desenvolvidos visando o maior aproveitamento dos insumos aplicados em uma propriedade.

O custo de adubações tem aumentado dramaticamente durante a década passada. Até pouco tempo, o preço dos grãos também vinha aumentando e isto tinha possibilitado a expansão de áreas com cultivos de grãos. Contudo esta expansão de produção de grãos, entre outros fatores, acarretou uma diminuição do valor de comercialização de grãos o que implica na redução da margem de lucro dos produtores rurais.

Assim, é de fundamental importância a adoção de sistemas de cultivo que maximizem a absorção do nutriente pelas plantas e que minimizem os processos de perdas. Certamente os processos de ciclagem de nutrientes têm papel fundamental no aumento de eficiência dos sistemas de cultivo.

Ao utilizar-se o conceito de ciclagem de nutrientes de maneira aplicada com filosofia de adubação de sistemas, as recomendações de adubações e calagem se tornam mais econômicas, eficientes e oferecem menores riscos ao meio-ambiente. O conceito de adubação de sistemas tem como base a ciclagem biológica de nutrientes entre as fases de um sistema de rotação buscando a máxima eficiência de uso de nutrientes, reduzindo entradas, evitando perdas e mantendo a fertilidade do solo a longo prazo.

Assim, é urgente a mudança de paradigmas de metodologias de recomendação de adubação e calagem, adequando esse novo paradigma às condições edafoclimáticas e de rotações de culturas vigentes nos trópicos e subtópicos brasileiros.

REFERÊNCIAS

- ASSMANN, A. L., PELISSARI, A., MORAES, A. DE; ASSMANN, T. S. Produção de Gado de Corte e Acúmulo de Matéria Seca em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária em Presença e Ausência de Trevo Branco e Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 37–44, 2004.
- ASSMANN, T. S.; ASSMANN A. L.; SOARES, A. B.; CASSOL, L. C.; GIASSON, M. S.; GIASSON, N. F. Fixação biológica de nitrogênio por plantas de trevo (*Trifolium*spp) em sistema de integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 1435–1442, 2007.
- ASSMANN, T.S.; RONZELLI, J.R.P.; MORAES.A.; ASSMANN, A.L.;KOEHLER, H.S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 675–683, 2003.

ASSMANN, T.S.; RONZELLI, J.R.P.; MORAES, A.; ASSMANN, A.L.; KOEHLER, H.S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 675–683, 2003.

ASSMANN, T.S.; ASSMANN, A.L.; ASSMANN, J.M.; SOARES, A.B.; BORTOLLI, M.A. Produção de gado de corte e de pastagem de aveia em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 7, p. 1387–1397, 2010.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 54, p. 101–109, 2000.

BERNARDON, A. **Altura do pasto e adubação nitrogenada sobre a produção de forragem e eficiência no uso de nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2016. 96p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R.; VIEIRA, F.C.B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 729–735, 2003.

DEISS, L.; MORAES, A. DE.; DIECKOW, J.; FRANZLUEBBERS, A. J.; COLPO, L.; CARVALHO, P. C. F. Soil phosphorus compounds in integrated crop-livestock systems of subtropical Brazil. *Geoderma*, v.274, p.88–96, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.028>

EGHBALL, B. Liming effects of beef cattle feedlot manure or compost. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 30, p. 2563–2570, 1999.

FOLONI, J.S.S.; CATUCHI, T.A.; BARBOSA, A.; CALONEGO, J.C.; TIRITAN, C.S. Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milho submetido à adubação nitrogenada. **Agro@ambiente**, v. 10, p. 1–9, 2016.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MALAVOLTA, F. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos vegetais de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2267–2276, 1999.

FRANZLUEBBERS, A.J.; SAWCHIK, J.; TABOADA, M. Agronomic and environmental impacts of pasture–crop rotations in temperate North and South America. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 18–26, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.017>

HARGROVE, W.L.; THOMAS G.W. Extraction of aluminum from aluminum-organic matter complexes. **Soil Science Society of America**, v. 45, p. 151–153, 1982.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v.49, p.119–199, 1993.

HUE, N.V.; AMIEN I. Aluminum detoxification with green manures. **Communications In Soil Science And Plant Analysis**. v.20, p.1499–1511, 1989.

HUE, N.V.; LICUDINE, D.L. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manures. **Journal of Environmental Quality**, v. 28, p. 623–632, 1999.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R.O.; BAHAM, J. Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. **Soil Science Society of America** v. 161, p. 426–435, 1996.

KURIHARA, C. H.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; STAUT, L.A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, v. 60, p. 412–419, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2013000300015>.

LANÇANOVA, J. A. C.; RESTLE, J.; SANTOS, G. L. Produção e qualidade do capim papuã (*Brachiariaplantaginea*) sob efeito de frequências de corte e nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 18, p. 343–354, 1988.

LEMAIRE, G. Diagnosis of the nitrogen status in crops. Berlin: Springer, 1997. 56 p.

LIMA, R.C; BARRIGA, P.A.B.; AIOLFI, R.B.; TONET, R.; ASSMANN, T.S.; PIVA, J.T. Adubação de Sistema: Volatilização de Amônia em Pastagem de Azevém em sistema de Integração Lavoura-Pecuária. In: I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...** Cascavel, 2017a.

LIMA, R.C; MENSOR, M.; BARRIGA, P.A.B.; TATTO, W.H.; ASSMANN, T.S.; PIVA, J.T. Volatilização de Amônia de Urina Bovina em Pastagem de Azevém em Área de Integração Lavoura-Pecuária. In: I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...** Cascavel, 2017b.

LIMA, R.C; TONET, R.; RHODEN, A.C.; MENSOR, M.; ZATTA, A.C.; ASSMANN, T.S. Adubação de Sistemas: Volatilização de Amônia na Cultura do Feijão em Área de Integração Lavoura-Pecuária. In: I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...** Cascavel, 2017c.

MACCARI, M. **A altura de dossel e a adubação nitrogenada da pastagem podem afetar a nutrição nitrogenada do milho, num sistema de integração lavoura pecuária?**. 2016. 119 p. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

MARTINS, A.P.; COSTA, S.E.V.G; ANGHINONI, I; KUNRATH, T.R.; BALERINI, F.; CECAGNO, D.; CARVALHO, P.C.F. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop-livestock system under different grazing intensities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 195, p. 18–28, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2014.05.012>

MARTINS, J. D.; RESTLE, J.; BARRETO, I. L. Produção animal em capim papuã (*Brachiariaplantaginea*) submetido a níveis de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 30, p. 887–892, 2000.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 411-416, 1993.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Organic mobility of surface applied lime under no-tillage. In: International Meeting of the International Humic Substance Society (**Anais**). Adelaide, 1998. p. 66.

PICOLOTTO JUNIOR, R. A.; LEVINSKI-HUF, F.; RINTZEL, R. D. D.; NEMIRSCKI, J. M.; CANDIOTTO, F. ASSMANN, T. S. A aplicação de N em dose única sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária provoca lixiviação de N-NO₃?. In: I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...** Cascavel, 2017.

RINTZEL, R. D. D.; LEVINSKI-HUF, F.; NEMIRSCKI, J. M.; PICOLOTTO JUNIOR, R. A.; VENTURIM, E. A. A.; ASSMANN, T. S. A adubação de sistemas e a pressão de pastejo alteram os teores de N- NO₃ no solo em integração Lavoura-Pecuária?. In: I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...** Cascavel, 2017a.

RINTZEL, R. D. D.; LEVINSKI-HUF, F.; NEMIRSCKI, J. M.; PICOLOTTO JUNIOR, R. A.; FETZER, M. L.; ASSMANN, T. S. Influência da adubação de sistemas nos teores de nitrato no solo em cultivo de milho em Integração Lavoura-Pecuária. In: I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...**Cascavel, 2017b.

ROJAS, C. A. L.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WEBER, M. A.; VIEIRO, F. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciencia Do Solo**, v. 36, p. 261–270, 2012. <http://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100027>

SANDINI, I.E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M.K.; NOVAKOWISKI, J.H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1315–1322, 2011.

SARTOR, L. R.; ASSMAN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; ORTIZ, S. Assessment of the nutritional status of grassland: nitrogen nutrition index. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p. 449–456, 2014.

SIMPSON, J.R.; STOBBS, T.H. Nitrogen supply and animal production from pastures. In: MORLEY, F. H. W. (Ed.). **Grazing animals**. Amsterdam: The Hague, 1981. p.261–288.

THOMASON, W.E.; RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Winter wheat fertilizer nitrogen use efficiency in grain and forage production systems. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, p. 1505–1516, 1998.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v. 35, p. 76–83, 2005.

VENDRAMINI, J.M.B.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SILVEIRA, M. L. Nutrient cycling in tropical pastureecosystems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 308–315, 2014.

VIERO, F.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; MORAES, R.P. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no-till wheat and maize in Southern Brazil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.38 n. 5, p. 1515–1525, 2014.

WHALEN, J.K.; CHANG, C.; CLAYTON, G.W.; CAREFOOT, J.P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society America Journal**, v. 64, p. 962–966, 2000.

Eixo Temático 3:

Produção animal e vegetal

Produção integrada de grãos e pecuária

oportunidade para aumentar a diversificação e a rentabilidade

Alvadi Antonio BALBINOT JUNIOR¹, Anibal de MORAES², Osmar CONTE¹, Julio Cezar FRANCHINI¹, Henrique DEBIASI¹

¹ Eng. Agr., Dr., Pesquisadores da Embrapa Soja. E-mail: alvadi.balbinot@embrapa.br

² Eng. Agr., Dr., Professor da Universidade Federal do Paraná

Abstract – The agribusiness, in Brazil, has been developing on poorly diversified agricultural systems. Integrated production such as Integrated Crop-livestock System (ICLS) are the main strategy in order to reduce environmental impacts and improve productivity, stability and profitability. It is necessary a vast knowledge for adequate management of ICLS, which subsidizes the planning and execution of activity in the farm to generate synergy between animal and vegetal components. In this chapter, we showed some elements and model of ICLS for subtropical and tropical climate. Additionally some research demands to advance scientific knowledge about ICLS are presented.

Keywords: sustainable intensification. synergy between plant and animal components. cropping systems.

Resumo – No Brasil, o agronegócio vem sendo praticado com base em sistemas pouco diversificados. Os sistemas integrados de produção, especialmente a integração lavoura-pecuária, se constituem na principal estratégia para aumentar a diversificação, focando na redução de impactos ambientais e no aumento da produtividade, estabilidade e rentabilidade – intensificação sustentável. Para a condução adequada de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), é necessário grande aporte de conhecimentos, que subsidiam o planejamento e a execução de atividade na propriedade que gerem sinergia entre os componentes que compõem o sistema. Nesse capítulo são apresentados alguns fundamentos de SIPA e modelos que podem servir de referência para o planejamento do sistema em regiões com clima subtropical ou tropical. Também são apresentados algumas demandas de pesquisa para avanço do conhecimento científico acerca de sistemas integrados.

Palavras-chave: intensificação sustentável. sinergia entre os componentes vegetal e animal. modelos de produção.

Como Citar (NBR 6023)

BALBINOT JUNIOR, Alvadi Antonio et al. Produção integrada de grãos e pecuária: oportunidade para aumentar a diversificação e a rentabilidade. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 86–100. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

INTRODUÇÃO

No Brasil, as principais culturas para produção de grãos têm sido inseridas em modelos de produção pouco diversificados, como as sucessões soja/milho segunda safra, soja/milheto para cobertura do solo, soja/algodão, soja/pousio e soja/trigo. Por um lado, a simplificação dos modelos de produção facilita a rotina operacional nas propriedades rurais e permite a especialização na produção de determinada cultura. Por outro lado, tem provocado e intensificado alguns problemas agronômicos e ambientais, sobretudo relacionados à redução da qualidade do solo – degradação de atributos físicos, químicos e biológicos - e ao aumento de problemas fitossanitários, como a infestação de plantas daninhas resistentes a herbicidas e o incremento de algumas doenças, fitonematóides e insetos-praga de difícil controle (BALBINOT JUNIOR et al., 2011; FRANCHINI et al., 2014).

Por sua vez, em regiões tropicais ou subtropicais quentes, em que há predomínio da pecuária, muito frequente em solos com textura arenosa e/ou em áreas com alta declividade, é comum o uso da terra com pastagens perenes, na maioria das vezes formadas por espécies do gênero *Urochloa* – braquiárias - manejadas de forma inapropriada (SALTON et al., 2014). Nessa situação, não são realizadas adubações de correção e manutenção necessárias para que haja produção, qualidade

e persistência adequadas. Em decorrência do baixo crescimento das plantas forrageiras, a produção animal também é limitada e há disponibilização de nicho ecológico para estabelecimento e crescimento de plantas daninhas. Além disso, o reduzido crescimento das plantas forrageiras implica em pouca cobertura do solo e deficiente estruturação promovida pelas raízes, fatores que conduzem ao aumento da compactação e da erosão ao longo do tempo, promovendo degradação do solo e da água.

Nesse contexto, no Brasil, a principal alternativa para diversificação dos sistemas agropecuários de produção em larga escala é a integração de culturas graníferas, sobretudo soja e milho com a pecuária, especialmente cadeias de carne e leite (Figura 1). A participação de cadeias produtivas fortes, com bons fundamentos de mercado, é essencial para o avanço dos SIPA. No Brasil, a cultura anual que apresentou maior evolução nas últimas duas décadas foi a soja, com uma taxa média de incremento anual de área superior a 1 milhão de hectares – algo extraordinário (BALBINOT JUNIOR et al., 2017). Outra cultura que apresenta elevada relevância para compor sistemas integrados é o milho, principalmente por poder ser usado na própria propriedade para alimentação de animais, se adaptar muito bem ao consórcio com forrageiras, especialmente as braquiárias, e por se encaixar ao cultivo de segunda safra.

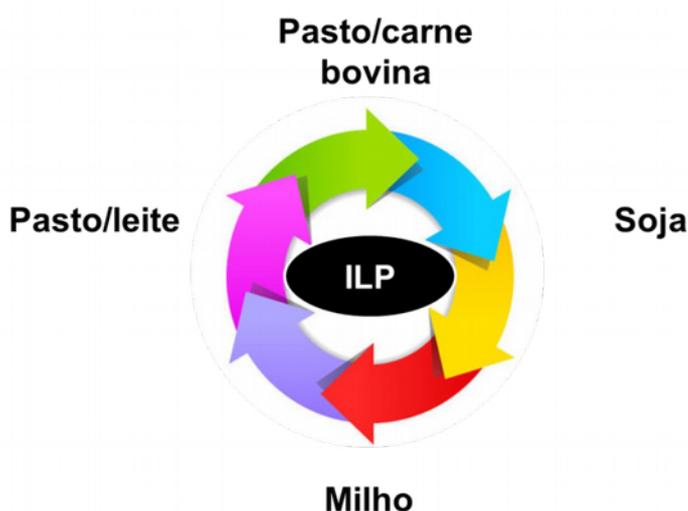


Figura 1 – Principais cadeias produtivas que compõem sistemas integrados de produção agropecuária em larga escala no Brasil.

O objetivo desse capítulo é discutir sobre a importância dos SIPA para incrementar a diversificação, a estabilidade e a rentabilidade do agronegócio, bem como apresentar alguns modelos de integração que podem ser usados em clima subtropical e tropical.

O NEXO AGRICULTURA CONSERVACIONISTA, SISTEMA PLANTIO DIRETO E SISTEMAS INTEGRADOS

Nas últimas décadas, o Brasil se consolidou como grande potência agrícola mundial, com expansão de área cultivada e incrementos de produtividade e produção. Considerando apenas as principais commodities de grãos (soja, milho, trigo e arroz), a produção brasileira deverá alcançar aproximadamente 230 milhões de toneladas em cerca de 55 milhões de ha na safra 2016/2017 (CONAB, 2017). Adicionalmente, o país é o maior exportador mundial de soja.

A manutenção do protagonismo do agronegócio brasileiro no cenário mundial exige a redução dos impactos ambientais associados à agropecuária e o aumento da eficiência de utilização dos recursos do ambiente necessários à produção agrícola, principalmente do solo e da água. Para atingir esse objetivo, é de fundamental importância a adoção da agricultura conservacionista, entendida como um complexo tecnológico de enfoque holístico que objetiva preservar, melhorar e

otimizar os recursos naturais, mediante o manejo integrado do solo, da água e da biodiversidade, devidamente compatibilizado com o uso de insumos externos (DENARDIN e KOCHHANN, 2006). A adoção da agricultura conservacionista pressupõe a redução ou eliminação de mobilizações de solo; preservação de restos culturais na superfície do solo; manutenção de cobertura permanente; ampliação da biodiversidade mediante a diversificação de espécies; manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas; controle de tráfego de máquinas e de equipamentos; uso preciso e racional de agroquímicos; respeito à legislação em vigor; entre outros.

Para atingir os pressupostos da agricultura conservacionista, dois sistemas são fundamentais e complementares: o Sistema Plantio Direto (SPD) e o SIPA. O SPD é alicerçado na diversificação de espécies, na mobilização de solo apenas na linha de semeadura, na manutenção permanente da cobertura do solo e na minimização do intervalo entre colheita e semeadura (DENARDIN et al., 2008) – fundamentos altamente aderidos à AC. Quando o SPD é adotado em conformidade com seus pressupostos técnicos, proporciona a diminuição das perdas de água e solo por erosão hídrica (MERTEN et al., 2015), das perdas de água por evaporação (ANDRADE, 2008), da amplitude térmica do solo, da necessidade de mão-de-obra e dos custos com combustível e máquinas agrícolas (LAL, 2007); o aumento dos estoques de carbono orgânico do solo (ZOTARELLI et al., 2012), e da diversidade (PEREIRA et al., 2007), atividade e biomassa microbiana (BINI et al., 2014), reestabelecendo assim o equilíbrio do agroecossistema e potencializando o controle biológico de pragas e doenças (RATNADASS et al., 2012); a melhoria da estrutura do solo, favorecendo o armazenamento de água disponível e o crescimento radicular das culturas (MORAES et al., 2016); e, finalmente, o incremento da produtividade das culturas, especialmente sob condições de deficiência hídrica (FRANCHINI et al., 2012). Nesse contexto, certamente o uso de SIPA pode potencializar os efeitos benéficos do SPD, tanto em termos econômicos quanto ambientais, pois aumenta a diversidade de espécies cultivadas, permite a cobertura permanente do solo, potencializa a ciclagem de nutrientes e melhora atributos físicos, químicos e biológicos em relação a sistemas não integrados (BALBINOT JUNIOR et al., 2009) (Figura 2). Ou seja, o SPD pode ser aprimorado com o uso de SIPA.



Sistema não integrado:

- Baixa conservação do solo e da água
- Baixa diversidade biológica
- Alta emissão de gases de efeito estufa por kg de carne produzida

Sistema integrado:

- Adequada conservação do solo e da água
- Maior diversidade biológica em relação ao sistema não integrado
- Baixa emissão de gases de efeito estufa por kg de soja e carne produzida

Figura 2 – Características ambientais de sistema integrado (soja com pastagem de *Urochloa brizantha* BRS Piatã) x sistema não integrado (pastagem perene inadequadamente manejada) no Noroeste do Paraná – solo muito arenoso, com apenas 12% de argila e clima quente. Foto: Alvadi Antonio Balbinot Junior

SISTEMAS INTEGRADOS EM REGIÕES COM TRADIÇÃO AGRÍCOLA OU PECUÁRIA

Em regiões com forte tradição agrícola, a pecuária, seja de corte ou de leite, geralmente é inserida no sistema para aumentar a diversificação de espécies cultivadas e de fontes de renda. Com

isso, reduz-se os riscos de insucesso econômico em momentos de quebra de safra e/ou baixa cotação dos grãos produzidos. Em várias regiões brasileiras, a produção de grãos é muito instável de safra para safra. Como exemplo, cita-se a grande instabilidade de produtividade da soja em estados como o RS e PI (Figura 3). Nessas regiões, a inserção da pecuária integrada à lavoura é uma estratégia relevante para diversificar as fontes de renda na propriedade rural, em busca de maior estabilidade econômica. Nessa condição, os SIPA podem aumentar expressivamente a sustentabilidade do agronegócio.

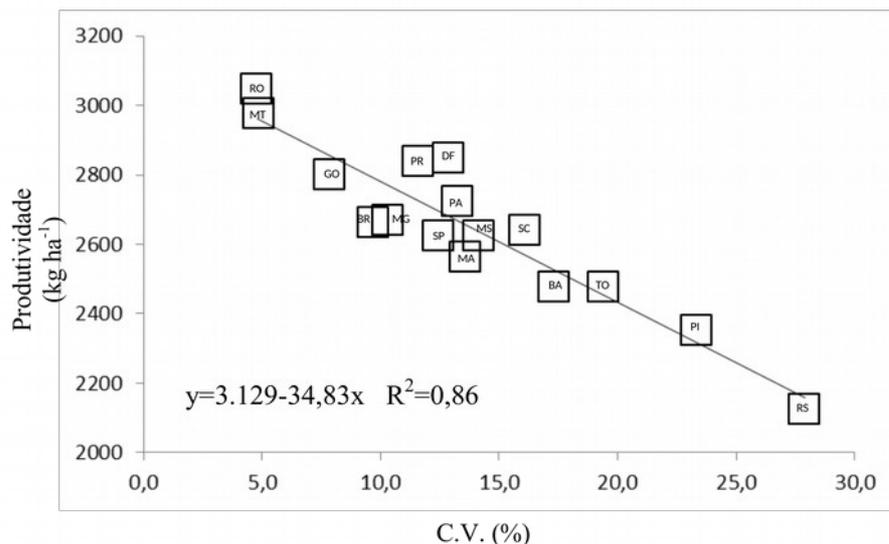


Figura 3 – Relação entre a produtividade e o coeficiente de variação (C.V.) da produtividade nos estados brasileiros em duas décadas (1996/97 a 2015/16). Fonte: Balbinot Junior et al. (2017).

Em regiões com tradição em pecuária, a introdução de culturas graníferas no sistema, muitas vezes objetiva a recuperação de pastagens perenes degradadas, sobretudo usando a cultura da soja. No entanto, nesse caso, o uso de culturas anuais também contribui para aumentar a rentabilidade por área - muito baixa com o uso de pecuária extensiva, assim como aumentar a disponibilidade de forragem de alta qualidade no outono/inverno, quando a produção das forrageiras perenes é baixa em função da carência de água e/ou frio excessivo. No Brasil, há vasta área ocupada com pastagens perenes degradadas, com alto potencial para inserção de culturas agrícolas. Certamente nessas áreas haverá avanço expressivo de SIPA, proporcionando significativa expansão das áreas de produção de grãos e ganhos substanciais na produção animal, sem incremento da área a ser explorada.

IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS INTEGRADOS

A implantação de SIPA na propriedade rural requer conhecimento, planejamento e execução adequada. Certamente os SIPA requerem maior aporte de conhecimento e tecnologias em relação a sistemas não integrados. O ordenamento das atividades relativas à produção vegetal e animal no espaço e no tempo deve ser cuidadosamente analisado para que as atividades sejam conciliáveis e provenham os benefícios almejados.

O planejamento espaço-temporal dos SIPA deve se basear primariamente nas condições climáticas que determinarão as espécies vegetais e animais a serem utilizadas e outras práticas agrônomicas que possibilitem o seu desenvolvimento. Ao mesmo tempo, devem ser levados em consideração a correspondência do uso da terra com a sua capacidade de uso, a mitigação de risco e o potencial de preservação dos recursos solo e água (HERRERO et al., 2010; MORAINÉ et al., 2016).

As práticas da agricultura conservacionista como o não revolvimento do solo, cobertura do solo permanente e rotações de culturas (PALM et al., 2014) devem ser utilizadas. Além disso, os SIPA devem ser dimensionados para aumentar a sua resiliência às mudanças climáticas, através do manejo orgânico do solo, conservação e colheita de água e aumento de forma geral na agrobiodiversidade (ALTIERI et al., 2015). Por fim, a adubação de sistema, que é uma visão mais abrangente da adubação do sistema como um todo e não culturas individuais, pode favorecer os ciclos biogeoquímicos de forma a otimizar o uso de cada unidade nutriente, em relação a quantidade de produtos produzidos com este nutriente, durante todas as fases do sistema. Um fator que favorece os SIPA neste aspecto é a considerável ciclagem de nutrientes e baixa exportação promovida pelos animais na fase pastagem. Em função disso, indica-se que os produtores interessados em implantar SIPA procurem assistência técnica especializada no tema.

No caso de propriedades rurais que originalmente apresentam a produção vegetal como foco, a inserção de animais, requer o planejamento dos piquetes, a montagem das cercas, aguadas, cochos e estrutura para o manejo dos animais. A montagem das cercas para contenção e manejo dos animais na pastagem é um dos princípios custos relacionados à inserção do componente animal em SIPA. Uma opção frequentemente utilizada é o uso de cercas eletrificadas, que apresentam adequado funcionamento, especialmente quando os animais possuem temperamento manso. Estas podem inclusive ser alimentadas com energia solar, atendendo áreas distantes de redes elétricas.

Quando a produção animal é baseada no pasto e há presença de animais durante todo o ano na propriedade, o planejamento forrageiro é indispensável na propriedade. Para isso, é necessário considerar a produção esperada, a qualidade da forragem e os períodos de maior e menor produção de cada espécie forrageira inserida no sistema, sejam anuais ou perenes. É importante considerar a possibilidade de produção de certa quantidade de forragem conservada, seja por meio de silagem ou feno, para utilização em momentos em que a pastagem apresenta baixa capacidade de suporte. Para determinados ambientes pode ser previsto a irrigação de parte da área a fim de garantir suprimento de pasto no período seco. Em sistemas intensivos de produção animal, a irrigação da pastagem vem sendo uma prática cada vez mais utilizada. Entretanto, o planejamento das atividades deve ser realizado com o máximo de cuidado, para que haja retorno financeiro do alto investimento relacionado à instalação e manutenção dos equipamentos, bem como de energia para operar o sistema. No planejamento de um sistema integrado não se privilegia uma determinada cultura nos anos em que esta apresente preços mais favoráveis. O princípio é trabalhar com a diversificação, mantendo as rotações num planejamento que promova a sustentabilidade do sistema como um todo.

Para produtores de grãos que estão iniciando a criação de animais, é importante considerar que o SIPA pressupõe a melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo e, por conseguinte, as espécies forrageiras a serem adotadas precisam responder a essa condição favorável de solo, bem como os animais precisam utilizar e converter a forragem produzida em produto animal - carne e/ou leite. Para tal, é relevante o uso de animais de boa genética, com alto desempenho e com adaptação às condições ambientais; boa sanidade; e que os animais sejam submetidos a adequado bem estar. É imperativo transformar solo de alta qualidade em pastagem boa e, esta, em produto animal que será comercializado, sem que haja gargalos no processo de produção.

Enfatiza-se que a utilização e a conversão da pastagem em produto animal é muito influenciada pelo manejo da pastagem, especialmente no que se refere à altura de manutenção das plantas. Cada espécie forrageira apresenta uma faixa de altura de manutenção para maximizar a produção, a qualidade e a persistência da pastagem. Normalmente a altura de manejo indicada para as forrageiras também confere adequada quantidade de palha para cultivo posterior de grãos em SPD. Esse é um dos pontos que torna o SPD e os SIPA conciliáveis tecnicamente, pois não há conflito entre a produção animal e vegetal. Para Carvalho et al. (2010), o que conecta este ciclo à fase agrícola é a massa de forragem no final do ciclo pastagem, que se constitui na palhada que receberá o plantio direto nas primeiras ações de manejo do ciclo lavoura. Quanto maior a intensidade de pastejo empregada no ciclo pastagem, menor a biomassa no momento da semeadura da lavoura e maior a compactação superficial que se transfere ao ciclo lavoura. Ademais, em situações de elevada intensidade de pastejo, o desacoplamento de nutrientes é maior que o acoplamento, conforme mencionado anteriormente. Todo esse contexto acaba por determinar o ambiente químico, físico e biológico do solo que recebe o ciclo da lavoura (CARVALHO et al., 2010).

Carvalho et al. (2010) também enfatizam que em menor massa de forragem, o aumento do tempo de pastejo faz com que o impacto do animal no sistema seja incrementado, na medida em que implique em aumento do tempo em deslocamento do animal pelo piquete. A restrição de pasto não aumenta simplesmente esse tempo, mas aumenta também a velocidade com que eles transitam na mesma unidade de tempo em pastejo (BAGGIO, 2007), ou seja, os animais passam a dar maior número de passos por unidade de tempo na tentativa de encontrar mais forragem para consumir. A consequência final é que o número total de passos incrementa em quase 100% quando se compara com situações não limitantes de alimentação (CARVALHO et al., 2010)

No caso de propriedades destinadas à produção animal, a inserção da produção vegetal implica na correção química do solo, eliminação de desuniformidades na área para possibilitar a colheita mecanizada de espécies graníferas e aquisição ou contratação de serviços de máquinas para a semeadura, tratos culturais e colheita. Em regiões de fronteira agrícola, é crucial que o produtor faça uma análise sobre a disponibilidade de insumos para produção vegetal, bem como se há infraestrutura para armazenamento do produto colhido e as condições para a sua comercialização. A análise prévia das condições a montante e a jusante da produção são fundamentais no planejamento das atividades.

Uma estratégia muito usada para viabilizar SIPA em larga escala são as parcerias entre agricultores e pecuaristas. Nas diversas regiões brasileiras, há muitos modelos de acordos em que o agricultor continua especializado na produção de grãos, fibras e/ou agroenergia e o pecuarista continua especializado na produção animal. Assim, a sinergia entre a produção animal e vegetal é obtida por meio da parceria. Um exemplo típico é o arrendo de pastagens anuais de inverno na região Sul do Brasil para engorda de bovinos. Nesse caso, o agricultor se preocupa em produzir grãos no verão e implantar adequadamente a pastagem em sucessão – muitas vezes formada pela emergência espontânea de azevém - enquanto o pecuarista se preocupa com os fatores de produção ligados aos animais (cria ou compra de bezerros, genética, manejo, sanidade, bem estar e venda dos animais). Assim, o agricultor tem uma opção de renda no inverno e o pecuarista consegue engordar os animais no momento de maior escassez das pastagens perenes de verão ou campos naturais.

O mesmo raciocínio vale para regiões tropicais do Brasil em que, na entressafra, com baixa disponibilidade de água, pode haver cultivo de espécies forrageiras, muitas vezes implantadas juntamente com o milho safrinha (Sistema Santa Fé). Com a efetivação de parcerias, o SIPA transcende os limites de propriedades rurais. Ou seja, mais de uma propriedade constitui um sistema de produção sistematizado para alcançar ganhos sinérgicos, sejam econômicos, ambientais ou sociais. É evidente que toda a parceria deve proporcionar ganhos as partes e ser regida por um acordo bem formatado desde o início do processo. Atualmente, identifica-se a necessidade de estudar e divulgar modelos de contrato entre agricultores e pecuaristas que sejam adequados sob os pontos de vista jurídico e técnico.

ALGUNS MODELOS DE INTEGRAÇÃO EM CLIMA SUBTROPICAL

Em clima subtropical – maior parte da região Sul do Brasil - o principal modelo de SIPA constitui-se no cultivo de espécies graníferas de primavera/verão, tais como soja, milho e arroz e, no período de outono/inverno, o cultivo de pastagens anuais, como aveia preta e azevém para produção de carne ou leite. Esse modelo de integração tem apresentado elevado crescimento de área, em função da complementariedade das atividades e da carência de alternativas economicamente viáveis de uso do solo no outono/inverno, sobretudo porque o trigo, principal cereal de inverno, tem apresentado fundamentos de mercado pouco atrativos aos produtores. A elevada qualidade de forragem ofertada pelas espécies aveia preta e azevém, comportando elevada lotação animal, confere ao SIPA elevada produtividade do componente animal, além de terem características desejáveis em termos de plantas de cobertura de solo, desempenhando seu papel também na sustentabilidade do SPD.

O que tem facilitado muito esse modelo de integração é a emergência espontânea de azevém após a colheita das culturas de verão. Nesse caso, há formação da pastagem sem que haja custos com sementes e operação de semeadura. A Figura 4 ilustra o azevém emergido antes da

colheita da soja. Nessa circunstância, o pastejo já pode ser iniciado cerca de 25 dias após a colheita da cultura.



Figura 4 – Emergência de azevém no final do ciclo de desenvolvimento da soja – formação de pastagem de ótima qualidade sem custo de implantação. Foto: Alvadi Antonio Balbinot Junior.

Nesse modelo de SIPA, que utiliza culturas de grãos no verão e pastagens de inverno, um questionamento frequente no meio técnico é o possível impacto negativo do pisoteio no inverno sobre as culturas semeadas em sucessão. Em trabalho desenvolvido em SC, observou-se que a produtividade de grãos de soja, milho e feijão cultivados sobre pastagens de inverno formadas pelo consórcio de aveia preta+azevém+ervilhaca foi similar as produtividade obtidas sobre o mesmo consórcio sem pastejo (BALBINOT JR. et al., 2009b; BALBINOT JR. et al., 2011). Resultado semelhante foi obtido no RS, em que a soja semeada após pastagem de avevém manejado em altura de 20 cm obteve, por 12 safras, produtividade similar à obtida sobre cobertura de azevém sem pastejo (KUNRATH et al., 2015).

Em regiões que apresentam clima subtropical e em propriedades que possuem rebanho contínuo, uma opção muito utilizada é o cultivo de, aproximadamente, 75% da área com culturas de grãos na primavera/verão e pastagem anual no outono/inverno e 25% restantes com pastagem perene, como, por exemplo: tifton, capim elefante anão e espécies de braquiária e panicum. Nesse caso, no verão os animais permanecem nos 25% da área com pastagem perene e, no outono/inverno em 100% da área (75% com pastagens anuais de inverno + 25% de área sobressemeada com azevém nas pastagens perenes). Salienta-se que no outono/inverno a produção forrageira é substancialmente menor em razão do frio e/ou menor precipitação. Vários arranjos de espécies podem ser estabelecidos para se tirar vantagem do ambiente (edáfico e climático) em que a propriedade se encontra e as condições de manejo (grau de investimento em insumos). É importante considerar que as áreas destinadas às pastagens de verão podem variar espacialmente dentro da propriedade rural no decorrer do tempo. Assim com mais facilidade se consegue atingir um equilíbrio de oferta de forragem entre inverno e verão, para que não haja necessidade de alteração na carga animal ou de investimento em alternativas mais onerosas, como a produção de forragem conservada (feno e silagem), ou ainda o uso de concentrados.

Outro modelo de SIPA, com maior especificidade em relação à cultura envolvida e o ambiente, é a integração do cultivo de arroz irrigado com a produção animal, especialmente no Rio Grande do Sul. Esse modelo tem muito potencial de expansão devido à disponibilidade de áreas. O arroz, no modelo de cultivo praticado em terras baixas, com inundação, compõe um sistema com

características únicas, a começar pelo solo com topografia plana e horizonte de baixa permeabilidade. No Estado do RS, há cerca de 6,4 milhões de hectares de várzea com essas características, sendo que entre 1 e 1,2 milhões são cultivados anualmente com arroz irrigado (CONAB, 2016). Existe uma grande rotatividade no uso das áreas em função da infestação com arroz vermelho, uma das principais plantas daninhas do arroz, mas também de outras espécies de invasoras, oportunizando o uso de sistemas integrados. No contexto da metade sul do RS, a pecuária sempre foi presente e divide área com o arroz, principalmente com pastejo da soqueira. Nos últimos anos esse modelo de SIPA se tecnificou, com implantação de pastagens sobre as áreas de arroz, adoção de adubação das forrageiras, manejo do pastejo e adequação de lotação animal. Diversos estudos foram conduzidos nos últimos anos e tem demonstrado o potencial deste modelo de SIPA, peculiar àquele ambiente e melhorando os atributos de solo, a produtividade do arroz, da pastagem e conseqüentemente da pecuária (NUNES, 2016; DENARDIN, 2017, MARTINS et al., 2017). Nesse mesmo contexto, a soja também tem ganhado espaço e ajudado a diversificar o sistema de produção. Esse modelo de SIPA poderá contribuir para o desenvolvimento da região Sul do RS, que apresenta índices de desenvolvimento baixos, comparativamente ao restante do estado.

ALGUNS MODELOS DE INTEGRAÇÃO EM CLIMA TROPICAL

Em condições tropicais, há vários modelos de SIPA, os quais devem ser adaptados de acordo com as condições edafoclimáticas da região, características da propriedade rural, disponibilidade de mão-de-obra e outros meios de produção e foco da atividade econômica a ser exercida na propriedade.

Em condição de solo arenoso - teor de argila menor que 20% - um modelo de integração utilizado é o cultivo por dois anos com espécies anuais, intercalados com três ou quatro anos com pastagem perene, formada com *U. brizantha* ou *Megathyrus maximus*. Esse modelo é representado na Figura 5. Com o passar do tempo, a produtividade e a qualidade forrageira da pastagem perene diminuem, mesmo com bom ajuste da carga animal, mantendo adequada altura forrageira (Figura 6). Por outro lado, durante os quatro anos com a pastagem perene há melhorias em vários atributos físicos e biológicos do solo, além de alta cobertura do mesmo. Assim, há ambiente favorável ao crescimento de espécies anuais, como a soja e o milho. No entanto, após dois anos com culturas anuais há perda da qualidade física e biológica do solo, sendo interessante reintroduzir a pastagem perene.



Figura 5 – Modelo simplificado de sistema integrado de produção para clima tropical e solo arenoso (Franchini et al., 2016a).



Figura 6 – Pastagem com um ano de idade à esquerda e pastagem com dois anos à direita. Com o passar de tempo, a produtividade e a qualidade forrageira diminuem. Foto: Julio Cezar Franchini.

No modelo apresentado, há forte utilização do milho segunda safra nos dois anos destinados à produção vegetal. A inserção do milho segunda safra só pode ser realizada em regiões que apresentam disponibilidade hídrica que permita tal cultivo. Nesse caso, é necessário observar o zoneamento agroclimático para a cultura. Nas regiões que apresentam condição para esse cultivo, o milho pode ser consorciado com braquiárias (Figura 7). Nesse caso, essa pastagem pode ser utilizada nos meses de julho e agosto – período de grande escassez forrageira.



Figura 7 – Pastagem de *Braquiaria ruziziensis* logo após a colheita de milho segunda safra. Foto: Cesar Velini.

Outro modelo que pode ser usado em regiões tropicais e solos arenosos é o cultivo de duas safras de soja intercaladas com dois anos de pastagem perene (Figura 8). Entre duas safras de soja, a área é cultivada com *Braquiaria ruziziensis* ou *Braquiaria brizanta*. As duas principais vantagens da *Braquiária ruziziensis* se referem ao menor custo das sementes e maior facilidade para dessecação pré semeadura da soja, comparativamente à *Braquiaria brizanta* (FRANCHINI et al., 2015). Por outro lado, a BRS Piatã tem como principais vantagens a maior produção de forragem e a menor velocidade de decomposição da palha, mantendo o solo coberto até o final do ciclo de desenvolvimento da soja.

Nesse modelo de produção, metade da área total cultivada é ocupada com pastagens na primavera/verão e, no outono/inverno - época de menor produção forrageira - toda a área cultivada é ocupada com pastagens. No outono/inverno, a produção das pastagens cultivadas após a soja garante o fornecimento de forragem aos animais, uma vez que a pastagem é nova e apresenta elevada taxa de

acúmulo de fitomassa, em razão do aproveitamento da melhoria nos atributos químicos decorrentes do cultivo da oleaginosa no verão. Com o modelo utilizado, há menores variações de produção forrageira entre as estações do ano. A estabilidade da produção forrageira ao longo do ano é uma das principais vantagens desse modelo.

A inserção da soja após a manutenção da pastagem perene por dois anos se justifica em razão da perda de produtividade de forragem após o segundo ano de uso. Isso é bastante evidente, mesmo com o uso de adequado manejo da pastagem, mantendo a altura de plantas superior a 20 cm. Contudo se poderia considerar que a estratégia de uma adubação do sistema, feita por ocasião da fase pastoril, resultando na manutenção de elevados níveis de produção da pastagem ao longo dos anos, e a lavoura poderia ser implantada em solo com melhor fertilidade, dispensando o uso de adubação na fase agrícola. Este é um modelo já em uso no subtópico brasileiro e em países do cone sul como na Argentina e Uruguai. Por outro lado, a implantação de pastagem perene após duas safras de soja se justifica pela redução da qualidade física do solo após o segundo ano de cultivo de soja, quando observa-se decréscimo na produtividade da oleaginosa. Esse modelo de produção vem demonstrando vantagens operacionais, econômicas e ambientais, contribuindo para a sustentabilidade do sistema. Por isso, vem sendo muito difundido por cooperativas e consultores técnicos.



Figura 8 – Modelo simplificado de sistema integrado de produção para clima tropical e solo arenoso (FRANCHINI et al., 2016b).

Atualmente, as principais espécies usadas como pastagem perene são *U. brizantha*, *U. ruziziensis* e *Megathyrus maximus*. Uma demanda recorrente de pesquisa é a identificação de outras espécies ou cultivares de pastagens perenes para maximizar a resposta da melhoria da qualidade do solo decorrente do uso de SIPA. Esse conhecimento é fundamental para aumentar a diversidade dos sistemas, já que em algumas situações o SIPA se constitui apenas na sucessão soja/braquiária brizanta, o que não é adequado para a sustentabilidade do sistema no longo prazo.

Nos modelos de SIPA mencionados, uma pratica-chave para o adequado desempenho das culturas agrícolas é a adequada dessecação da pastagem em SPD (FRANCHINI et al., 2014). A semeadura da soja logo após a dessecação das pastagens pode dificultar a operação de semeadura, dependendo da quantidade de fitomassa (BALBINOT JUNIOR et al., 2011), gerando falhas na semeadura, com posicionamento superficial de sementes ou as mesmas serem alocadas somente em contato com a palha, no interior do sulco (Figura 9). Também pode ocorrer o estiolamento de plantas de soja que emergem entre acúmulos de palha ou touceiras (Figura 10).



Figura 9 – Falhas na emergência da soja em função da elevada quantidade de palha, dificultando o contato solo-semente. Foto: Osmar Conte.



Figura 10 – Plantas de soja com sinais de estiolamento, em função de terem germinado em zona de acúmulo de palha. Foto: Osmar Conte.

A maior quantidade de fitomassa na superfície do solo tende a elevar os índices de patinação do trator ao realizar a semeadura, assim como provocar embuchamento com palha acumulada entre as linhas da semeadora (ARATANI et al., 2006). Um pequeno intervalo entre a dessecação e a semeadura pode se refletir em supressão do crescimento inicial da cultura em razão da liberação de aleloquímicos pela palhada (BALBINOT JUNIOR, 2004). Por outro lado, a antecipação da dessecação em relação à semeadura pode reduzir expressivamente a quantidade de palha sobre o solo no início do ciclo das culturas (NASCENTE e CRUSCIOL, 2012), além de permitir a emergência de plantas daninhas antes das plantas cultivadas, fazendo-se necessário, em algumas situações, dessecação adicional, próxima à semeadura (FLECK et al., 2004). De forma geral, indica-se que a dessecação seja realizada de 25 a 40 dias antes da semeadura das culturas em sucessão, a fim de permitir adequada plantabilidade. Cabe lembrar que a retirada antecipada dos animais implica na diminuição de renda advinda da atividade pecuária, e precisa ser considerada no planejamento forrageiro, para que os animais tenham uma nova área, já em condições de recebê-los. Quando o

manejo dos animais no pasto é bem executado, não ocorrerá excessos nem falta de palhada no sistema, e portanto os possíveis problemas relatados acima deixarão de existir ao se proceder a semeadura imediatamente à dessecação do pasto.

PRINCIPAIS GARGALOS NO CONHECIMENTO CIENTÍFICO ENVOLVENDO SISTEMAS INTEGRADOS

Nas últimas duas décadas, houve avanço significativo no conhecimento científico sobre SIPA. No entanto, há alguns temas que precisam ser elucidados, a fim de aumentar a sinergia entre os componentes vegetais e animais dos sistemas de produção, quais sejam:

- Avançar no conhecimento acerca de efeitos de modelos de SIPA sobre a incidência de plantas daninhas (BALBINOT JUNIOR et al., 2008), doenças necrotróficas ou com estruturas de resistência, fito nematóides e insetos-praga. Muitos desses estresses bióticos são potencializados por sistemas de produção pouco diversificados, que privilegiam a propagação desses agentes e reduzem a capacidade das plantas em tolerá-los. Sabe-se, por exemplo, que a soja cultivada após pastagens de braquiárias apresentam menores incidência e severidade de mofo branco e de nematoides de galha e cisto, em função da redução de inóculo, já que as braquiárias não são hospedeiras dessas enfermidades e pelo ambiente mais favorável à cultura, aumentando a tolerância da soja a esses estresses. No caso do mofo branco, a palha de braquiária também funciona como uma barreira física que impede que os esporos incidam nas flores da cultura. O entendimento mais completo e robusto dessas interações pode subsidiar o planejamento de sistemas integrados que de fato contribuam em reduzir problemas fitossanitários nas culturas anuais, aumentando a sustentabilidade dessas cadeias produtivas.
- Aprimorar o conhecimento sobre os impactos de modelos integrados sobre a tolerância a estresses abióticos, sobretudo déficit hídrico. Como os SIPA pressupõe a melhoria da qualidade do solo, acúmulo de material orgânico e cobertura do solo, provavelmente contribuem expressivamente para aumentar a infiltração e a capacidade de armazenamento de água no solo. Isso, de certa forma, tem permitido o cultivo de soja integrada a pastagens em regiões tropicais e com solos arenosos, que apresentam baixa capacidade de armazenamento de água.
- Avaliar a resposta do uso da adubação de sistema em ambiente tropical, considerando a aplicação dos nutrientes apenas na fase pastoril em SIPA.
- Ampliar a geração de informações técnicas referentes à sobressemeadura de espécies forrageiras, especialmente na cultura da soja, em ambiente tropical, a fim de otimizar o desenvolvimento da pastagem no período com maior oferta de água, potencializando a produção de forragem.
- Elucidar o papel de SIPA no aumento da estabilidade produtiva de culturas anuais, bem como no aumento da produtividade dessas em ambientes com adequada oferta ambiental.
- Aprimorar o conhecimento sobre a contribuição dos SIPA sobre o comportamento e bem estar animal (GARRET et al., 2017).
- Caracterizar modelos de SIPA quanto a variáveis econômicas e confrontar esses indicadores com sistemas não integrados. Talvez a demonstração da maior lucratividade de sistemas integrados frente a outras atividades, como pecuária exclusiva, seja a principal motivador para trabalhos de difusão e transferência de tecnologias relacionados a SIPA.

Para o avanço no conhecimento nesses pontos é relevante a execução de projetos de pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologias conduzidos em rede, com visão sistêmica e aprofundamento nas análises agrônômica, ambientais e econômicas. Também é relevante a formação de técnicos que compreendam o sistema como um todo – um desafio para as escolas de agronomia.

Fora da porteira, o agronegócio fundamentado nos SIPA padece dos mesmos males de outras atividades agropecuárias, como, por exemplo: carência de seguro agrícola; logística deficiente, que encarece o frete; estrutura de armazenamento de grãos deficitária em muitas regiões; escassez de mão de obra para trabalhos no campo e regras ambientais pouco claras em algumas situações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto atual do agronegócio brasileiro, os SIPA se constituem na principal estratégia para diversificar os sistemas de produção, focando na redução de impactos ambientais e no aumento da produtividade, estabilidade produtiva e rentabilidade – o que pode ser considerada intensificação sustentável. No entanto, os SIPA necessitam de maior aporte de conhecimentos e planejamento em relação a sistemas não integrados.

Atualmente, há portfólio de conhecimentos e tecnologias que permitem a integração de lavouras com a pecuária em larga escala, tanto em ambientes subtropicais ou tropicais. Nesse capítulo, são apresentados alguns modelos que podem servir de referência para o planejamento de propriedades rurais. Obviamente que esses modelos devem ser ajustados considerando as particularidades de cada propriedade.

O conhecimento sobre SIPA avançou muito no Brasil nas últimas décadas, contudo há necessidade de novas pesquisas, sobretudo para elucidar possíveis benefícios desse sistema na redução de estresses bióticos e abióticos, tanto nas pastagens como nas culturas anuais. No caso do componente animal, é necessário formatar sistemas que contribuam para melhorar o bem estar e o comportamento animal, aumentando a produtividade e/ou reduzindo custos. Por fim, há necessidade de avanço em análises econômicas robustas de SIPA como todo em relação a sistemas não integrados.

REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; HENAO, A.; LANA, M. A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 869–890, 2015.
- ANDRADE, J.G. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- ARATANI, R.G.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. de; PECHE FILHO, A.; DUARTE, A. P.; KANTHACK, R.A.D. Desempenho de semeadoras-adubadoras de soja em Latossolo Vermelho muito argiloso com palha intacta de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 517–522, 2006.
- BALBINOT JUNIOR, A.A. Manejo das plantas daninhas pela alelopatia. **Agropecuária Catarinense**, v. 17, p. 61–64, 2004.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J.; VEIGA, M. Formas de uso do solo no inverno e sua relação com a infestação de plantas daninhas em milho (*Zea mays*) cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v. 26, p. 569–576, 2008.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1925–1933, 2009a.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J.; FACCIO CARVALHO, P.C. Desempenho da cultura do feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2340–2346, 2009b.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; VEIGA, M.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; MAFRA, A.L.; PICOLLA, C.D. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1357–1363, 2011.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; HIRAKURI, M. H.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; RIBEIRO, R.H. **Análise da área, produção e produtividade da soja no Brasil em duas décadas (1997-2016)**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 20 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 11).

BAGGIO, C. **Comportamento em pastejo de novilhos numa pastagem de inverno submetida a diferentes alturas de manejo**. 2007. 137 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BINI, D.; SANTOS, C.A.; BERNAL, L.P.T.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M.A. Identifying indicators of C and N cycling in a clayey Ultisol under different tillage and uses in winter. **Applied Soil Ecology**, v. 76, p. 95–101, 2014.

CARVALHO, P.C. DE F., ANGHINONI, I., MORAES, A., SOUZA, E.D., SULC, R.M., LANG, C.R., FLORES, J.P.C., TERRA LOPES, M.L., SILVA, J.L.S., CONTE, O., LIMA WESP, C., LEVIEN, R., FONTANELI, R.S., BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, p. 259–273, 2010.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252>. Acesso em: 08 out. 2016.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252>. Acesso em: 10 jul. 2017.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. **Desafios à caracterização de solo fértil em manejo e conservação do solo e da água**. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2006, Passo Fundo. Fertilidade em solo... (re)emergindo sistêmica: resumos e palestras. Passo Fundo: Embrapa Trigo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2006. 8 p. 1 CD ROM.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; BACALTCHUK, B.; SATTLER, A.; DENARDIN, N.D.A.; FAGANELLO, A.; WIETHÖLTER, S. **Sistema plantio direto**: fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. da, ed. *téc. Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas*. Brasília: Embrapa Informações Tecnológica, 2008. p. 1251–1273, cap. 1, parte 15, v. 1.

DENARDIN, L.G.O. **Variabilidade espaço-temporal de atributos do solo e resposta do arroz irrigado à adubação em sistemas integrados de produção agropecuária**. 2017. 86p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre.

FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; AGOSTINETTO, D.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Interferência de picão-preto e guanxuma com soja: efeitos da densidade de plantas e época relativa de emergência. **Ciência Rural**, v. 34, p. 41–48, 2004.

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; TONON, B.C.; FARIAS, J.R.B.; OLIVEIRA, M.C.N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178–185, 2012.

FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; PROCÓPIO, S.O. Intercropping of soybean cultivars with Urochloa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 119–126, 2014.

FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo da pastagem, épocas de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 1131–1138, 2015.

FRANCHINI, J.C.; VELINI, C.L.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; WATANABE, R.H. **Integração lavoura-pecuária em solo arenoso e clima quente**: duas décadas de experiência. Londrina: Embrapa Soja, 2016a. 11 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 118).

FRANCHINI, J.C.; FORMIGHIERI, A.C.P.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; TEIXEIRA, L.C. **Integração lavoura-pecuária no Noroeste do Paraná**: um caso de sucesso. Londrina: Embrapa Soja, 2016b. 9 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 123).

GARRET, R.D.; NILES, M.T.; GIL, J.D.B.; GAUDIN, A.; CHPLIN-KRAMER, R.; ASSMANN, A.; ASSMANN, T.S.; BREWER, K.; FACCIO CARVALHO, P.C.; CORTNER, O.; DYNES; GARBACH, K.; KEBREAB, E.; MUELLER, N.; PETERSON, C.; REIS, J.C.; SNOW, V.; VALENTIM, J. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock system: current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 136–146, 2017.

HERRERO, M.; THORNTON, P. K.; NOTENBAERT, A. M.; WOOD, S.; MSANGI, S.; FREEMAN, H. A.; BOSSIO, D.; DIXON, J.; PETERS, M.; VAN DE STEEG, J.; LYNAM, J.; RAO, P.; MACMILLAN, S.; GERARD, B.; MCDERMOTT, J.; SERÉ, C.; ROSEGRANT, M. Smart investments in sustainable food production: Revisiting mixed crop–livestock systems. **Science**, v. 327, p. 822–825, 2010.

KUNRATH, T.R.; MARTINS, A.P.; COSTA, S.E.V.G.A.; BONETTI, J.A.; SCHUSTER, M.Z.; SILVA, F.D.; BREDEMEIER, C.; AMADO, T.J.C.; BARTH NETO, A.; ANGHINONI, I.; FACCIO CARVALHO, P.C. Fase soja. In: MARTINS, A.P.; KUNRATH, T.R.; ANGHINONI, I.; FACCIO CARVALHO, P.C. (Org). **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. p. 41–50.

LAL, R. Constraints to adopting no-till farming in developing countries. **Soil & Tillage Research**, v. 94, p. 1–3, 2007.

MARTINS, A.P.; DENARDIN, L.G.O.; BORIN, J.B.M.; CARLOS, F.S.; BARROS, T.; OZÓRIO, D.V.B.; CARMONA, F.C.; ANGHINONI, I.; CAMARGO, F.A.O.; FACCIO CARVALHO, P.C. Short-term Impacts on Soil-quality Assessment in Alternative Land Uses of Traditional Paddy Fields in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 28, p. 534–542, 2017.

MERTEN, G.H.; ARAÚJO, A.G.; BISCAIA, R.C.M.; BARBOSA, G.M.C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 152, p. 85–93, 2015.

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.R.; LUZ, F. B. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.155, p.351-362, 2016.

MORAINE, M.; DURU, M.; THEROND, O. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop-livestock systems from farm to territory levels. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 32, p. 43–56, 2016.

NASCENTE, A.S.; CRUSCIOL, C.A.C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 187–192, 2012.

NUNES, P. A.A. **Como a intensidade de pastejo determina a heterogeneidade espacial da vegetação e suas implicações em um sistema integrado de produção agropecuária**. 2016. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; DECLERCK, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 187, p. 87–105, 2014.

PEREIRA, A.A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; KASCHUK, G.; CHUEIRE, L.M.O.; CAMPO, R.J.; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1397–1412, 2007.

RATNADASS, A.; FERNANDES, P.; AVELINO, J.; HABIB, R. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p. 273–303, 2012.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70–79, 2014.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185–195, 2012.

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 Agrônômico 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: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.).

Palestras: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 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>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

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 - Umarama, 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.

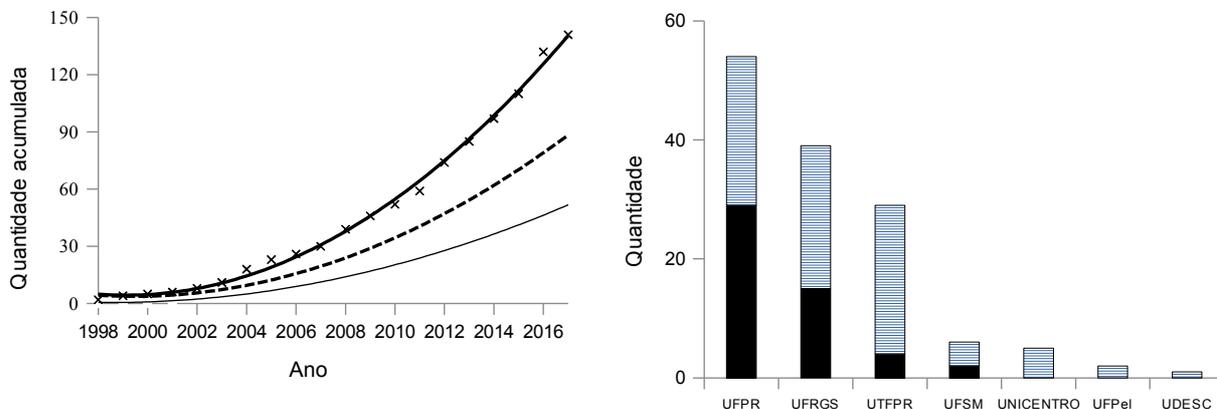


Figura 1 – Quantidade e quantidade acumulada de teses e dissertações defendidas no subtropico brasileiro com o tema de sistemas integrados de produção agropecuária de 1998 a 2017.

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).

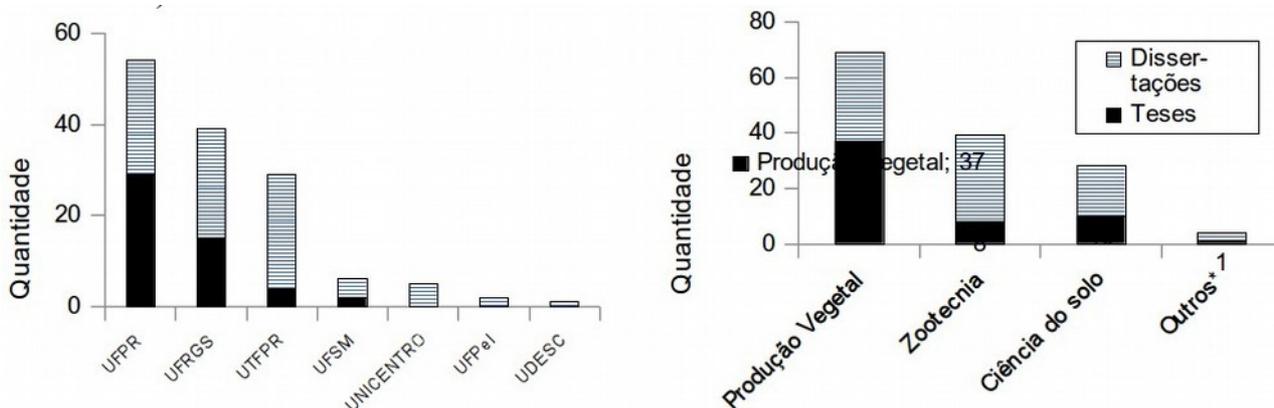


Figura 2 – Quantidade de teses e dissertações defendidas no subtropico brasileiro com o tema de sistemas integrados de produção agropecuária de 1998 a 2017 por instituição de ensino e programa de Pós-graduação. *Outros programas: Agricultura de precisão; Sistemas de produção agrícola familiar; Engenharia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

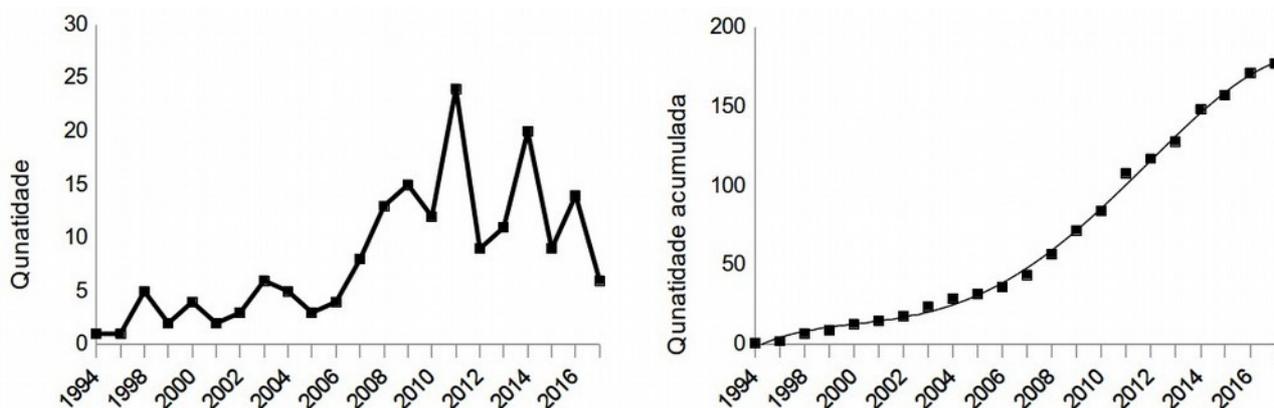


Figura 3 – Quantidade e quantidade acumulada de artigos publicados de 1994 a 2017 com o tema de sistemas integrados de produção agropecuária no subtropico brasileiro.

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).

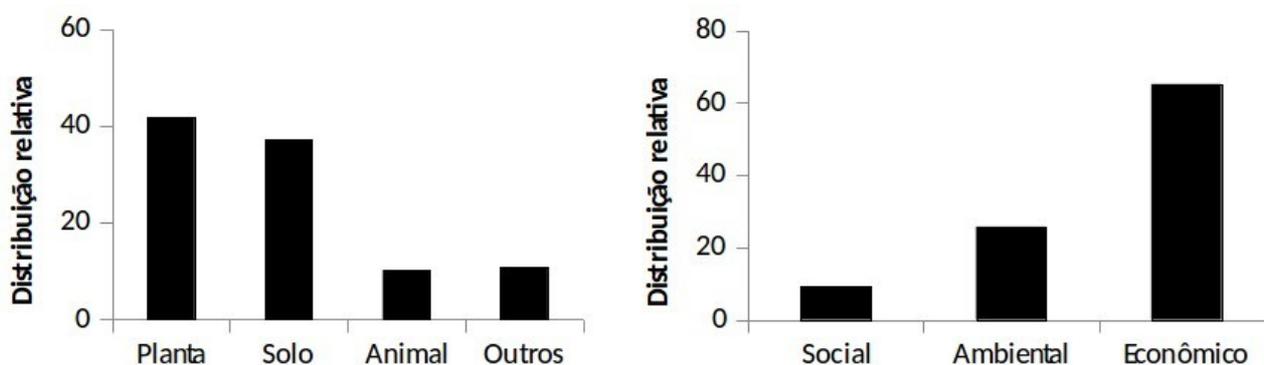


Figura 4 – Distribuição relativa (%) dos componentes planta, solo, animal e outros e dos fatores social, ambiental e econômico, entre 175 artigos científicos publicados de 1994 a julho de 2017 em SIPA.

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.

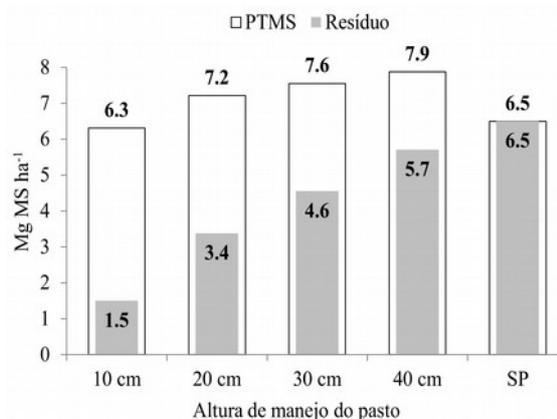


Figura 5 – Produção total de matéria seca e resíduo em função de diferentes alturas de manejo do pasto misto de azevém e aveia preta, que representam diferentes intensidades de pastejo. Compilação de 17 anos de dados (2001 – 2016) obtidos em experimento na Região do Planalto Médio do RS. PTMS = Produção 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 Agrônômica**, 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 Agrônômica**, v. 47, p. 187–194, 2016.

Avanços técnico-científicos e perspectivas dos sistemas integrados de produção agropecuária no cerrado

Edicarlos Damacena de SOUZA ^{1*}, Juliana Mendes Andrade de SOUZA ²,
Gabriela Castro PIRES ³, Jackeline Vieira dos Santos LAROCA ⁴,
Gleidson José COUTINHO ³, Leandro Pereira PACHECO ^{1*}, Marco
Aurélio Carbone CARNEIRO ^{5*}, Francine Damian da SILVA ¹, Helder
Barbosa PAULINO ⁶ e Carlos Eduardo Avelino CABRAL ¹

¹ Professor Dr., Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas. e-mail: edicarlos@pq.cnpq.br.

² Engenheira Agrícola e Ambiental, mestranda em Engenharia Agrícola. UFMT/CUR/ICAT.

³ Estudante de Engenharia Agrícola e Ambiental. UFMT/CUR/ICAT. Bolsista PIBIC.

⁴ Engenheira Florestal, mestranda em Engenharia Agrícola. UFMT/CUR/ICAT

⁵ Professor Dr., Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo.

⁶ Professor Dr., Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Câmpus de Iturama/MG.
* Bolsista de produtividade em pesquisa – CNPq.

Abstract – Integrated crop livestock Systems (ICLS) are associations between agricultural and livestock activities with the objective of exploring the synergism between these two activities, which results in interactions in the soil-plant-animal-atmosphere compartments. In the Brazilian Cerrado region the ICLS have deserved great prominence, due to the increasing adoption of these systems in extensive areas, mainly agriculture previously. In this way, the present text has the objective to demonstrate the technical and scientific advances coming from the adoption of ICLS and also to point out the perspectives of these systems in the Brazilian Cerrado. ICLS in the Brazilian Cerrado have evolved considerably in the last years, leaving a system adopted mainly by cattle ranchers that aimed to renew pastures, starting to a system of large-scale adoption by farmers. At present, the main system used is the one that uses grain crops in the harvest with second crop being sown a grassy, single or in consortium, that is grazed by animals, with this cycle being repeated annually. The gains in grain and animal production are notable in this system, being a path with no return, that is, the tendency is for growth. However, there is a need for specific research on the ICLS, with the insertion of grazing animals and with long-term experiments in order to obtain consistent results to be transmitted to producers. It is also shown a scenario with the need for crop diversity in ICLS, with the introduction of plants from different families with the objective of improving pasture and soil quality, with a consequent increase in crop productivity, with sustainability. Finally, it is necessary and urgent policies that encourage research on the subject, with specific calls for proposals and with long-term support.

Keywords: Integrated crop livestock systems. organic matter. animal production. plant consortia. soybean.

Resumo – Os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) são associações entre as atividades agrícola e pecuária com o objetivo de explorar o sinergismo entre essas duas atividades, o que resulta em interações nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera. Na região do Cerrado brasileiro os SIPAs tem merecido grande destaque, tendo em vista a crescente adoção desses sistemas em extensas áreas, principalmente de agricultura anteriormente. Desta forma, o presente texto tem como objetivo demonstrar os avanços técnicos e científicos advindos da adoção dos SIPAs e, ainda, apontar as perspectivas desses sistemas no Cerrado. Os SIPAs no Cerrado evoluíram consideravelmente nos últimos anos, saindo de um sistema adotado principalmente por pecuaristas que objetivavam renovar pastagens, partindo para um sistema de adoção em larga escala por agricultores. Na atualidade, o principal sistema utilizado é o que utiliza lavoura de grãos na safra com segunda safra sendo semeada uma gramínea, solteira ou em consórcio, que é pastejada por animais, com esse ciclo se repetindo anualmente. Os ganhos em produção de grãos e animal são notáveis nesse sistema, sendo um caminho sem volta, ou seja, a tendência é de crescimento. Porém, surge a necessidade de pesquisas específicas na temática SIPA, com a inserção de animais em pastejo e com experimentos de longo prazo a fim de se obter resultados consistentes para, assim, ser transmitidos aos produtores. Visualiza-se também um cenário com a necessidade de diversidade de culturas em SIPA, com a introdução de plantas de diferentes famílias com o objetivo de melhorar a qualidade do pasto e do solo, com consequente incremento em produtividade de culturas, com sustentabilidade. Por fim, é necessário e urgente políticas que fomentem as pesquisas na temática, com editais específicos e com fomento de longo prazo.

Palavras-chave: Integração Lavoura-Pecuária. matéria orgânica. produção animal. consórcios. soja.

Como Citar (NBR 6023)

SOUZA, Edicarlos Damacena de et. al. Avanços técnico-científicos e perspectivas dos sistemas integrados de produção agropecuária no cerrado. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 125–135. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

INTRODUÇÃO

Os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) são associações entre as atividades agrícola e pecuária com o objetivo de explorar o sinergismo entre essas duas atividades, o que resulta em interações nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera (MORAES et al., 2012). Nesses sistemas, ocorrem associações entre a pecuária (bovinos, ovinos, caprinos, etc.) e cultivos (milho, feijão, arroz, soja, algodão, árvores, etc.), as quais podem ocorrer em diferentes escalas de produções em pequenas, médias e grandes propriedades rurais.

O SIPA, conhecido popularmente no Brasil como ILP, não é um termo tão recente como se preconiza, pois segundo Anghinoni et al. (2013), os cultivos integrados com a produção animal já ocorria no período Neolítico, tendo um dos primeiros registros de sistemas integrados ocorrido no ano 9.000 a.C. na cidade de Jericó. Esses mesmos autores citam que a integração entre a agricultura e a pecuária baseou-se na ciclagem de nutrientes, conhecido por ser um importante princípio para o funcionamento dos ecossistemas naturais. Isso porque os animais consumiam partes de plantas não aproveitadas pelo homem, gerando carne e leite, além do que os excrementos eram fontes de nutrientes para os cultivos.

Na região do Cerrado brasileiro os SIPAs tem merecido grande destaque, tendo em vista a crescente adoção desses sistemas em extensas áreas, principalmente de agricultura anteriormente. Desta forma, o presente texto tem como objetivo demonstrar os avanços técnicos e científicos advindos da adoção dos SIPAs e, ainda, apontar as perspectivas desses sistemas no Cerrado.

SIPA NO CERRADO – CONTEXTUALIZAÇÃO

Na década de 1960 prevalecia no Cerrado a produção extensiva de gado de corte, visto que os solos dessa região apresentavam sérias restrições químicas que impediam a produção das culturas anuais em nível comercial. A partir da década de 1970 iniciaram as pesquisas no Cerrado que tinham como foco a correção da fertilidade do solo e a adubação de culturas como milho e soja e, com isso, parte das áreas de pastagem extensiva foram inseridas no processo produtivo, assim como também ocorreu a abertura de novas áreas. Atualmente, as culturas de soja, milho e arroz nessa região representam, aproximadamente, 60%, 30% e 20% da produção nacional. Ainda, 70% da carne bovina produzida no Brasil vêm dessa região. Entretanto, mesmo com o sucesso das atividades lavoura e pecuária, grande parte dos solos estão com algum grau de degradação, podendo chegar a 60% no caso das pastagens.

Em meados da década de 1960 e 1970 surgem no Brasil Central sistemas que integram agricultura e pecuária, utilizando inicialmente a cultura do arroz em plantio convencional e posterior implantação de pastagens. Porém, devido à inexistência ou baixa adoção de manejos adequados (correção do solo, adubação, lotação animal, etc.) as áreas perdiam rapidamente o potencial produtivo, levando o solo à degradação.

Somente a partir do final da década 1980 e início da década de 1990 que iniciaram-se os estudos mais intensivamente com SIPA, principalmente com os sistemas Barreirão e Santa Fé (KLUTHCOUSKI et al., 2003).

O sistema Barreirão possui como principal característica a aração profunda com arado de aiveca, a fim de se fazer o condicionamento físico e químico do solo, incorporar em profundidade os corretivos e o banco de sementes de plantas daninhas. É utilizada uma cultura anual (soja, milho, arroz) em consórcio com uma gramínea para pastejo. Nesse sistema, a lavoura é cultivada a cada três ou quatro anos com o objetivo de fazer a recuperação dos pastos. Esse sistema se fundamenta na redução de riscos climáticos, intrínsecos da região, e na correção/melhoria das limitações físicas e químicas do solo (MACEDO, 2009).

O principal entrave para a adoção do Sistema Barreirão é a cultura a ser utilizada, pois os solos sob pastagem degradada apresentam baixa fertilidade, o que inviabiliza a produção de culturas

tradicionais no Brasil Central, como soja e milho. Como alternativa a esse problema tem sido cultivadas variedades ou híbridos duplos de milho com menor custo.

As principais culturas produtoras de grãos utilizadas nesse sistema são o arroz e o milho, este último sendo utilizado também para silagem. Dados de Yokoyama et al. (1994) indicam produtividade de arroz variando de 30 a 38 sacas ha^{-1} , com custo de produção entre 26 e 36 sacas ha^{-1} . Já a produtividade de grãos de milho variaram de 53 a 67 sacas/ha, com custo de produção entre 63 e 82 sacas ha^{-1} e o milho para silagem com produtividade de 31 toneladas ha^{-1} com custo de produção de 24,7 toneladas ha^{-1} (YOKOYAMA et al., 1998). Nesse sistema a fase de lavoura é conduzida por um ano cedendo lugar à pastagem que é cultivada na sequência. Esse pasto geralmente é de gramíneas do gênero *Urochloa*, tanto da espécie *U. decumbens* como *U. brizantha*.

Dados do relatório do subprojeto 04.2002.072.01 demonstram que com a utilização da *U. decumbens* foi possível observar um ganho médio diário (GMD) na época seca de 276, 330 e 477 g dia^{-1} no 1º, 2º e 3º ano, respectivamente. Por outro lado, na época das águas o GMD foi de 725, 777 e 512 g dia^{-1} no 1º, 2º e 3º ano, respectivamente. Com a utilização de *U. brizantha* o GMD na época seca foi de 249, 350 e 451 g dia^{-1} no 1º, 2º e 3º ano, respectivamente. Na época das águas esse ganho foi superior, atingindo o GMD de 715, 721 e 547 g dia^{-1} no 1º, 2º e 3º ano, respectivamente. Desta forma, o ganho geral na média das duas gramíneas atingiu valores de 424, 436 e 414 kg ha^{-1} nos três anos, respectivamente.

Esses resultados demonstram a viabilidade de se reformar os pastos utilizando o sistema Barreirão, uma vez que, mesmo que o lucro na fase lavoura seja pequeno o foco do produtor é ter o pasto reformado com o auxílio da lavoura. Isso possibilita incremento na rentabilidade do sistema com a integração dos resultados de lavoura e pasto.

Esse sistema foi amplamente utilizado no passado, entretanto, com a crescente adoção do plantio direto, o Sistema Barreirão tem cedido espaço a outros sistemas, pois mesmo áreas que tradicionalmente eram utilizadas com lavouras vêm sendo inseridas aos sistemas integrados de produção.

Uma evolução do Sistema Barreirão foi a adoção do Sistema Santa Fé que possibilita rápido retorno técnico e econômico, e por esse motivo tem sido bastante difundido. Inicialmente se objetivou a ensilagem ou corte de *Urochloa brizantha* para fornecimento, no cocho, a animais confinados (KLUTHCOUSKI et al., 2003). Atualmente, nesse sistema ocorre o consórcio de cultura de grãos (milho, principalmente) com forrageiras tropicais (*Urochloa*, principalmente), sob plantio direto, em áreas de lavoura com solo já corrigido parcialmente ou totalmente. De forma geral, a cultura na safra é a soja, seguido de milho de segunda safra consorciado com espécies forrageiras, que após a colheita deixa sob o solo um pasto de alta qualidade, aliviando o efeito acentuado da estacionalidade na oferta de forragem.

Na região do Cerrado, a segunda safra de milho consorciado com espécies forrageiras é uma realidade com o uso de herbicidas supressores. Isso, aliado ao plantio direto, tem auxiliado na manutenção da produção das pastagens, a recuperação de pastagens degradadas ou em início de degradação.

No Sistema Santa Fé, a produção de forragem na entressafra e palhada para o plantio direto são os principais objetivos, tendo como principais vantagens não alterar o cronograma de atividades da propriedade e não necessitar de equipamentos especiais para sua implantação. Ainda, esse sistema possibilitou a implantação do plantio direto devido à grande produção de fitomassa.

Na maioria dos casos não ocorre uma competição entre a cultura produtora de grãos e o pasto cultivado em consórcio, de forma que a produção da cultura não é afetada. Em 11 experimentos conduzidos em MT, GO e DF, na safra 2000/2001, a produtividade média do milho cultivado solteiro na segunda safra foi de 6.417 kg ha^{-1} e a do milho consorciado com o pasto foi de 6.443 kg ha^{-1} (KLUTHCOUSKI et al., 2000). Esses mesmos autores avaliaram três experimentos em GO e BA com o objetivo de produção de silagem de milho ou sorgo, com essas culturas cultivadas solteiras ou consorciadas com pasto. Com a cultura do milho e sorgo, solteiros e consorciados com pasto, a produção de silagem foi de 48,4 e 48,5 Mg ha^{-1} e de 32,3 e 32,9 Mg ha^{-1} , respectivamente.

Após a colheita do milho ou sorgo o pasto recebe maior incidência luminosa e tem seu crescimento acelerado e, posteriormente, pode ser utilizado para pastejo. Nessa linha, Alvarenga et al. (2007) observaram GMD de 700 a 900 g dia⁻¹ utilizando novilhos em pasto de *Panicum maximum* cv. Tanzânia consorciado com milho, atribuindo os maiores ganhos ao cruzamento da raça Nelore x Red Angus.

Estudos conduzidos pela EMBRAPA indicam GMD de 650 g dia⁻¹ em pasto de *Urochloa* que foi consorciada com milho, atingindo taxa de lotação de 4UA ha⁻¹. Na época da seca foi utilizado suplementação concentrada na base de 2 kg dia⁻¹ por animal e o GMD foi de 1.030 g dia⁻¹.

Com a adoção dos Sistemas Barreirão e Santa Fé houve a criação/adaptação de diversos outros sistemas que integram agricultura e pecuária, assim como a inserção do componente arbóreo. Nos estados que tradicionalmente são produtores de grãos, como é o caso de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, utiliza-se alta tecnologia e mão-de-obra qualificada. No entanto, o regime climático é um entrave à utilização do consórcio milho safrinha/forageira. Nesses locais os produtores não abrem mão de cultivar pelo menos uma safra com grãos, seja milho ou soja. Ainda, algumas propriedades são muito extensas, não havendo tempo hábil para o plantio de milho ou sorgo na safrinha, o que deixa muitas áreas em pousio nessa época do ano. Além disso, cerca de 15% dos solos no Brasil Central são arenosos, e recentemente estão sendo incorporados ao processo produtivo. Enquanto, nesses solos, a fertilidade no perfil ainda for baixa, há a possibilidade de realização somente da safra de verão, que geralmente é a cultura da soja.

Com isso, uma opção para integrar lavoura e pecuária nessas áreas seria a utilização de uma cultura de grãos na safra e uma forrageira na safrinha. Esse sistema tem sido utilizado com frequência, se mostrando até o momento a opção mais viável aos produtores, ao invés de se fazer a safrinha com milho. Esse sistema é conhecido no Cerrado como “Boi Safrinha”. Apesar do nome utiliza-se, na maioria dos casos, novilhas com peso variando de 200 a 300 kg que ficam em pastejo até peso de cerca de 390 kg, quando são abatidas. Ou ainda, estes animais ficam por um período de 60 a 90 dias em pastejo e, posteriormente, são conduzidos ao semi-confinamento até adquirirem peso para o abate.

Nesse sistema, a gramínea utilizada quase na totalidade das áreas da Região é a *Urochloa ruziziensis*, pois essa gramínea possui como características o baixo custo das sementes, o fácil e rápido estabelecimento, a alta palatabilidade e aceitabilidade pelos animais e a facilidade de dessecação após o pastejo.

Por outro lado, a utilização de sistemas com integração entre pastagem e floresta é recente, com poucos exemplos, mas que estão em expansão, de forma especial nas regiões com programas de cultivo de eucalipto. Além disso, sabe-se do efeito positivo do conforto térmico aos animais sobre o ganho de peso. Com isso, pecuaristas da região tem adotado a integração entre pecuária e floresta com renques de árvores com 3 a 10 linhas e espaçamento que tem variado de 50 a 500 m.

O sistema “Boi Safrinha” ganhou um espaço muito grande no Cerrado brasileiro por pouco alterar o cronograma das propriedades, além de não necessitar de grandes investimentos para sua adoção. Em função disso, esse sistema tornou-se um dos mais utilizados na região e muitas pesquisas tem sido direcionadas à compreender as relações entre solo-planta-animal-atmosfera. Desta forma, a seguir serão apresentados os principais avanços técnicos e científicos da adoção desse sistema no Cerrado.

ATRIBUTOS DE SOLO EM SIPA NO CERRADO

Em SIPA o solo é o centralizador dos fluxos de matéria e energia, tendo em vista que é nele que se observam as maiores modificações do sistema de produção imposto pelo homem. A produção, tanto do componente vegetal como do animal, será reflexo dos fluxos (+ ou -) que foram impostos ao sistema solo.

O solo catalisa todos os processos derivados dos diferentes manejos ao qual esse é submetido. Assim sendo, tem-se que adotar uma filosofia de manejo baseada não apenas na eficiência dos sistemas de produção, mas sim, e principalmente, naqueles envolvidos com a sustentabilidade do sistema solo. Nesse sentido, a preocupação da grande maioria dos agricultores quando da difusão do sistema “Boi safrinha” era com a compactação que o animal poderia causar nas áreas agrícolas. Isso porque o pisoteio animal poderia gerar alterações na estrutura do solo com reflexos negativos na produtividade da cultura da soja que viria na sequência.

Estudos no sentido de se avaliar o efeito da intensidade de pastejo já eram conduzidos no Sul do Brasil desde o ano 2000 (CASSOL, 2003), com resultados demonstrando não haver efeito do pisoteio animal na produtividade da cultura da soja, desde que, as intensidades de pastejo adotadas fossem moderadas. Porém, no Cerrado até o ano de 2010 não haviam estudos com foco na intensidade de pastejo e seu efeito sobre atributos de solo.

No estado de Goiás foi implantado experimento com objetivo de se avaliar diferentes alturas de manejo de pasto de *Urochloa ruziziensis* cultivada após soja em que se obteve resultados positivos em atributos químicos (SILVA, 2013), físicos (BONETTI et al., 2015) e biológicos do solo (TERRA, 2013) quando se utilizou animais em pastejo, desde que em intensidades moderadas.

Em SIPA-PD, a intensidade de pastejo não só interfere na quantidade de biomassa remanescente, como e principalmente no efeito dessa biomassa sobre o sistema solo (Tabela 1). Bonetti et al. (2015) observaram que em pasto de *U. ruziziensis* manejada acima de 25 cm de altura não há efeito negativo da entrada dos animais sobre a densidade do solo, a porosidade total e a resistência à penetração, sendo esses atributos semelhantes à áreas sob plantio direto sem pastejo.

Tabela 1 – Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), resistência à penetração (RP), fitomassa remanescente e produtividade de soja em sistemas integrados de produção agropecuária submetido a intensidades de pastejo em Latossolo Vermelho. (Adaptado de BONETTI et al., 2015)

Intensidade de pastejo	Ds	PT	RP	Fitomassa remanescente	Produtividade
Cm	Mg m ⁻³	m ⁻³ m ⁻³	Mpa	-----Mg ha ⁻¹ -----	
25	1,22	0,57	1,81	6,94	3,47
35	1,22	0,57	1,63	8,86	3,42
45	1,23	0,61	1,74	11,21	3,76
Sem pastejo	1,20	0,61	1,53	13,66	3,67

No mesmo experimento citado acima a presença de animais em pastejo favoreceu a movimentação vertical dos produtos da dissolução do calcário em apenas 12 meses após a aplicação, quando comparado com o PD sem pastejo (SILVA, 2013). Esse efeito foi verificado pelos indicadores de acidez (CTC efetiva e saturação por bases), como pelos teores de cálcio trocável no solo (Figura 1).

Segundo Anghinoni et al. (2011), uma diversidade de fatores podem contribuir para essa rápida movimentação vertical do calcário, como: ação conjunta do pastejo alterando os atributos físicos do solo, da grande quantidade de biomassa vegetal sobre o solo e os ligantes orgânicos presentes nos excrementos dos animais. Ainda, a liberação de compostos orgânicos pela gramínea, sob influência do pastejo favorecendo remoção de parte aérea juntamente com senescência de componentes morfológicos, tanto de parte aérea como de raiz, pode ser responsável por um efeito mais homogêneo nas áreas pastejadas, uma vez que a distribuição de resíduos dos animais é muito heterogênea.

A atividade microbiana é favorecida em SIPA-PD com incrementos consideráveis no carbono e no nitrogênio na biomassa microbiana (Tabela 2) quando se tem os animais em pastejo. Além disso, o gasto metabólico da biomassa microbiana é menor quando se tem o pastejo pelos animais. Com a utilização do SIPA-PD, ocorrem incrementos de 23 e 52% no C-BM e N-BM, respectivamente, em relação ao PD sem pastejo.

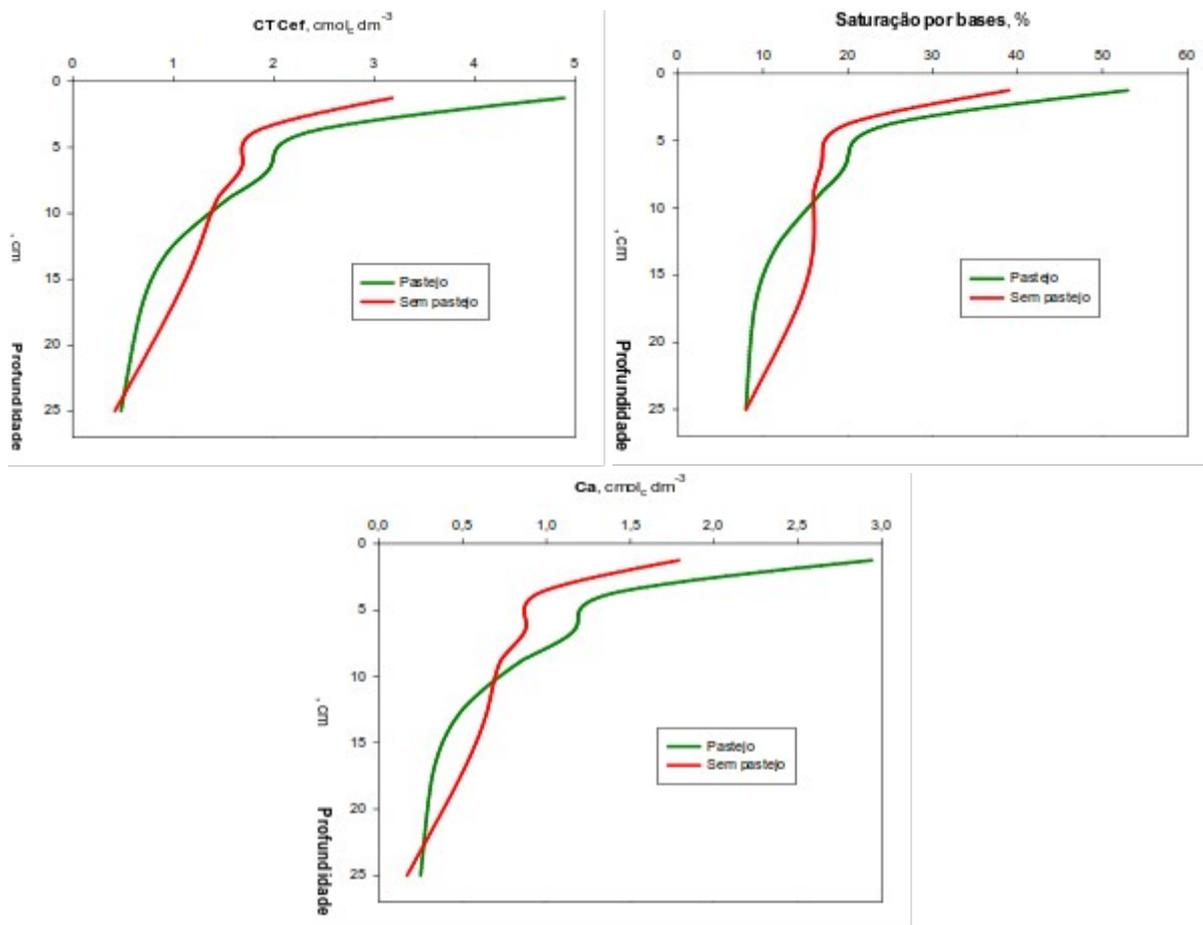


Figura 1 – CTC efetiva, saturação por bases e cálcio trocável em Sistema Integrado de Produção Agropecuária em Plantio Direto com pastejo e Plantio Direto sem pastejo 12 meses após aplicação superficial de calcário no Cerrado (SILVA, 2013).

Tabela 2 – Carbono na biomassa microbiana (C-BM, mg C kg⁻¹ de solo), nitrogênio na biomassa microbiana (N-BM, mg N kg⁻¹ de solo), respiração basal diária (C-CO₂, mg C-CO₂ kg⁻¹ de solo), quociente microbiano (BM/COT, %) e quociente metabólico (qCO₂, mg CO₂/mg C dia⁻¹ x 10⁻³) em Sistema Integrado de Produção Agropecuária em Plantio Direto com pastejo e Plantio Direto, sem pastejo no Cerrado. Adaptado de Terra (2013).

Treatamento	C-BM	N-BM	C-CO ₂	BM/COT	qCO ₂
Pastejo	825	38	19,5	1,6	23,7
Sem pastejo	671	25	19,3	1,1	28,7

Medidas do quociente metabólico são importantes para detectar o efeito das condições de estresse ambiental. Em condições em que o quociente metabólico se eleva, há uma indicação de que a população de micro-organismos está gastando mais energia para sua manutenção, fato ocorrido no PD sem pastejo, indicando perda de qualidade nesse sistema, em relação ao SIPA-PD.

Verifica-se que não há efeito negativo da presença dos animais em intensidades moderadas de pastejo sobre atributos de solo, o que reflete na produtividade de soja, a qual não é afetada negativamente pela presença de animais em pastejo (Tabela 1). Além de resultados de pesquisa os autores possuem relatos de diversas propriedades no Cerrado que estão conseguindo manter altas produtividades da cultura da soja na safra e ganho de peso animal na fase pastagem utilizando SIPA-PD, com manejo adequado de pasto. Por outro lado, há alguns relatos de diminuição de até 10 sacas/ha na produtividade de soja quando a intensidade de pastejo adotada é muito elevada.

Isso é reflexo da baixa quantidade de resíduos deixada sob o solo, comprometendo um bom estabelecimento e condução da cultura da soja em sucessão ao pasto.

MELHORANDO O SISTEMA “BOI SAFRINHA”

O sistema “Boi safrinha” tem sido amplamente utilizado nas propriedades no Cerrado, entretanto, ele possui algumas limitações. Apesar da *U. ruziziensis* ser uma gramínea com boas características para a região essa possui algumas limitações de uso como baixo teor de proteína em relação à *U. brizantha* ou *Panicum maximum*. Ainda, com a expansão dos SIPAs no Cerrado as propriedades não podem ficar dependentes de somente uma gramínea para implantação desse sistema, uma vez que, pode haver problemas climáticos e que inviabilizam a produção de sementes das forrageiras.

Com isso, surge a necessidade de melhorias nesse sistema com a introdução de novas gramíneas e melhorias na qualidade do pasto, talvez com a inserção de leguminosas para pastejo. Desta forma, a parceria entre a Rede Fomento ILPF, EMBRAPA e Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis, foi firmada a fim de testar novas gramíneas e consórcios com o objetivo de melhorar o sistema “Boi Safrinha”.

Estão sendo testadas quatro gramíneas (*U. ruziziensis*, *U. brizantha* cv. Piatã, *U. brizantha* cv. Paiaguás e *Panicum maximum* cv. Tamani) solteiras ou consorciadas com feijão caupi e feijão guandu. A hipótese inicial é de que o aumento de diversidade no sistema promove melhorias em atributos de solo com reflexos na produtividade da pastagem e da cultura de soja que é cultivada após o pasto semeado anualmente. O experimento foi implantado no ano de 2014 em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (45%) em região com precipitação média anual de 1.500 mm.

Assim, serão apresentados resultados já obtidos até o presente momento no que se refere à produção vegetal, animal e de atributos de solo nesse experimento.

Produção vegetal e animal

Resultados de dois anos agrícolas demonstram que a produtividade acumulada de soja não é influenciada pela gramínea utilizada na fase pastagem, por outro lado o consórcio com leguminosas promove incrementos consideráveis em relação à gramínea cultivada solteira (Tabela 3). A diferença na produção acumulada de dois anos de soja chega à 14 sacas/há em relação ao sistema com pasto solteiro. Assim, os resultados de produtividade observados no presente estudo indicam que sistemas de produção com bases conservacionistas promovem melhorias na qualidade do solo que refletem em ganhos na produtividade das culturas.

Tabela 3 – Produtividade acumulada (kg ha⁻¹) em duas safras da cultura da soja em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob plantio direto com leguminosa na fase pastagem.

Gramíneas	Consórcios			Média
	Caupi	Guandu	Solteiro	
Ruziziensis	7305	6182	6324	6820
Paiaguás	7575	6832	6046	6601
Tamani	6708	6614	6288	6537
Piatã	6985	6924	6573	6827
Média	7143	6638	6307	

A produção animal nesses sistemas é influenciada pelas gramíneas e pelos consórcios (Tabela 4). O Tamani promove maior ganho médio diário (GMD) em relação ao Paiaguás e à Ruziziensis. Da mesma forma o consórcio com caupi aumenta o GMD em relação ao consórcio com guandu ou solteiros. Por outro lado, a taxa de lotação é menor na Ruziziensis e Tamani e as maiores no Paiaguás e Piatã (Tabela 5). Já o consórcio com caupi propicia maior taxa de lotação seguido pelo consórcio com guandu e o cultivo solteiro.

Tabela 4 – Ganho médio diário (g animal⁻¹) em três safras de pasto (2015, 2016 e 2017) em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob plantio direto com leguminosa na fase pastagem.

Gramíneas	Consórcios			Média
	Caupi	Guandu	Solteiro	
Ruziziensis	703	625	564	631
Paiaguás	781	585	646	671
Tamani	853	594	734	727
Piatã	688	691	677	685
Média	756	624	655	

Tabela 5 – Taxa de lotação média (UA ha⁻¹) em três safras de pasto (2015, 2016 e 2017) em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob plantio direto com leguminosa na fase pastagem.

Gramíneas	Consórcios			Média
	Caupi	Guandu	Solteiro	
Ruziziensis	2,6	1,9	1,5	2,0
Paiaguás	3,7	2,8	2,1	2,9
Tamani	2,8	2,0	1,8	2,2
Piatã	3,3	3,1	2,5	3,0
Média	3,1	2,4	2,0	

Esses dados demonstram que é possível incrementar a produtividade vegetal e animal no sistema “Boi safrinha” utilizando diferentes gramíneas e consórcios na fase pastagem. Além disso, a Ruziziensis, apesar de ser largamente utilizada nesse sistema no Cerrado, possui sérias limitações com relação ao tempo em que os animais permanecem em pastejo. Isso porque essa gramínea não tolera excessivo pisoteio animal e observa-se que o tempo máximo de pastejo em SIPA-PD com a utilização dessa gramínea deve ser de cerca de 60 dias para que não se tenha prejuízos no GMD.

Por outro lado, o Tamani promove os maiores GMD nesse sistema, porém a baixa taxa de lotação compromete o ganho de peso por área. Por ser um Panicum tem crescimento inicial lento e baixa produção no período de estiagem, favorecendo baixos rendimentos por área. Assim, os dados até o presente momento sugerem que nesses sistemas em que os animais permanecem em pastejo entre os meses de maio e agosto as melhores opções de gramíneas a serem utilizadas são as gramíneas da espécie *Urochloa brizantha*, como o Paiaguás e Piatã. Dentre essas duas gramíneas tem-se observado leve vantagem para a primeira, uma vez que possui uma maior quantidade de folhas em relação a colmos e menores problemas de acamamento. Porém, o preço dessa semente é mais elevado, o que pode ser compensado com uma diminuição de até 30% na taxa de semeadura, uma vez que estas possuem cerca de 180 mil sementes por kg em comparação ao Piatã que possui cerca de 125 mil semente por kg.

Atributos indicadores de qualidade do solo

O Carbono é o principal componente da matéria orgânica do solo e juntamente com o nitrogênio total são bons indicadores de alterações no manejo adotado no solo. Além disso, a biomassa microbiana do solo, por ser a fração viva do solo, é alterada rapidamente à medida que ocorre mudanças nos fluxos de matéria e energia no sistema solo. Por esse motivo esses atributos podem ser considerados como excelentes indicadores da qualidade do solo, sendo de fácil mensuração, porém devem ser avaliados ao longo do tempo a fim de se ter informações mais precisas sobre o manejo adotado.

Nessa linha, as gramíneas avaliadas não influenciam os estoques de carbono orgânico total (COT) na camada de 0-10 cm em SIPA-PD no curto prazo (Tabela 6), por outro lado o consórcio com leguminosas incrementa os estoques em cerca de 18%, em relação às gramíneas cultivadas solteiras. Já os estoques de nitrogênio total são incrementados quando se substitui a Ruziziensis por Paiaguás e também ao se consorciar as gramíneas com as leguminosas caupi e guandu.

Tabela 6 – Estoque de carbono orgânico total (E-COT) e estoque de nitrogênio total (E-NT), na camada de 0 a 10 cm, em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob Plantio Direto com consórcio na fase pastagem.

Gramíneas	Consórcios			Média
	Caupi	Guandu	Solteiro	
-----E-COT (Mg ha ⁻¹)-----				
Ruziziensis	32,5	36,7	32,5	33,9
Paiaguas	31,1	37,1	30,4	32,9
Tamani	40,8	33,2	26,8	33,6
Piatã	34,7	33,7	29,8	32,7
Média	34,8	35,2	29,9	
-----E-NT (Mg ha ⁻¹)-----				
Ruziziensis	5,0	5,9	4,5	5,1
Paiaguas	7,0	7,0	5,5	6,5
Tamani	7,0	6,3	4,6	5,9
Piatã	6,0	5,7	5,2	5,6
Media	6,2	6,2	4,9	

Tabela 7 – Carbono da biomassa microbiana (C-BM), nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$) do solo em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob Plantio Direto, com consórcios na fase de pastagem.

Gramíneas	Consórcios			Média
	Caupi	Guandu	Solteiro	
-----C-BM (mg C kg ⁻¹ solo)-----				
Ruziziensis	699	389	538	509
Paiaguas	773	534	296	534
Tamani	793	575	369	579
Piatã	774	761	267	600
Média	760	565	367	
-----N-BM (mg N kg ⁻¹ solo)-----				
Ruziziensis	48,9	48,1	16,7	37,9
Paiaguas	52,2	44,4	15,6	37,4
Tamani	69,8	35,5	24,3	43,2
Piatã	44,8	47,8	23,5	38,7
Media	53,9	43,9	20,0	
----- qCO_2 ((mg C-CO ₂ .mg ⁻¹ C-BM h ⁻¹) x 10 ⁻³)-----				
Ruziziensis	13,1	27,2	104,4	48,3
Paiaguas	11,5	8,4	55,4	25,1
Tamani	7,2	8,9	24,3	13,4
Piatã	12,3	4,6	43,0	20,0
Media	11,0	12,3	56,8	

As gramíneas pouco influenciam os atributos biológicos do solo, porém o C e N da biomassa microbiana são incrementados no consórcios com leguminosas em relação à gramínea solteira (Tabela 7). Esse aumento na biomassa microbiana vem acompanhado de menores valores de quociente metabólico (qCO_2). Valores baixos de qCO_2 estão relacionados com ambientes mais estáveis ou mais próximo do seu estado de equilíbrio, pois indicam economia na utilização de energia. Porém, o contrário aponta ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (RAGANA et al., 2012). Esses resultados demonstram que a biomassa microbiana não se encontra em estresse, sendo capaz de utilizar o C orgânico de forma eficiente, ou seja, incorporando em seu próprio metabolismo.

Zanchi (2017) avaliando o efeito dos consórcios nos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) chegaram à conclusão de que o consórcio entre gramíneas e leguminosas proporcionaram efeitos positivos nos atributos quantitativos dos FMAs. Além disso, essa mesma autora afirma que o Piatã favorece melhores condições para aumento na colonização micorrízicas. Ainda, que o gênero *Glomus* encontra-se adaptado aos SIPA-PD.

Estudos com enzimas vêm sendo conduzido na área experimental com resultados parciais bastante interessantes. A atividade da enzima urease e fosfatase ácida é superior no solo que possui gramíneas em consórcio com leguminosas em relação à gramíneas solteiras. Da mesma forma ocorre para as enzimas arilsulfatase e FDA que tem sua atividade incrementa nos consórcios.

Esses resultados de melhorias nos atributos indicadores de qualidade do solo com a utilização dos consórcios refletem na produtividade das culturas como apresentado anteriormente. Além disso, há maior ganho animal nessa condição de consórcio, o que favorece incrementos na rentabilidade da propriedade.

PERSPECTIVAS DA ILP NO CERRADO

Os SIPA-PD estão em expansão no Cerrado brasileiro, sendo adotado principalmente por parte de agricultores e, em menor escala, por pecuaristas. Entretanto, a expansão ocorreu sem uma base científica, uma vez que os agricultores tem como característica serem desbravadores. Assim, esses agricultores foram adotando o sistema muitas vezes sem um acompanhamento técnico. Talvez pelo fato de não existir profissionais com base sólida para conduzir na sua totalidade os sistemas integrados, pois nos currículos da maioria dos cursos superiores não há uma disciplina que aborde essa temática.

Além disso, os sistemas integrados foram implantados sem uma validação científica. Isso porque para se validar um sistema de produção há a necessidade de muito tempo de pesquisa, tempo esse que os agricultores não esperam. Por esse motivo, muitos dos resultados encontrados para a região do Cerrado são baseados em experiência e não em validação científica.

Segundo Anghinoni et al. (2013) as interações sinérgicas dos SIPA-PD depende da complexidade do sistema em função de características relacionadas à diversidade, temporalidade e espacialização. Esses autores comentam que quanto maior a diversidade no componente vegetal e animal, aliado ao tempo em que se conduz o sistema (repetição dos arranjos produtivos no tempo) e o menor espaço físico de interação entre os componentes, maior será a possibilidade de incremento na qualidade do sistema.

Baseado nessa visão percebe-se que no Cerrado a experimentação em SIPA está muito distante da ideal, pois geralmente não envolve profissionais de diferentes áreas com pensamento convergindo na evolução dos sistemas. O que ocorre são pesquisas compartimentalizadas com a visão cartesiana de ciência e que são conduzidas por um período curto de tempo, principalmente devido à dificuldade de se conduzir experimentos com animais e diferentes arranjos. Esses fatores contribuem com uma demanda elevada de recursos e que a grande maioria das instituições de pesquisa não possui. Isso poderia ser minimizado com a parceria publico-privada, em que os experimentos ocorreriam em propriedades particulares, mas que também implica em altos investimentos e que, muitas vezes, o produtor tem receio de custear.

Além disso, muitas das pesquisas que tratam dos sistemas integrados ocorrem com a comparação de sistemas de produção com um sistema que tenha a entrada de animais. Na verdade, não ocorrem pesquisas com SIPA, pois os protocolos não são pensados nesses sistemas, ou seja, a visão das pesquisas tem sido muito compartimentalizada.

Por fim, os sistemas integrados no Cerrado são extremamente importantes para atenuar o problema da falta de rotação de culturas. É um ponto comum entre os produtores e técnicos da região que os agricultores dificilmente deixarão de cultivar a soja na safra. Desta forma, a diversificação de culturas para manutenção do plantio direto deve ocorrer na segunda safra, com o uso dos SIPA-PD, por exemplo. E, os resultados obtidos citados acima demonstram que aumentar a diversidade de plantas no sistema tem promovido benefícios ao solo e planta. Com isso, protocolos que abordem o incremento de diversidade no sistema devem ser foco das pesquisas, porém, com aumento na diversidade funcional (aumento de famílias de plantas) e não somente na diversidade florística (número de espécies).

Ainda, surge a grande necessidade de políticas de governo que fomente as pesquisas nessa temática, com editais de fomento para pesquisas de longo prazo. Somente dessa forma poderemos evoluir no conhecimento desses sistemas de produção com foco em aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção com a maximização da produção e redução no uso de insumos externos.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, C.R.; GONTIJO NETO, M.M.; RAMALHO, J.H.; GARCIA, J.C.; VIANA, M.C.M.; CASTRO, A.A.D.N. **Sistema de integração lavoura-pecuária**: o modelo implantado na Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 9 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 93).
- ANGHINONI, I. ; CARVALHO, P.C.F. ; MORAES, A. ; SOUZA, E. D. ; CONTE, O. ; LANG, C. R. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: Fonseca, A.F.; Caires, E. F.; Barth, G.. (Org.). **Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Sistema Plantio Direto**. 1. ed. Ponta Grossa: EUEPG, 2011, p. 273-310.
- 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. In: ARAÚJO, A.P.; ALVES, B.J.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 325–380.
- BONETTI, J.A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; SILVA, G.N. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 45, p. 104–112, 2015
- CASSOL, L.C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 144 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, Condução e Resultados Obtidos com o Sistema Santa Fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Eds) **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 407–442.
- KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. R.; FERRARO, A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, v. 57: p. 97–104, 2000.
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 38, n. spe, July 2009.
- MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; BARRO, R.S.; LUSTOSA, S.B.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; REISENDORF-LANG, C. Perspectivas da Pesquisa em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária no Brasil e os novos desafios. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2012. **Anais...**Brasília, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2012.
- SILVA, G. N. **Atributos químicos do solo após aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto no cerrado**. Jataí, Universidade Federal de Goiás, 2013. 51 p. Dissertação (Mestrado).
- TERRA, F. D. **Matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e uso no cerrado**. Jataí, Universidade Federal de Goiás, 2013. 102 p. Dissertação (Mestrado).
- YOKOYAMA, L.P.; KLUTHCOUSKI, J.; OLIVEIRA, I.P. de. **Impactos socioeconômicos da tecnologia “Sistema Barreirão”**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAP, 1998. 37 p. (EMBRAPA-CNPAP-BOLETIM DE PESQUISA9)

Eixo Temático 6:

Parâmetros edáficos

Tensões-deformações do solo induzidas pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária

Cezar Francisco ARAUJO JUNIOR

Scientific researcher in Soils Department of Agronomic Institute of the State of Paraná – IAPAR, where act also as Permanent Professor and Coordinator of Master Science Programme in Conservation Agriculture from IAPAR. Agronomist, MSc. In Soil Science and Plant Nutrition and Doctor in Soil Science, Concentration Area: Natural Resources and Land Use. E-mail: cez_araujo@iapar.br

Abstract – Stress-strain of soil induced by animal trampling and traffic of machines in latosol under crop-livestock integration system. – Stresses exerted on soil surface by machines, equipments and by animal trampling are depending of tyres properties, soil physical properties and animals hoofs, as well of tyre dimensions at contact tyre-soil, tracks-soil and equipment-soil and hoofs-soil. Soil deformations occurs when stress exerted in the soil is higher the mechanical strength, soil water content at the moment of the operations or animal trampling, land use and soil management as well of the machines. In this chapter of book, intending to demonstrate the adequate choose of the moment of the traffic of agricultural machines and animal trampling might to minimize the effects on soil physical properties related to soil structure under crop-livestock integrated system. In an experiment carried at West Experimental Station Research at Agronomic Institute of the State of Paraná (Agricultural Research Institute of Paraná) – IAPAR, located in Santa Tereza do Oeste count, West region of the State of Paraná. The soil was classified as Dystropherric Red Latosol according to Brazilian Classification System of Soil and Rhodic Hapludox (Soil Taxonomy) and Rhodic Ferralsol (FAO), very clayey texture (76 dag kg⁻¹ clay, 13 dag kg⁻¹ silt and 11 dag kg⁻¹ sand) at layer 0 – 40 cm. The experiment was installed in randomized block design with three replicates. The treatments were: soybean in crop succession to winter grazed. T1 – white oat cv. IPR Esmeralda com triticale; T2 – consortium black oat cv. Iapar 61 with rye cv. IPR 89; T3 – consortium white oat cv. IPR Suprema with rye cv. IPR 89. Besides of experimental results, it was sought to quantify the stresses exerted by cattle hoofs in animals with 300 kg in static and dynamic conditions which can reach 200 kPa in the soil surface similar the grain combine harvester. Based on the results, integrated system with winter pastures with intense traffic of machines proportioned soil deformation and increases in soil bulk density, decreased total porosity and macroporosity which can committing water and gas flow and contribute to physical degradation processes as hydric erosion, soil compaction and shearing. On the other hand, adequate strategies as straw on the soil surface by winter pastures successions to soybean and adequate stocking rate to soil load bearing capacity can minimizes negatives impacts on soil structure by traffic of machines and animal trampling.

Keywords: Conservation Agriculture System. crop diversification. soil compaction. soil physical properties. soil stress distribution. Proctor essay.

Resumo – As tensões exercidas na superfície do solo pelas máquinas, equipamentos e pelo pisoteio animal dependem das propriedades físicas dos pneus, do solo e dos cascos dos animais, bem como das dimensões da área de contato pneu-solo, esteira-solo, equipamentos-solo e dos cascos-solo. Já a deformação que ocorre no solo quando submetido às tensões depende das propriedades e características do solo, da resistência mecânica do solo, do conteúdo de água no momento do tráfego de máquinas e equipamentos ou do pisoteio animal, do uso e manejo do solo, bem como das máquinas. No presente texto, pretende-se demonstrar que o conhecimento das características e propriedades dos pneus das máquinas agrícolas e as condições do solo adequadas no momento do tráfego de máquinas podem minimizar os efeitos do pisoteio animal e das máquinas nas propriedades do solo relacionadas a estrutura do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. Alguns dados apresentados nesse texto foram coletados em um experimento instalado no Polo Regional de Pesquisa Oeste do Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, localizado no município de Santa Tereza do Oeste, região Oeste do estado do Paraná. O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, muito argiloso (76 dag kg⁻¹ de argila, 13 dag kg⁻¹ de silte, 11 dag kg⁻¹ de areia) na camada de 0 – 40 cm. O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, com três tratamentos e três repetições. Os tratamentos em estudo foram cultivo de soja em sucessão às forrageiras de inverno: T1 – consórcio aveia branca cv. IPR Esmeralda com triticale; T2 – consórcio aveia preta cv. Iapar 61 com centeio IPR 89; T3 – consórcio aveia branca cv. IPR Suprema com centeio. Além dos resultados experimentais, buscou-se quantificar a magnitude das tensões exercidas pelo pisoteio de animais com 300 kg em condições estáticas e dinâmicas (com o animal em movimento) que podem alcançar 200 kPa equivalente às tensões normais médias exercidas na superfície do solo pelos rodados de uma colhedora automotriz de grãos. As deformações do solo proporcionadas pelas tensões induzidas pelo tráfego de máquinas e pelo pisoteio animal em sistemas integrados de produção agropecuária influenciaram negativamente as propriedades físicas do solo relacionadas à estrutura (densidade do solo, volume total de poros e macroporosidade) o que pode comprometer o fluxo de água e gases no perfil do solo e contribuem para os processos físicos de degradação do solo tais como compactação, cisalhamento e consequentemente erosão hídrica acelerada. Por outro lado, estratégias como o aporte adequado de resíduos na superfície do solo por meio da sucessão plantas forrageiras à soja e o manejo da taxa de lotação adequada à capacidade de suporte de carga da forrageira e do solo podem minimizar os impactos à estrutura do solo pelo tráfego de máquinas e pelo pisoteio animal.

Palavras-chave: Sistema Agricultura Conservacionista. diversificação de cultivos. compactação do solo. propriedades físicas do solo. distribuição de tensões em solos. ensaio de Proctor.

Como Citar (NBR 6023)

ARAÚJO JUNIOR, Cezar Francisco. Tensões-deformações do solo induzidas pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade.** Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 137–151. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/bsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

INTRODUÇÃO

Os sistemas integrados de produção agropecuária apesar dos inúmeros benefícios para o agroecossistema, questionamentos surgem dos impactos da interação dos animais e das máquinas nos diferentes compartimentos do sistema. Nesse caso, é interessante identificar os componentes específicos do local para fazer o sistema funcionar como uma estratégia dentro do contexto da Agricultura Conservacionista, um objetivo de longo-prazo para a intensificação sustentável do uso das terras (LAL, 2015).

Nos sistemas integrados de produção agropecuária, o solo é o principal compartimento a acolher e mediar os vários processos sinérgicos desses sistemas, enquanto que os diferentes componentes vegetais incorporam nutrientes e energia, e os animais funcionam como catalizadores ao introduzirem variabilidade e novas vias de fluxos de nutrientes e água (ANGHINONI; CARVALHO; COSTA, 2013).

Em virtude dos processos sinérgicos entre seus componentes, ao analisar a função dos componentes em sistemas conservacionistas de produção em experimentos mono-fatoriais, as interações sinérgicas entre seus componentes podem ser ignoradas (DERPSCH et al., 2014). Segundo esses autores, os três princípios chaves para sistemas conservacionistas de produção são: 1) revolvimento mínimo do solo, consistente com práticas de produção sustentáveis; 2) maximizar a cobertura do solo por meio do manejo de culturas, pastagens e resíduos agroindustriais; e 3) estimular a atividade biológica por meio de rotação de culturas, plantas de cobertura e manejo integrado de pragas e nutrientes.

Estudos realizados em diferentes regiões edafoclimáticas tem demonstrado que o pisoteio animal no solo com elevados conteúdos de água promove deformações verticais e horizontais no solo, alterando as propriedades físicas do solo relacionadas a estrutura do solo (relação entre partículas sólidas e o espaço poroso entre elas, bem como o volume de água) o que compromete o fluxo de água, gás e nutrientes (WILLATT; PULLAR, 1984; KONDO; DIAS JUNIOR, 1999; LIMA et al., 2004; PIETOLA et al., 2005; COSTA et al., 2009; PIRES et al., 2012).

No entanto, quando o controle da carga animal é realizado conforme os estádios de desenvolvimento da pastagem e os resíduos culturais permanecem no solo com massa superior a 1,0 Mg ha⁻¹, o pisoteio animal pode não provocar alterações nas propriedades físicas do solo (Silva et al., 2000). Em Argissolo Vermelho-Amarelo, textura franca sob semeadura direta de aveia e azevém o sistema de manejo do solo para o cultivo de milho apresentou maior estado de compactação do que o pisoteio animal.

Nesse contexto, pretende-se demonstrar que o conhecimento das características e propriedades dos pneus das máquinas agrícolas e o comportamento físico-hídrico e mecânico do solo juntamente com o correto sistema de manejo do solo e da pastagem podem minimizar os efeitos do pisoteio animal e das máquinas nas propriedades do solo relacionadas a estrutura do solo em sistemas integrados de produção agropecuária.

2.1 Tensões exercidas no solo pelas máquinas e equipamentos

O termo tensão deve ser entendido como qualquer aplicação de pressão abaixo da superfície do solo, a medida da pressão na interface solo-pneu ou solo-esteira ou ainda a força por unidade de área sendo um vetor que age numa determinada direção (KELLER et al., 2007).

A distribuição de tensões em um meio granular é feita por meio dos pontos de contato entre os grãos individuais (BALASTREIRE, 1990). Devido ao arranjo ao acaso das partículas sólidas do solo, os pontos de contato estão espalhados, e as tensões se distribuem por meio de uma rota formada pela localização dos pontos de contato. Esta distribuição natural das tensões em materiais granulares é chamada de arqueamento (BALASTREIRE, 1990). Qualquer carga aplicada na superfície do solo é transmitida para o solo em três dimensões via as fases sólidas, líquidas e gasosas. Se a permeabilidade ao ar é alta o suficiente para permitir imediata deformação dos poros preenchidos de ar, a deformação do solo é principalmente afetada pelo fluxo do fluido (HORN, 2003).

A tensão no solo é função da tensão superficial ou da tensão diretamente abaixo do pneu, a qual depende das características do pneu, pressão de inflação do pneu e carga da roda, bem como das condições do solo (KELLER; ARVIDSSON, 2004).

Nas operações que incluem tráfego de máquinas, a estrutura do solo é submetida às variações das tensões devido à ação da carga dinâmica próprio dos rodados, estas cargas induzem duas tensões, as normais e cisalhantes em todas as faces do elemento de contato, tensões essas oriundas da decomposição da tensão resultante segundo as direções dos três eixos de coordenadas, representados por X, Y e Z. Nas faces opostas do elemento, atuam as tensões de reação iguais em magnitude e direção, e em sentidos opostos, mantendo-se assim a condição de equilíbrio dinâmico (MION et al., 2016).

Na superfície do solo, as tensões exercidas pelos rodados das máquinas são maiores em virtude da proximidade ao carregamento, e diminuem com o aumento da profundidade. Outro fator que afeta as tensões de compressão são atribuídas à pressão de inflação do pneu, sendo maiores para as pressões mais altas. Nas profundidades maiores a 0,5 m há uma redução drástica da magnitude das tensões pneu-solo (MION et al., 2016).

Desta forma, o conhecimento das características e propriedades dos pneus das máquinas agrícolas torna-se essencial para minimizar os efeitos do tráfego das máquinas sobre a estrutura do solo e conseqüentemente na sua compactação, uma vez que as dimensões dos pneus (largura x diâmetro sem carga), a carga na roda e a pressão de inflação dos pneus são variáveis significativas para avaliação da área de contato pneu-solo (MION et al., 2016; DISERENS, 2009; KELLER et al., 2007; MAZETTO et al., 2004) e influenciam a magnitude das tensões exercidas no solo pelas máquinas agroflorestais e sua distribuição no perfil do solo.

Os pneus agrícolas são classificados em três tipos conforme a relação altura/largura. Pneus considerados padrão ou diagonal ($\text{altura/largura} \geq 0,8$); pneus considerados de perfil baixo ($0,6 < \text{altura/largura} < 0,8$) e pneus de baixa pressão e alta flutuação – BPAF ($\text{altura/largura} \leq 0,6$) (DISERENS, 2009). Os pneus BPAF apresentam como características elevada área de contato, menor pressão de inflação o que reduz a pressão de contato média para minimizar os efeitos negativos das cargas externas no contato pneu/solo minimizando o risco de compactação do solo (MAZETTO et al., 2004).

2.2 Tensões exercidas no solo pelo pisoteio animal e efeitos nas propriedades do solo

A quantificação das pressões exercidas pelos animais permite analisar a distribuição das tensões abaixo do casco bovino em condições estáticas e dinâmicas (TOL et al., 2002). A pressão de contato média exercida pelo casco dos animais na superfície do solo em condições estáticas para ovelha (54,43 kg) e bovino (612,35 kg) foi calculada por Lull (1959) a partir da área de contato dos cascos com o solo e relacionadas à massa dos animais.

O valor da pressão de contato média para a ovelha foi de 63 kPa e para o gado de 165 kPa. No entanto, o Lull (1959) destaca que durante o deslocamento dos animais, as pressões seriam maiores em virtude de a força exercida ser distribuídas em menores superfícies de apoio, uma vez que, os animais às vezes deslocam todo seu peso em uma única pata, sendo que, as pressões exercidas em condições dinâmicas podem ser quatro vezes àquelas calculadas em condições estáticas, ou seja, a magnitude das tensões exercidas em condições dinâmicas poderiam alcançar 660 kPa.

O pisoteio animal causa deformação do solo por meio da compactação pela pressão exercida pelos cascos e homogeneização da estrutura do solo por efeitos de cisalhamento (WARREN et al., 1986). A força atribuída ao movimento capaz de realizar um deslocamento ou uma deformação no solo é chamada de energia cinética, a qual está diretamente relacionada com a massa (peso do animal) e com a velocidade de movimentação (LIMA et al., 2004).

Em três latossolos, com conteúdo de argila de 24 dag kg⁻¹, 43 dag kg⁻¹ e 66 dag kg⁻¹, Kondo e Dias Junior (1999) observaram que os valores de densidade do solo foram maiores no solo sob pastagem do que os de cultura anual e mata nativa para a profundidade 0–3 cm, evidenciando o efeito do pisoteio do gado na camada superficial.

Na superfície (0–5 cm) de um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (28 dag kg⁻¹ de argila) com pressão de pastejo de cinco unidades animal por hectare, período de ocupação de dois dias e período de descanso de 32 dias, Pires et al. (2012) verificaram que o pisoteio animal proporcionou degradação da estrutura do solo com incrementos nos valores de densidade do solo da ordem de 20% na área do corredor de acesso aos piquetes e maior capacidade de suporte de carga do solo no conteúdo de água no solo entre 0,05 kg kg⁻¹ a 0,35 kg kg⁻¹ em relação ao solo antes do pisoteio animal.

Na superfície do solo (0–5 cm), a densidade do solo foi menor e a porosidade total maior em áreas próximas aos bebedouros dos animais com a superfície do solo totalmente homogeneizada e a vegetação destruída (PIETOLA et al., 2005). Os autores atribuíram esse resultado à contração e fluxo plástico da camada superficial proporcionada pelo pisoteio animal em conteúdos elevados de água no solo. Além disso, destacaram que embora possuam a superfície do solo rompida pelo pisoteio animal, essa camada foi enriquecida com material orgânico advindos das fezes e urina animal contribuindo para menores valores de resistência mecânica, mas alta permeabilidade ao ar ($K_{ar} > 100 \text{ nm}^2$) e condutividade hidráulica do solo saturada ($K_{sat} > 15 \text{ cm h}^{-1}$).



Figura 1 – Pisoteio animal proporcionado pelas novilhas da raça composta Purunã próximo às áreas do cocho com a superfície do solo com conteúdo de água elevado e vegetação destruída dificultam o manejo da compactação do solo em sistemas integrados de produção agropecuária.

A deformação e compactação do solo mais intensa foram devidas à tensão cisalhante exercida pelos cascos no solo (PIETOLA et al., 2005). Os autores verificaram maiores valores de resistência ao cisalhamento na profundidade de 25 cm com algum sinal de cascos penetrados na superfície do solo. A aplicação de energia dinâmica durante o pastejo e fluxo plástico do solo em elevados conteúdos de água no solo causaram a contração normal devido à homogeneização da camada superficial. Portanto, os autores ressaltam que solos que foram homogeneizados pelo pisoteio na camada superficial são muito mais susceptíveis à erosão hídrica acelerada.

O efeito do pisoteio animal na camada superficial do solo (0 – 5 cm) pode ainda favorecer o encrostamento e aumento do escoamento superficial e erosão hídrica acelerada, pela baixa infiltração de água no solo resultante da degradação da estrutura do solo (PIRES et al., 2012). Na figura 2, encontra-se apresentado a área de contato do casco de um bovino determinada com o auxílio de molde de gesso em condições estáticas.

A área total do casco bovino determinada em uma bacia com molde de gesso (Figura 2) foi 0,014762 m², (Bruno Silva Pires - UEMG, publicados com autorização do autor). Portanto, considerando uma massa de novilhos da raça nelore de 300 kg e aplicado em um único casco a pressão de contato média estática casco com o solo pode atingir a magnitude de 200 kPa. Os valores são coerentes aos obtidos por Willatt e Pullar (1984) em Victoria Austrália, quando esses autores registraram 60 kPa de pressão estática nos cascos de cabras raça Angora; 83 kPa para os cascos de ovelhas raças Merino-Crossbred e 192 kPa para vacas raça Jersey.



Figura 2 – Área de contato casco-solo novilhos da raça Nelore determinado em molde de gesso.
 Fonte: “Adaptado de Bruno Silva Pires, dados não-publicados, Univ. Estad. Minas Gerais”.

No entanto, Willatt e Pullar (1984) ressaltaram que a pressão de contato média em condições estáticas é subestimada. Quando os animais encontram-se em deslocamento, duas ou três patas podem estar apoiadas na superfície do solo indicando que a pressão no casco dos ovinos possam alcançar 200 kPa. Os autores ressaltaram ainda que o casco não está apoiado necessariamente no plano na superfície do solo tendendo a aumentar a pressão aplicada. Essas características do padrão do pisoteio animal aumentam o potencial em causar danos às propriedades físicas do solo relacionadas a estrutura.

Para quantificar as propriedades de um Latossolo Vermelho Distroférrico - LVdf, muito argiloso relacionadas a estrutura, amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em maio de 2014, após a semeadura das forrageiras de inverno nas entrelinhas de cultivo. Em cada parcela, cinco pontos amostrais foram escolhidos aleatoriamente no sentido da diagonal do piquete para a coleta das amostras de solo no sentido vertical do perfil. As amostras foram coletadas em anéis volumétricos de inox com dimensões de 5 cm de diâmetro por 5 cm de altura com o auxílio de um extrator mecânico (IAPAR, 2007).

Pela Figura 3, observam-se os valores de densidade do solo para um LVdf, muito argiloso (76 dag kg^{-1}) da Estação Experimental do Iapar em Santa Tereza do Oeste, sob SIPA com plantas forrageiras em sucessão à soja em quatro profundidades.

Dentro de cada profundidade, os valores de densidade do solo não foram influenciados pelas plantas forrageiras em sucessão à soja ($p > 0,05$). Entretanto, os valores de densidade do solo obtidos para a profundidade de 10 – 20 cm ($1,18 \text{ kg dm}^{-3}$, o que corresponde ao grau de compactação ou densidade relativa igual a 90%) indicando que os principais efeitos do tráfego de máquinas no empacotamento das partículas sólidas do solo concentram-se nessa camada, apesar das tensões exercidas pelo tráfego de máquinas e equipamentos ser maiores na superfície, os órgãos ativos da semeadora, bem como a ação biológica do sistema radicular e os resíduos culturais das plantas depositados na superfície podem minimizar os impactos na camada de 0–10 cm.

Portanto, os menores valores da densidade do solo e do grau de compactação na profundidade de 0–10 cm podem ser atribuídos ao maior aporte de resíduos nessa camada além da ação da haste sulcadora das semeadoras e na camada de 30–40 cm à atenuação das tensões pelas camadas superiores o que minimiza a distribuição das tensões em profundidade.

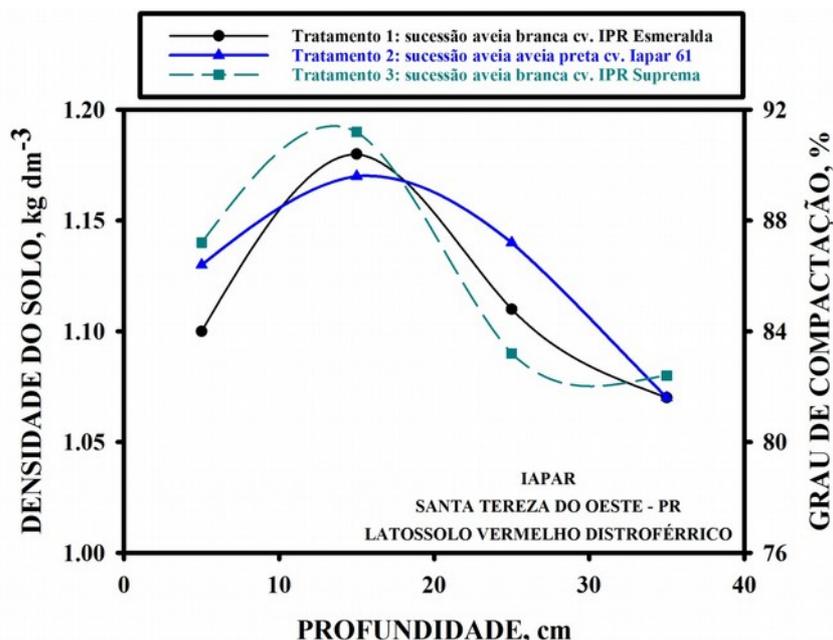


Figura 3 – Densidade do solo de amostras com estrutura preservada de um Latossolo Vermelho Distroférico, muito argiloso, sob sistema integrado de produção agropecuária com sucessão de forrageiras de inverno e soja em quatro profundidades determinados após a semeadura das espécies de inverno antes do pastejo dos animais. Estação Experimental do IAPAR, Santa Tereza do Oeste, Paraná. A linha vermelha pontilhada na horizontal representa o valor de densidade do solo e grau de compactação considerados críticos.

Apesar das maiores tensões aplicadas pelos pneus, esteiras, equipamentos e casco animal ocorrerem na superfície do solo (KELLER et al., 2007; DISERENS, 2009; ARAUJO JUNIOR et al., 2011; MION et al., 2016) em virtude da proximidade do carregamento, atenuando para as demais profundidades devido a absorção das tensões pelas camadas superficiais (MION et al., 2016). Os resultados obtidos por Keller et al. (2017) confirmam que a magnitude da tensão normal média sob os rodados 1050/50 R32 de uma colhedora automotriz reduziu de aproximadamente 150 kPa a 0,2 m de profundidade para 50 kPa a 0,5 m de profundidade (KELLER et al., 2017).

Além da redução das tensões com a profundidade, os resíduos culturais aplicados ou remanescentes na superfície do solo podem minimizar os efeitos do tráfego de máquinas ou do pisoteio animal na estrutura do solo (SILVA et al., 2000). Por outro lado, em estudos de curto-prazo os resíduos aplicados na superfície do solo em altas taxas não proporcionaram efeitos benéficos na estrutura do solo na profundidade de 10 – 20 cm conforme sugerem Pereira et al. (2013).

Na profundidade de 20 – 30 cm, os valores de densidade do solo foram considerados excessivos nas áreas cultivadas com a forrageira aveia branca cv. IPR Esmeralda em sucessão à soja (Tratamento 1) e aveia preta cv. Iapar 61 / soja (Figura 3). Por outro lado, nessa profundidade, os valores de densidade no solo cultivado com aveia branca cv. IPR Suprema foram considerados abaixo do valor considerado crítico (Figura 3) o que pode ser atribuído ao hábito de crescimento prostrado dessa cultivar com elevada produção de massa seca, excelente perfilhamento e relação folha/colmo de 15:1 (IAPAR, 2016) características essas que podem contribuir para minimizar os danos às propriedades físicas relacionadas a estrutura com a profundidade em virtude da menor distribuição de tensões no perfil do solo.

Pela figura 4, observa-se as regressões lineares entre o volume de macroporos e a densidade do solo (A) e o grau de compactação (B). A partir das regressões demonstradas nas Figuras 4A e 4B, pode-se estabelecer o valor de densidade crítica e o grau de compactação crítico para o Latossolo em estudo com base no valor de macroporosidade crítica à aeração pré-estabelecido de 0,10 cm³ cm⁻³. Portanto, na profundidade de 10–20 cm e considerando os critérios descritos anteriormente, o valor de densidade do solo crítico é de 1,05 kg dm⁻³ e grau de compactação de 80%.

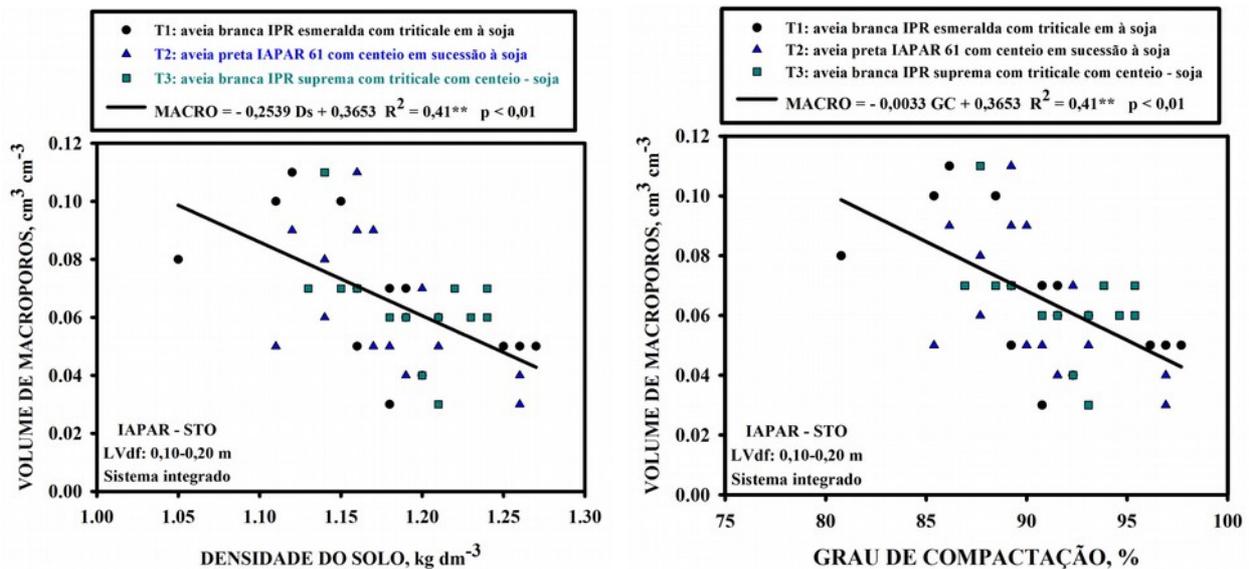


Figura 4 – Relação entre volume de macroporos (poros com diâmetro efetivo superiores a 50 μm) e densidade do solo (A) e grau de compactação (B) na profundidade de 0,10–0,20 m. Estação Experimental do IAPAR, Santa Tereza do Oeste, Paraná. A linha vermelha pontilhada na horizontal representa o volume de macroporos considerado crítico à aeração do solo.

Em amostras com estrutura preservada coletadas nas profundidades 0–5 cm, 5–10 cm e 10–20 cm de um Latossolo Vermelho, muito argiloso (68 dag kg^{-1} de argila) de Cascavel região oeste do Estado do Paraná, Pereira et al. (2013) observaram que a aplicação de altas doses de palha de aveia (20 Mg, 40 Mg e 60 Mg/ha) proporcionaram melhorias na estrutura do solo com aumento na porosidade total e estrutural na camada superficial (0–5 cm). Na profundidade de 10–20 cm, os autores não observaram melhorias na estrutura do solo proporcionada pela aplicação das altas doses de cobertura vegetal.

A curva de compactação do solo (Figura 5) relaciona a densidade do solo com o conteúdo de água gravimétrico no solo, a qual foi obtida pelo ensaio de Proctor com energia intermediária. A partir da curva de compactação é possível determinar o conteúdo de água crítico à compactação (Ucrítico) e tem sido utilizada para sugerir conteúdos de água no solo no qual o mesmo está mais susceptível à deformação a partir de um ensaio em laboratório. Para o solo em estudo, o conteúdo de água crítico é 0,3489 kg kg^{-1} e a densidade do máxima igual a 1,30 kg dm^{-3} (Figura 5), a qual pode ser utilizada para relacionar com a densidade do solo obtida no campo e estabelecer grau de compactação ou densidade relativas críticas ao crescimento de plantas.

Outro aspecto que deve ser ressaltado para o solo do presente estudo é que o conteúdo de água crítico da curva de compactação de 0,3489 kg kg^{-1} corresponde à água retida no potencial matricial de – 500 kPa (dados não apresentados) indicando que a máxima susceptibilidade à compactação ocorre próximo ao conteúdo crítico de disponibilidade de água às plantas. Conforme sugerem Araujo-Junior et al. (2014) para um Latossolo Vermelho Distroférrico, muito argiloso (76 dag kg^{-1}) da Estação Experimental do Iapar em Santa Tereza do Oeste, valores de densidade do solo superiores a 1,10 kg dm^{-3} são considerados excessivos ou restritivos ao crescimento radicular e à adequada aeração do solo quando superiores ao grau de compactação (relação entre as densidades do solo no campo e máxima em laboratório pelo ensaio de Proctor) igual a 85% (Figura 5).

Em um Latossolo Vermelho, muito argiloso (79 dag kg^{-1} de argila) do município de Cascavel, região Oeste do Estado do Paraná sob mata nativa, Castro Filho e Logan (1991) verificaram valores de densidade do solo de 0,79 kg dm^{-3} , valores considerados baixos em virtude da constituição mineralógica da fração argila com 28–31% de ferro extraível pelo citrato-bicarbonato-ditionita, 28–30% de caulinita, 30–31% de gibbsita e 6–12% de vermiculita com alumínio na entre camada. Solos com baixa densidade inicial ou história de tensão sofrem maior deformação do que aqueles com alta densidade inicial. Portanto, sugere-se que os solos da região oeste do Estado do Paraná sejam susceptíveis à deformação.

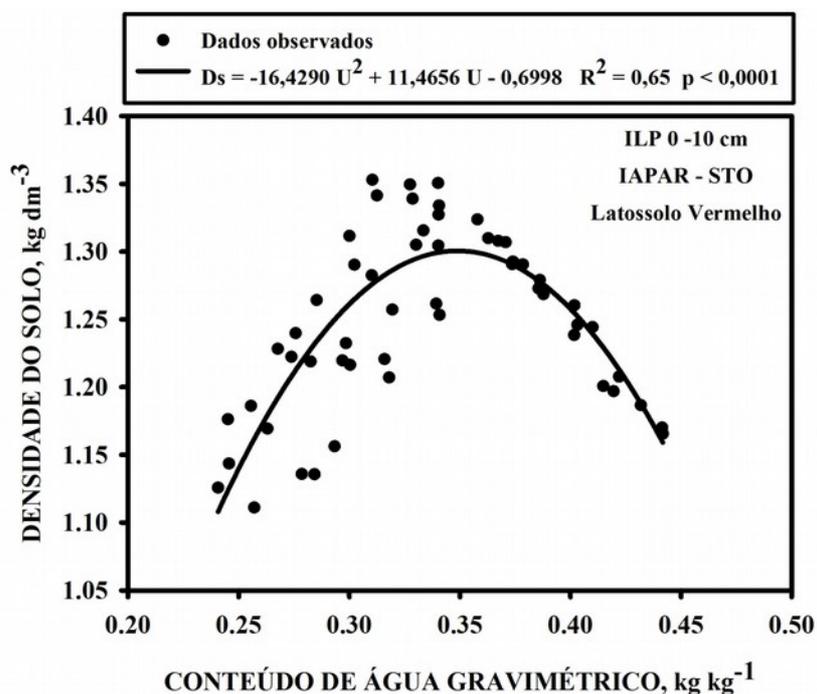


Figura 5 – Curva de compactação, umidade crítica e densidade do solo máxima de um Latossolo Vermelho Distroférrico, muito argiloso, sob sistema integrado de produção agropecuária com sucessão de forrageiras de inverno e soja. Estação Experimental do IAPAR, Santa Tereza do Oeste, Paraná. A seta azul indica o conteúdo de água crítico em que o solo atinge a densidade máxima (seta vermelha) pelo ensaio de Proctor com energia intermediária de compactação.

Em maio do ano de 2014, 65% das amostras de solo com estrutura preservada coletadas na profundidade de 0–10 cm, ou seja, 29 amostras apresentaram valores de densidade do solo superiores aos da densidade crítica de 1,10 kg dm⁻³ que corresponde ao grau de compactação igual a 85%.

Os graus de compactação obtidos no presente estudo em Latossolo Vermelho com textura muito argilosa (Santa Tereza do Oeste) corroboraram aos obtidos em um Cambissolo, textura franco-argilosa (27 dag kg⁻¹ de argila) por Keller et al. (2017), os quais observaram que o grau de compactação aumentou de 78% para 90% na profundidade de 0–0,1 m após o tráfego de uma colhedora automotriz com dois eixos completamente carregada e pneus 1050 / 50 R 32 com pressão de inflação de 330 kPa e carga na roda dianteira de 8,9 Mg e na roda traseira de 7,2 Mg.

Na profundidade de 0,10–0,20 m, 93% dos pontos amostrados (42 amostras) foram considerados com valores de densidade do solo ($D_s > 1,10 \text{ kg dm}^{-3}$) ou graus de compactação excessivos ($GC > 85\%$). Provavelmente, essa profundidade tem concentrado as tensões induzidas pelo tráfego das máquinas e equipamentos, há menor conteúdo de carbono orgânico do solo e menor efetividade do sistema radicular das culturas em relação à camada sobrejacente (0–0,10 m).

Nos piquetes com sucessão de aveia preta cv. Iapar 61 em sucessão à soja (Tratamento 2) o grau de compactação a 0,2–0,3 m de profundidade foi de 87% similar aos valores obtidos por Keller et al. (2017) os quais observaram aumento no grau de compactação de 88% para 94% nessa mesma profundidade.

Pela figura 5, observa-se maior dispersão dos dados observados em relação aos estimados no ramo seco da curva de compactação (parte ascendente da curva). Por outro lado, no ramo úmido houve menor dispersão dos valores observados em relação aos dados estimados.

Como ressaltado anteriormente, o conteúdo de água no solo controla a consistência do solo (HILLEL, 1980) e conseqüentemente a manifestação das forças de adesão e coesão do solo.

A coesão é uma medida das forças que unem as partículas sólidas do solo e pode ser alterada pelo uso e manejo do solo. A coesão pode ser determinada em amostras indeformadas em

quadrados volumétricos com dimensões de 5,95 cm de largura e 2,2 cm de altura pelo ensaio de cisalhamento direto que consiste na obtenção da força cisalhante em apenas uma direção conforme procedimentos descritos por Pires (2007).

Pela figura 5, observa-se os valores de coesão aparente de amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, sob mata nativa e pastagem, determinadas em ensaio de cisalhamento direto (Pires, 2007). A coesão aparente decresce do solo submetido à pastagem irrigada após o pisoteio animal > pastagem não-irrigada antes do pisoteio animal > mata nativa > pastagem irrigada antes do pisoteio animal (Figura 6).

Os resultados obtidos por Pires (2007) apresentados na Figura 6 demonstram que em virtude da deformação proporcionada no solo pelo pisoteio animal e aproximação das partículas sólidas, houve um acréscimo na coesão aparente no solo sob pastagem irrigada. Além disso, sugere-se que o solo sob pastagem irrigada possui menor resistência quando submetido ao pisoteio torna-se mais susceptível à deformação.

A aproximação das partículas sólidas do solo em pastagem irrigada proporciona também aumento nos valores de capacidade de suporte de carga do solo expressos pela pressão de preconsoidação como observados por Lima et al. (2004), os quais atribuíram tais resultados ao pisoteio com elevado conteúdo de água no solo.

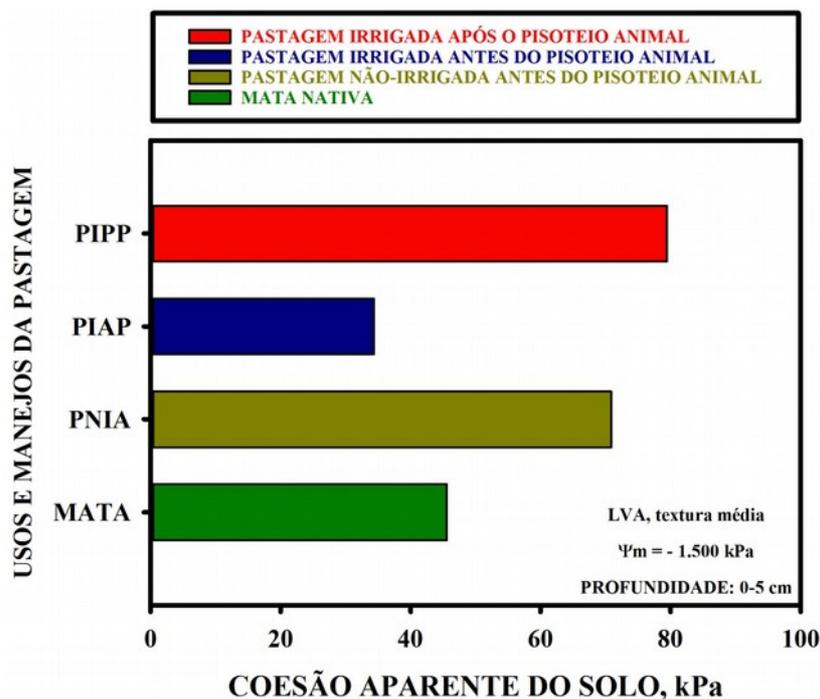


Figura 6 – Coesão aparente de amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, sob mata nativa e pastagem com diferentes manejos e pisoteio animal durante seis meses, saturadas e equilibradas no potencial matricial de -1.500 kPa (Ponto de murcha permanente, conteúdo de água residual igual a 0,15 kg kg⁻¹). Fonte: “Adaptado de Pires, 2007”.

Pela Figura 6, observa-se que o solo sob mata nativa utilizado como referência apesar da ausência da ação antrópica e história de tensão, proporciona valor intermediário de coesão aparente quando comparado ao solo sob pastagem irrigada antes do pisoteio animal e após o pisoteio animal.

Em um solo muito argiloso (72–78 dag kg⁻¹ de argila; 3 dag kg⁻¹ de carbono orgânico total) do Sul da Finlândia, a taxa de infiltração de água no solo foi reduzida a 10–15% quando comparada à pastagem sem pisoteio animal (PIETOLA; HORN; YLI-HALLA, 2005). Os resultados desse estudo demonstraram ainda que os poros com diâmetro efetivo maiores que 30 µm foram reduzidos de 5 cm³ cm⁻³ a 1,5 cm³ cm⁻³ na profundidade de 10–15 cm pelo pisoteio mais severo e a coesão aparente na superfície do solo reduzida próximo a 1 kPa.

DEFORMAÇÕES NO SOLO

Conforme sugerem os dados das propriedades físicas relacionadas à estrutura do solo (Figura 3 e Figura 4), a curva de compactação (Figura 5) e a composição mineralógica da fração argila (CASTRO FILHO; LOGAN, 1991), os solos da região Oeste do Estado do Paraná podem ser considerados susceptíveis à deformação necessitando atenção especial quanto às tensões exercidas no solo e o conteúdo de água no solo.

Quando as tensões exercidas pelas máquinas e equipamentos são aplicada no solo seja pelos materiais rodantes (pneus ou esteiras) ou pelos equipamentos (discos de arados, grades, ou hastes de subsoladores, escarificadores, e sulcadoras de semeadoras) ocorre a deformação no solo no ponto de fraqueza da matriz do solo e o aumento adicional nas tensões resultarão em formação de zonas de ruptura (HORN, 2003).

O conteúdo de água no solo no momento do tráfego de máquinas determina a reação ao preparo. Entre as propriedades físicas é a mais importante para interação solo-máquina, uma vez que, controla a consistência do solo (HILLEL, 1980). Além disso, governa a quantidade de deformação quando submetida a tensões induzidas pelo tráfego de máquinas (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996). A água no solo age como um lubrificante e ligante entre as partículas do solo afetando a estabilidade estrutural e resistência do solo e materiais geológicos (TOPP; FERRÉ, 2002). Independente da profundidade do solo, a resistência aumenta com o secamento do solo e pode ser explicado pelo fator X da equação 1 de tensão efetiva (HORN, 2003).

$$\sigma' = (\sigma - Ua) + X(Ua - Uw) \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que, σ' é a tensão efetiva, σ é a tensão total aplicada, Ua é a pressão de ar no poro, Uw é a pressão de água no poro e o fator X é igual a 1 na saturação (0 kPa), enquanto que, no potencial matricial de -10^6 kPa $X = 0$.

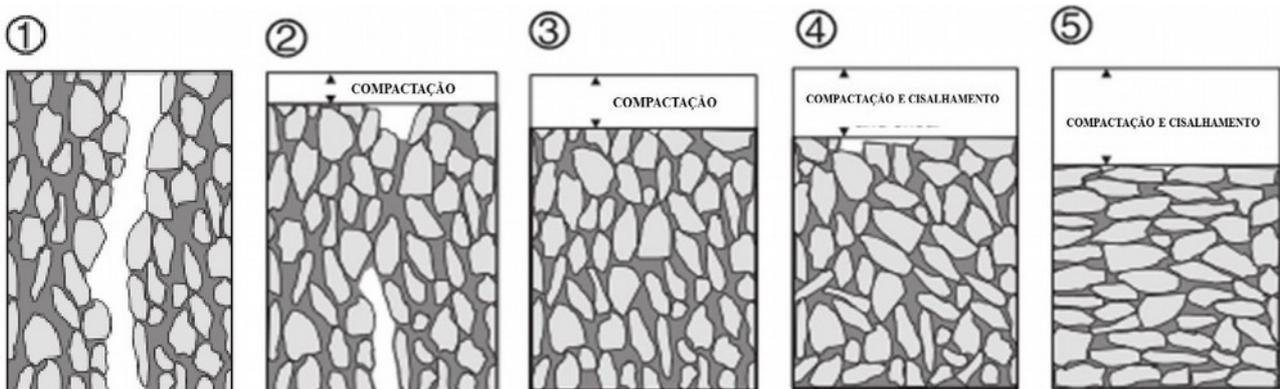


Figura 7 – Diagrama conceitual dos possíveis efeitos das tensões-deformações que ocorrem no solo com ênfase no fluxo de gases e água. 1 – estrutura do solo original; 2 – pequena compactação com reduzido fluxo de gases devido ao declínio no diâmetro dos poros e aumento na saturação de água; 3 – fluxo de água reduzido conforme a redução no espaço poroso, em que a condutividade hidráulica (K) reduz proporcionalmente ao raio do poro (r), $K = r^2 / 8 \gamma$; 4 – compactação e cisalhamento com rearranjo das partículas sólidas do solo e do sistema poros; 5 - compactação e cisalhamento com anisotropia do sistema poros em que a condutividade hidráulica horizontal – Khorizontal é superior a condutividade hidráulica vertical Kvertical. Fonte: “Adaptado de Horn, 2003; Horn et al., 2003”.

A Figura 7 demonstra que as tensões ou cisalhamento exercido pelo tráfego de máquinas promove redução na distribuição de poros por tamanho e especialmente a condutividade hidráulica será reduzida abruptamente. Portanto, durante o manejo do solo, uma alteração adicional e normalmente mais pronunciada ocorrerá em virtude da paralelização das partículas sólidas com

formação de estrutura pedológica do solo do tipo laminar e redução no sistema poroso, enfraquecimento das propriedades mecânicas do solo inclusive no solo com maior densidade do solo, funcionalidade do sistema poroso devido a tortuosidade e possivelmente um reduzido crescimento de plantas os quais resultam em menor rendimento das culturas (HORN, 2003).

Como demonstrado no diagrama conceitual (Figura 7), o aumento na densidade do solo promove redução do espaço poroso em consequência da redução dos poros com maiores diâmetros (Willatt e Pullar, 1984; Horn, 2003; Pietola et al., 2005; Keller et al., 2017). Além disso, deve-se atentar para o cisalhamento proporcionado pelo pisoteio animal ou patinação das rodas das máquinas os quais promovem a ruptura do sistema poroso comprometendo os fluxos de água e gases no solo (Horn et al., 2003).

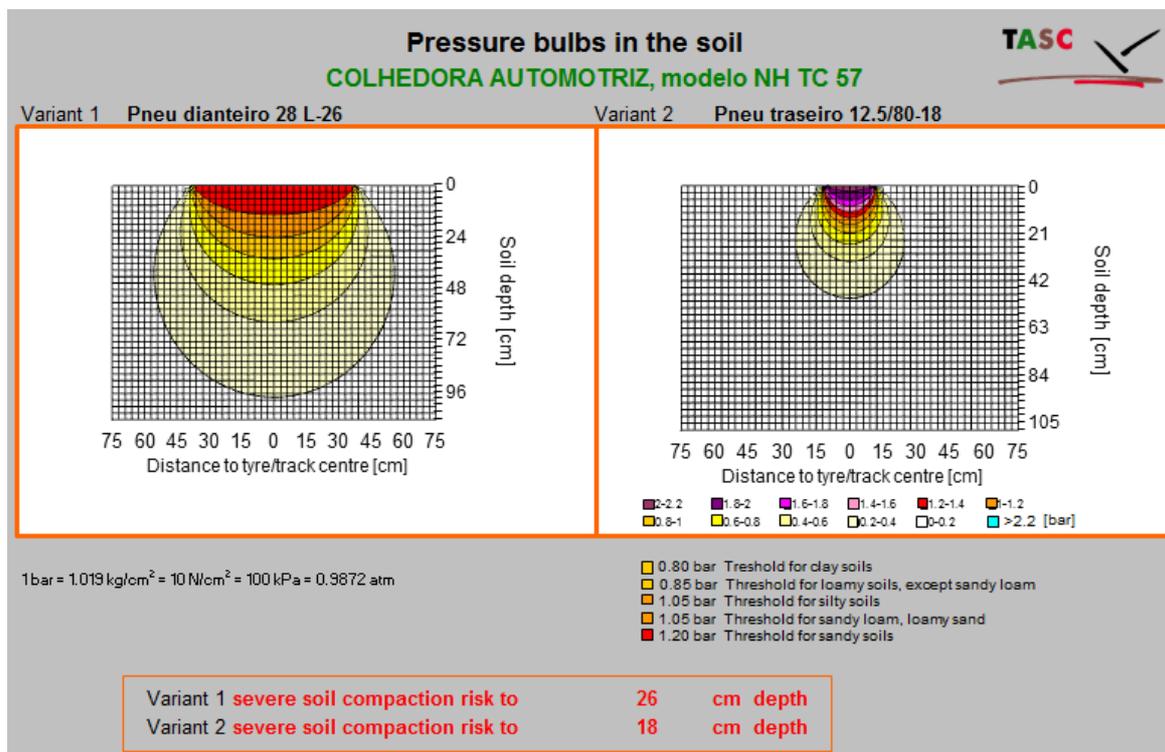


Figura 8 – Distribuição de tensões no perfil do solo no potencial matricial de – 33 kPa, estimadas por meio do programa TASC para os pneus dianteiro 28 L 26 e traseiro 12.5/80-18 para uma colhedora automotriz de grãos.

Em 30 de março de 2017, para quantificar a área de contato pneu-solo e as pressões de contato média e a distribuição das tensões no perfil do solo proporcionadas pelos rodados de uma colhedora automotriz de grãos com plataforma de 5,7 m de largura, pneus dianteiro 28 L 28, pressão de inflação de 241 kPa; pneus traseiro 12.5/80-18 na pressão de inflação de 179 kPa, as cargas estáticas nas roda foram determinadas por meio de uma plataforma de piso com dimensões de 40 cm por 80 cm e capacidade para 10 Mg.

A área de contato pneu-solo, a propagação das tensões abaixo do centro do pneu, a pressão de contato média e a distribuição das tensões foram determinadas por meio do programa Tyres, Tracks and Soil Compaction – TASC, versão 3.0 (DISERENS; BATTIATO, 2014).

A caracterização física dos rodados da colhedora automotriz de grãos permitiu observar que a carga na roda dianteira com pneu 28 L 26 foi de 6.450 kg, área de contato pneu-solo de 0,3815 m² na pressão de inflação de 241 kPa exerceu a tensão normal máxima no centro do pneu de 130 kPa e pressão de contato média de 166 kPa Pela Figura 8 – Variant 1, observa-se que as tensões entre 120 e 140 kPa foram distribuídas até a profundidade de 12 cm.

Na roda traseira com pneu 12.5/80-18 (Figura 8 – Variant 2), a carga foi de 1.500 kg com área de contato pneu-solo de 0,1245 m² na pressão de inflação de 179 kPa, tensão normal máxima no

centro do pneu de 200 kPa e pressão de contato média de 118 kPa. Nota-se ainda, que a magnitude das tensões entre 200 e 220 kPa foram distribuídas até a profundidade de 9 cm. É interessante ressaltar que com o aumento da profundidade da distância do centro do pneu, as tensões normais (ou verticais) reduzem em grandeza, resultando possivelmente em menores deformações do solo em maiores profundidades conforme anteriormente observados por Araujo-Junior et al. (2011).

Pela figura 9, observa-se a distribuição das tensões normais exercidas no centro dos pneus dianteiros e traseiros de uma colhedora automotriz de grãos. Na superfície, observa-se que o pneu traseiro 12.5/80-18 apesar da menor carga (1.500 kg) exerceu maior tensão normal (200 kPa) quando comparado ao pneu dianteiro 28 L 26 (130 kPa) o qual recebeu uma carga de 6.450 kg. Esse resultado é atribuído a menor área de contato do pneu traseiro em relação ao pneu dianteiro. Porém deve-se destacar que quanto menor a área de contato, maior as tensões normais na superfície, porém menor a profundidade.

Os resultados da distribuição das tensões normais para o pneu dianteiro da colhedora 28 L 26 do presente estudo (Figura 9) corroboram aos obtidos por Keller et al. (2017) para um pneu 1050/50 R 32, os quais observaram 150 kPa a 20 cm e 50 kPa para a profundidade de 50 cm.

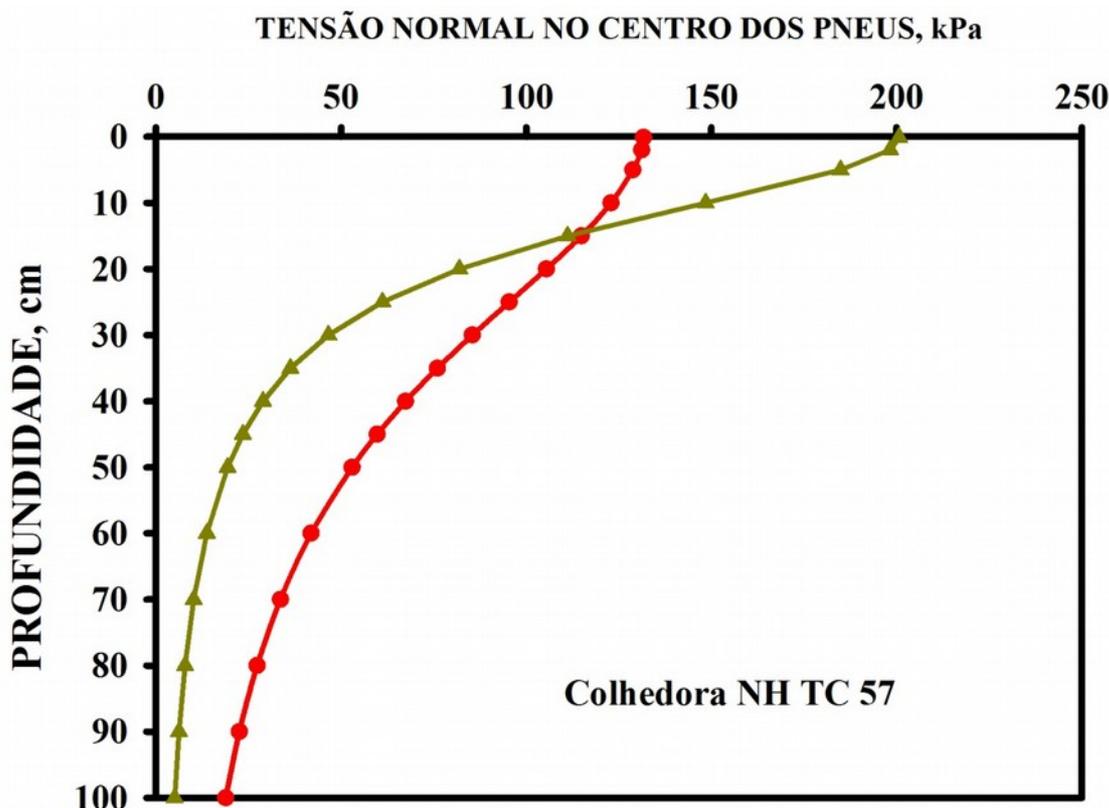


Figura 9 – Tensões normais no centro dos pneus estimadas por meio do programa TASC para os pneus dianteiro 28 L 26 e traseiro 12.5/80-18 de uma colhedora automotriz de grãos. PI: pressão de inflação dos pneus em libras por polegada-quadrada – PSI (35 psi = 241 kPa e 26 psi = 179 kPa).

Pela figura 10, observa-se a deformação de amostras de solo com estrutura preservada, coletadas em anéis volumétricos com dimensões de 2,54 cm de altura por 6,35 cm de diâmetro, submetidas ao ensaio de compressão uniaxial com tensões normais crescentes de 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa, 800 kPa e 1.600 kPa conforme procedimentos descritor por Kondo e Dias Junior (1999) aplicadas na superfície da amostra.

Considerando a magnitude das tensões exercidas pelo casco dos bovinos igual a 200 kPa (WILLATT; PULLAR, 1984; PIRES, 2007) é possível esperar uma deformação de até 32% das amostras de solo.

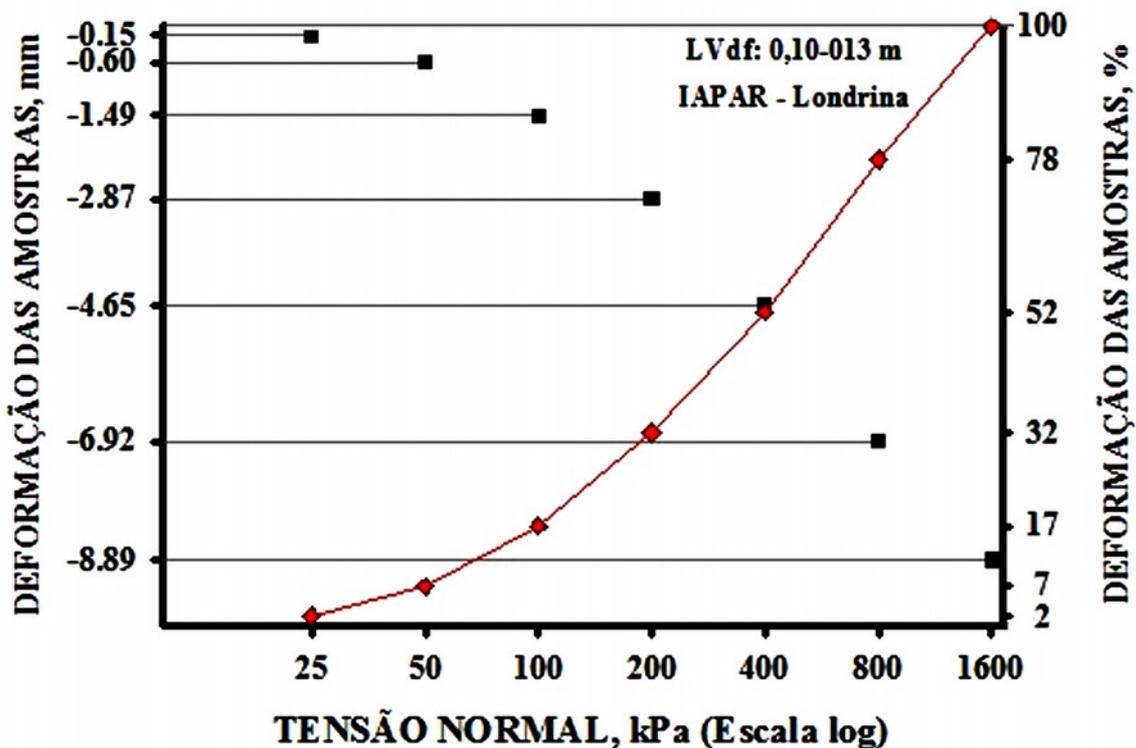


Figura 10 – Deformação média em amostras com estrutura preservada, coletadas na profundidade de 0,10–0,13 m de um Latossolo Vermelho Distroférrico, muito argiloso, conteúdo de água volumétrico $0,2724 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Erro padrão da média: $0,0087 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Em ensaio de campo, Keller et al. (2017) determinaram 22 mm de deslocamento vertical superficial do solo quando submetido ao tráfego de uma colhedora automotriz com conteúdo de água no solo próximo à umidade crítica obtida pelo ensaio de Proctor. Esses autores verificaram ainda que o deslocamento vertical alcançou 38 mm entre as garras dos pneus e 61,3 mm sob as garras do pneu.

A deformação do solo na linha de tráfego das máquinas e equipamentos é quase inerente em sistemas agrícolas mecanizados. No entanto, é possível minimizar os impactos do uso intensivo da terra nas propriedades físicas do solo relacionadas à estrutura por meio do controle do conteúdo de água no solo no momento do tráfego de máquinas de modo a evitar que as tensões exercidas pelos rodados e pelos componentes das máquinas sejam superiores à capacidade de suporte de carga do solo, manejo adequado das pastagens e da lotação animal para quantidade adequada de resíduos culturais na superfície do solo para obter o rendimento das culturas e dos animais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As deformações do solo proporcionadas pelas tensões induzidas pelo tráfego de máquinas e pelo pisoteio animal em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária influenciam negativamente as propriedades físicas do solo relacionadas à estrutura o que compromete o fluxo de água e gases no perfil do solo e contribuem para os processos físicos de degradação do solo tais como compactação, cisalhamento e conseqüentemente erosão hídrica acelerada.

O controle do conteúdo de água no solo para o tráfego de máquinas é essencial para minimizar os efeitos da intensificação do uso da terra sobre as propriedades físico-hídricas e mecânicas do solo. Resultados obtidos de um experimento sob Sistema Integrado de Produção Agropecuária conduzido na Estação Experimental do Iapar em Santa Tereza do Oeste permitiram observar que há necessidade de estabelecer maior rigor para o tráfego de máquinas e equipamentos

para minimizar os efeitos sobre as propriedades físicas relacionadas a estrutura de modo a manter as produtividades adequadas além de garantir qualidade ambiental e econômica.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO-JUNIOR, C. F.; OLIVEIRA, E. de; CARVALHO, E. A. Comportamento mecânico de um Latossolo sob sistema integração lavoura-pecuária com consórcio de culturas em semeadura direta. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 4., 2014, Cascavel. **Anais**. Curitiba : SBSCS/NEPAR, 2015.
- ARAUJO-JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica induzida de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 115–131, jan./fev. 2011.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; COSTA, S. E. V. G. de A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. V. 8, p. 325–380.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.
- CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some brazilian Oxisols. **Soil Science Society American of Journal**, v. 55, n. 5, p. 1407–1413, Sept./Oct. 1991.
- COSTA, A. da; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; SILVA, F. R. da. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 235–244, mar./abr. 2009.
- DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; DUIKER, S. W.; REICOSKY, D. C.; KOELLER, K.; FRIEDRICH, T.; WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research? **Soil and Tillage Research**, v. 137, p. 16 – 22, April. 2014.
- DIAS JUNIOR, M. de S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 55–94.
- DIAS JUNIOR, M. de S; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 175–182, jan./mar. 1996.
- DISERENS, E. Calculating the contact area of trailer tyres in the field. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 302–309, May 2009.
- DISERENS, E.; BATTIATO, A. Soil compaction, soil shearing and fuel consumption: TASC V3.0 – A practical tool for decision-making in farming. In: PROCEEDINGS INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2014, Zurich. **Proceedings...** European Society of Agricultural Engineers, 2014. ref. C0528.
- HILLEL, D. Tillage and soil structure management, In: HILLEL, D. (Ed.) **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 234–244.
- HORN, R. Stress-strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 1-2, p. 77–88, Sept. 2003.
- HORN, R.; WAY, T.; ROSTEK, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1–2, p. 101–106, Oct. 2003.
- IAPAR, INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Aveia branca forrageira IPR Suprema 2016**. Londrina, Iapar, 2016, 8 p.
- IAPAR, INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Área de Engenharia Agrícola**, Diretoria de Pesquisa (Londrina, PR). Augusto Guilherme de Araujo, Amostrador de solo. BR n. PI 07045492, 18 set. 2007.
- KELLER, T.; ARVIDSSON, J. Technical solutions to reduce the risk for subsoil compaction: effect of dual wheels, tandem axles and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 2, p. 191–205, Dec. 2004.

KELLER, T.; DÉFOSSEZ, P.; WEISSKOPF, P.; ARVIDSSON, J.; RICHARD, G. Soilflex: A model for prediction of soil stresses and soil compaction due to agricultural field traffic including a synthesis of analytical approaches. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 2, p. 391–411, April 2007.

KELLER, T.; RUIZ, S.; MANALILI, M. P.; REK, J.; STADELMANN, V.; WUNDERLI, H.; BREITENSTEIN, D.; REISER, R.; OBERHOLZER, H.; SHYMANSKI, S.; ROMERO-RUIZ, A.; LINDE, N.; WEISSKOPF, P.; WALTER, A.; OR, D. Long-term soil structure observatory for monitoring post-compaction evolution of soil structure. **Vadose Zone Journal**, Madison, p. 1–16, May. 2017.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. de S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 497–506, jul./set. 1999.

LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 70, n. 3, p. 55A–62A, May/June. 2015.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 945–951, nov./dez. 2004.

LULL, H. W. **Soil compaction on forest and range lands**. Forest Service, US Department of Agriculture, 1959. 33 p.

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GUERRA, S. P. S. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 750–757, set. dez. 2004.

MION, R. L.; HOLANDA, A. S.; BARROSO, S. H. A.; SILVA, S. A. T. Tensões aplicadas no solo pelas diferentes pressões do pneu de um trator agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 63 – 77, jan./fev., 2016.

PEREIRA, J. O.; KELLER, T.; DANTAS, V. B.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; OLIVEIRA, F. A. Comportamento estrutural e textural do solo em função da aplicação de palhas de aveia na superfície do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42., 2013, Fortaleza. **Anais**. SBEA. 4 p.

PIETOLA, L.; HORN, R.; YLI-HALLA, M. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 1, p. 99–108, May 2005.

PIRES, B. S. **Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latossolo sob diferentes usos e manejos**. 2007. 86 p. Dissertação de Pós-Graduação (Mestrado em Ciência do Solo, Área de Concentração Recursos Ambientais e Uso da Terra) da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, MG.

PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. de S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; CARVALHO, R. de C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 635–642, mar./abr. 2012.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 191–199, jan./mar. 2000.

TOL, P. P. J. V. D.; METZ, J. H. M.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N.; BACK, W.; BRAAM, C. R.; WEIJS, W. A. The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, p. 1476–1481, 2002.

TOPP, G. C.; FERRÉ, P. A. Water content. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. v. 4, p. 417–424.

WILLATT, S. T.; PULLAR, D. M. Changes in soil physical properties under grazed pastures. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 22, n. 4, p. 343–348, 1984.

Atividade e diversidade microbiana no solo em sistemas integrados de produção agropecuária

Andréa Scaramal da SILVA¹, Ana Paula ZANDONÁ²,
Arnaldo COLOZZI FILHO³

¹ Bióloga, Doutora em Solos, Laboratório de Microbiologia do Solo do IAPAR, Londrina, PR

² Bióloga, Mestre em Agricultura Conservacionista, Área de Concentração em Produção e Proteção Vegetal - IAPAR, Londrina, PR

³ Engenheiro Agrônomo, Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador em Microbiologia do Solo, Área de Solos, IAPAR

Abstract – Integrated agricultural production systems (IAPS) can be varied according to the factors of production involved, (Integration of Livestock Crops - ILC, Integration of Crops Livestock - ICL and others), the management of animals, pastures and agricultural crops in the same area influences the interactions between the chemical, physical and biological components of the soil and the transformations that occur in the nutrient cycling processes, causing changes in the soil. Thus, investigating and understanding ways to better manage pasture is essential to achieve the objectives of integrated agricultural production systems. The system integrating livestock farming (ILP) in the northwest of Paraná, in a typical dystrophic Red Latosol increases soil nutrient contents that favor its microbiological quality. After the first three years of implantation of the system in the area an increase of the microbial biomass and the activity for all the treatments is observed. The implantation of an ILP system, as well as any agricultural practice, significantly alter the structure of the bacterial community of the soil in relation to the native forest. The impact of the implantation of this agricultural activity leads to an increase in taxonomic richness, with the emergence of metabolically diversified groups to maintain the ecosystem's functionality. The integrated agricultural production system (SIPA) provided a favorable environment for the establishment of AMFs, as these areas presented both higher rates of mycorrhizal colonization and a larger number of infective propagules. The addition of nitrogen fertilizers promoted an increase in mycorrhizal colonization, with a greater number of spores and mycorrhizal colonization, under the soil cultivated with the *Axonopus catharinensis*, and this species is recommended for conservation systems.

Keywords: Soil bioindicators. microbial biomass. Arbuscular mycorrhizal fungi.

Resumo – Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) podem ser variados, de acordo com os fatores de produção envolvidos (Integração Lavoura Pecuária – ILP, Integração Lavoura Pecuária Floresta – ILPF e outros), o manejo dos animais, das pastagens e das culturas agrícolas numa mesma área influencia as interações entre os componentes químicos, físicos e biológicos do solo e as transformações que ocorrem nos processos de ciclagem de nutrientes, ocasionando alterações no solo. Assim, investigar e entender formas de melhor manejar o pasto é essencial para se atingir a contento os objetivos dos sistemas integrados de produção agropecuária. O sistema integração lavoura pecuária (ILP) no noroeste do Paraná, em Latossolo Vermelho distrófico típico, aumenta teores de nutrientes no solo que favorecem sua qualidade microbiológica. Após os três primeiros anos de implantação do sistema na área observa-se aumento da biomassa microbiana e da atividade para todos os tratamentos. A implantação de um sistema ILP, assim como qualquer prática agrícola, altera significativamente a estrutura da comunidade bacteriana do solo em relação à mata nativa. O impacto da implantação dessa atividade agrícola acarreta em aumento da riqueza taxonômica, com o aparecimento de grupos metabolicamente diversificados para manter a funcionalidade do ecossistema. O sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) propiciou um ambiente favorável para o estabelecimento dos FMAs, pois tais áreas se apresentaram tanto maiores taxas de colonização micorrízica, como com um maior número de propágulos infectivos. A adição de fertilizantes nitrogenados promoveu um incremento na colonização micorrízica, com maior número de esporos e colonização micorrízica, sob o solo cultivado com a poácea *Axonopus catharinensis*, sendo esta espécie recomendada para sistemas conservacionistas.

Palavras-chave: Bioindicadores do solo. biomassa microbiana. Fungos Micorrízicos Arbusculares.

Como Citar (NBR 6023)

SILVA, Andréa Scaramal da; ZANDONÁ, Ana Paula; COLOZZI FILHO, Arnaldo. Atividade e diversidade microbiana no solo em sistemas integrados de produção agropecuária. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade**. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 152–164. ISBN 978-85-99584-10-1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipa-eilpsb>>. Acesso em: dd mmm. AAAA.

INTRODUÇÃO

Os micro-organismos, juntamente com a fauna e as raízes constituem a fração viva da matéria orgânica do solo e são responsáveis por serviços ambientais de grande importância nos ecossistemas, que garantem sua funcionalidade e preservação. Por isso podem ser utilizados como bioindicadores, uma vez que estão intimamente relacionados ao funcionamento e a qualidade do solo (MENDES et al., 2009).

Além da decomposição da matéria orgânica (MO) e ciclagem de nutrientes no solo, os micro-organismos atuam diretamente em processos relacionados à promoção de crescimento vegetal tais como a solubilização de fosfatos inorgânicos, a produção de fitohormônios, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) simbiótica ou assimbiótica, a produção de sideróforos; e também por processos indiretos como por exemplo, controle biológico de fitopatógenos e insetos, aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos entre outros (KAN et al., 2007; BULGARELLI et al., 2013). Também atuam de maneira direta e/ou indireta em processos de natureza física no solo, tais como a agregação do solo.

Os tipos de microrganismos e a sua abundância em determinados ambientes são influenciados por diversos fatores tais como: temperatura, pH, salinidade, fontes de energia, substratos orgânicos, disponibilidade de C e nutrientes no solo (N, P, S). Além disso, a microbiota do solo pode sofrer variações causadas por ações antrópicas como por exemplo, por mudanças no manejo e cultivo do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Neste contexto fica evidente que a fração biológica do solo é parte importante do sistema solo-planta e ambiente e é capaz de influenciar no potencial de uso, produtividade e sustentabilidade global dos sistemas naturais, bem como dos agrossistemas. Os componentes da microbiota são muito sensíveis às mudanças no ambiente causadas por atuações antrópicas, e por possuírem estreita inter-relação com atributos físicos e químicos no solo, são considerados bons indicadores de alterações no ambiente do solo causadas por ação antrópica (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Em função dos impactos ambientais decorrentes da agricultura intensiva, nas últimas décadas tem se atentado para o desafio de produzir mais respeitando os limites do ecossistema (Cordeiro et al., 2015). Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) podem ser variados, de acordo com os fatores de produção envolvidos (Integração Lavoura Pecuária – ILP, Integração Lavoura Pecuária Floresta – ILPF e outros), e caracterizam-se fundamentalmente pela interação entre seus componentes, com potencial de preservar os recursos naturais tornando o agrossistema mais sustentável (LEMAIRE et al., 2014). Credita-se ao SIPA uma série de benefícios como, por exemplo, o aumento na ciclagem de nutrientes (AZAR et al., 2013), incrementos na microbiota do solo, reduções de custos e intensificação na produção (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

O princípio básico dos agrossistemas ILP e ILPF é a promoção da ciclagem de nutrientes, ou seja, a utilização dos nutrientes provenientes da decomposição dos resíduos vegetais e de origem animal que permanecem na área e podem incrementar novo ciclo de produção de forragem, grãos, proteína animal e madeira (ASSMANN et al., 2008). Do ponto de vista da ciclagem de nutrientes e atividade microbiana no solo, o pastejo pode estimular uma grande variedade de organismos envolvidos na decomposição da matéria orgânica, que liberam ou mineralizam o nitrogênio, fósforo, enxofre e outros nutrientes provenientes dos resíduos de plantas e dejetos animais (WAKELIN et al., 2009), assim como grupos microbianos ligados à estruturação e agregação do solo, a processos de interação com plantas e com outros organismos com reflexos sobre o desenvolvimento das culturas ou mesmo sobre a ocorrência de patógenos no solo. Entretanto, os efeitos do pastejo sobre esta biodiversidade e a diversidade funcional dos microrganismos no solo ainda são pouco conhecidos.

As consequências da introdução de animais nos sistemas de produção agrícola de grãos tem sido objeto de muitos estudos que apontam a importância de se manejá-los adequadamente, de modo a permitir integração entre os componentes do sistema sem proporcionar danos à qualidade do solo e comprometer a quantidade de cobertura que restará no solo ao final do ciclo. Dessa forma, a intensidade de pastejo deve ser estudada não só em função da compactação proporcionada pelo pisoteio animal, mas sim por todos os fatores influenciados pelo maior ou menor porte de manutenção

da forragem. Souza et al. (2010) afirmam que o manejo influencia no crescimento radicular da forrageira e da cultura de grãos, sendo que altas intensidades de pastejo acarretam maior crescimento das raízes, com alterações no aporte de matéria orgânica em profundidade.

Assim, o manejo dos animais, das pastagens e das culturas agrícolas numa mesma área influencia as interações entre os componentes químicos, físicos e biológicos do solo e as transformações que ocorrem nos processos de ciclagem de nutrientes, de agregação do solo e também na diversidade microbiana e funcional.

Com o propósito de estudar o sistema ILP como alternativa sustentável de produção para a região noroeste do Paraná, onde predominam solos derivados do Arenito Caiuá que apresentam textura média a arenosa, são distróficos, com baixos teores de matéria orgânica e muito suscetíveis à erosão, o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) instalou em 2010, no município de Xambê, um experimento de ILP de longa duração, cujos tratamentos sintetizam opções de manejo do solo, culturas e animais para a condições regionais. Os detalhes da metodologia são descritos em Fidalski et al. (2013) e Silva et al. (2015). Neste experimento foram implementadas parcelas experimentais de 1,0 ha que, inicialmente, foram cultivadas com braquiária (*U. brizantha*) até a altura de 30 cm quando os animais foram introduzidos para pastejo. Após a retirada dos animais a pastagem foi dessecada e a semeadura da soja realizada em plantio direto.

Os tratamentos consistiram de uma área sem pastejo (SP) e de quatro intensidades de pastejo (IP) sendo IP-10, IP-20, IP-30 e IP-40 correspondentes a altura em cm (10, 20, 30 e 40 cm respectivamente) da pastagem remanescente após o pastejo animal na área. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, sendo a altura das pastagens realizada com ajuste da carga animal, verificado semanalmente com a entrada ou retirada de animais reguladores para manter a altura da pastagem o mais próximo da pretendida (AGUINAGA et al., 2006). O método de pastejo adotado foi o pastejo contínuo, com carga animal variável, por meio da utilização da técnica *put and take* (MOTT; LUCAS, 1952), sendo fixa a quantidade de dois animais experimentais por parcela e o número de animais reguladores variáveis.

As amostragens de solo foram realizadas após o segundo cultivo da pastagem, e após o segundo cultivo da soja, na camada de 0-10 cm. Avaliou-se o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM), respiração microbiana (RM), quociente metabólico (qCO_2), atividade enzimática (celulase, fosfatase ácida, β -glucosidade, arilsulfatase e FDA), estrutura e diversidade microbiana. O solo foi caracterizado quimicamente (PAVAN et al., 1992) após a pastagem e após a cultura da soja (Tabela 1).

Tabela 1 – Características químicas de LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico em sistema de integração lavoura-pecuária com pastagem e soja em sucessão, em diferentes intensidades de pastejo (IP), na profundidade 0-10 cm, conduzido na estação experimental do IAPAR no município de Xambê, PR.

IP*	P	C	pH	Al	Ca	K	Mg	S	CTC
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³							
Após pastagem									
IP-10	31,63	7,63	4,63	0,14	1,08	0,20	0,52	1,80	5,97
IP-20	26,93	7,71	4,67	0,14	1,13	0,20	0,50	1,84	5,91
IP-30	26,27	7,74	4,63	0,17	0,99	0,21	0,49	1,69	5,76
IP-40	28,70	8,02	4,60	0,18	0,96	0,20	0,43	1,60	5,67
SP	30,73	8,02	4,67	0,17	0,92	0,20	0,46	1,59	5,66
Após soja									
IP-10	31,10	9,26	4,70	0,08	1,50	0,13	0,67	2,30	5,90
IP-20	33,33	9,54	4,63	0,09	1,38	0,13	0,57	2,08	5,76
IP-30	34,30	9,50	4,70	0,07	1,29	0,13	0,59	2,00	5,68
IP-40	34,70	9,22	4,70	0,08	1,37	0,13	0,57	2,07	5,76
SP	27,07	8,72	4,67	0,07	1,26	0,12	0,54	1,93	5,52

Onde, P (Mehlich), C (Walkley-Black), pH (CaCl₂), Ca (KCl), Mg (KCl), K (Mehlich). Ca (cálcio); Mg (magnésio), K (potássio); S (soma de bases); CTC (Capacidade de Troca Catiônica); Al (saturação por alumínio); Médias de 3 repetições. *- determinado pela altura da pastagem remanescente após o pastejo, correspondendo a 10, 20, 30 e 40 cm para os tratamentos IP-10, 20, 30 e 40, respectivamente, SP- sem pastejo. Fonte: Silva et al. (2015)

Conforme dados publicados por Silva et al. (2015), as análises realizadas no início do experimento, após o segundo cultivo da pastagem e após o segundo cultivo da soja mostraram que o carbono da biomassa microbiana (CBM) variou em função da altura da pastagem remanescente após o pastejo (10, 20, 30 e 40 cm) e na área sem pastejo (SP), após pastagem e cultivo da soja (Tabela 2) (SILVA et al., 2015). Após o período de pastagem, o tratamento IP-20 apresentou um valor de CBM (68,75 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco), significativamente ($p < 0,05$) maior que os valores obtidos para os demais tratamentos. Em intensidades moderadas de pastejo (20 cm), já ocorre adição significativa de resíduos de *Brachiaria ruziziensis*, que estimula a biomassa microbiana em decorrência da liberação de substâncias orgânicas como, exsudatos, mucilagens, secreções, e um sistema radicular denso e de constante renovação, que disponibiliza nutrientes para a microbiota do solo (TISDALL; OADES, 1982). Outro fator é a presença dos animais na área em ação de pastejo, que exerce papel importante na ecologia microbiana do solo, por meio de uma série de fatores específicos associados à presença dos animais como a deposição de urina e fezes (CLEGG, 2006). É importante ressaltar que, em sistemas ILP, a quantidade e a distribuição dos resíduos animais na área são diferenciadas. Conforme Baggio (2007), em intensidades moderadas de pastejo (20 cm), ocorre concentração de dejetos animais em determinados locais, pois o animal, tendo maior oferta de forragem, permanece mais tempo em um mesmo local. Já em situações de baixa oferta de forragem, como no tratamento IP-10, o animal caminha mais para adquirir o alimento que necessita (BAGGIO, 2007), distribuindo os dejetos em vários pontos da área. Por isso, a amostragem de solo deve ser composta e criteriosamente subdividida na área para diminuir a variabilidade dos dados promovida por este comportamento natural dos animais e permitir a determinação de diferenças significativas.

Tabela 2 – Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana (RM) e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) em LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, em sistema de integração lavoura-pecuária com pastagem e soja em sucessão, em diferentes intensidades de pastejo (IP), na profundidade de 0 a 10 cm.

IP*	CBM	RM	$q\text{CO}_2$
	$\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco	$\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo dia ⁻¹	$\mu\text{g C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{C-CBM h}^{-1}$
Após pastagem			
IP-10	47,56 b	0,28 a	6,01 ab
IP-20	68,75 a	0,25 a	5,18 b
IP-30	40,51 bc	0,33 a	8,20 ab
IP-40	39,31 bc	0,31 a	7,85 ab
SP	26,51 c	0,26 a	9,88 a
CV%	13,97	20,46	25,35
Após soja			
IP-10	49,74 c	0,16 a	3,27 a
IP-20	72,60 b	0,21 a	2,92 a
IP-30	79,20 ab	0,20 a	2,51 a
IP-40	96,12 a	0,27 a	2,76 a
SP	80,95 ab	0,21 a	2,53 a
CV%	10,53	45,48	29,55

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) de probabilidade. *- determinado pela altura da pastagem remanescente após o pastejo, correspondendo a 10, 20, 30 e 40 cm para os tratamentos IP-10, 20, 30 e 40, respectivamente, SP- sem pastejo. Fonte: Silva et al. (2015)

Na pastagem, no tratamento IP-10, portanto com maior intensidade de pastejo, o valor de CBM foi superior ao observado no tratamento SP e não apresentou diferença significativa entre os tratamentos com intensidade de pastejo moderada (30 e 40 cm). No entanto, deve-se levar em consideração que durante o período de cultivo da pastagem e do pastejo, as temperaturas ficaram amenas. Resultados semelhantes foram observados por Souza et al., (2010), onde em situações sem estresse, não ocorreu diferenças entre os tratamentos IP-10, IP-30 e IP-40. Segundo Souza et al. (2009), em intensidades elevadas de pastejo, a princípio ocorre maior acúmulo de C no sistema, devido a maior adição de resíduos de origem animal e constante renovação da pastagem com o pastejo intensivo. Como o CBM é influenciado pela disponibilidade de nutrientes minerais e pelo C orgânico do solo, o acúmulo desse material no solo irá aumentar a matéria orgânica, estimulando a biomassa microbiana. No entanto, o tempo de instalação do sistema pode ter papel determinante, como em Souza et al. (2009) que após três anos de sistema ILP sob plantio direto, observaram que

ocorre perdas de C no tratamento de maior intensidade de pastejo (10 cm) e aumento de C no sistema nas intensidades moderadas (20 e 40 cm) e no tratamento que não foi pastejado.

Após o cultivo da soja, o CBM no tratamento IP-40 de altura de pastagem foi superior em relação aos tratamentos IP-10 e IP-20, e não diferiu dos tratamentos IP-30 e SP (Tabela 2). Ao contrário do que foi verificado na avaliação realizada após o período de pastagem, o tratamento de maior intensidade de pastejo IP-10 apresentou os menores valores de CBM, diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos demais tratamentos. Contrariamente ao ocorrido no ciclo da pastagem, no ciclo da soja foram observadas as temperaturas mais elevadas, que com a baixa proteção do solo, provocado pela alta intensidade de pastejo no tratamento IP-10, provocou aumento da temperatura do solo, diminuição da umidade, com conseqüente diminuição da biomassa microbiana. Dessa forma, o tratamento com maior altura de pastagem e com menor intensidade de pastejo (IP-40), provavelmente proporcionou menor perda de água e menor temperatura do solo, favorecendo a biomassa microbiana, fato também observado por Mercante et al. (2008) para diferentes sistemas de manejo envolvendo diferentes intensidades de cobertura e por Souza et al. (2010) em condições semelhantes. Esse comportamento também foi verificado por Souza et al. (2010) em condições de deficit hídrico, onde a maior intensidade de pastejo apresentou redução para os teores de CBM.

De acordo com Chavéz et al. (2011), outro fator é que a alta intensidade de pastejo aplicada durante o ciclo da pastagem reduz a quantidade de resíduos na superfície do solo para a próxima cultura. Segundo Assmann et al. (2008), para uma boa manutenção de resíduos do solo e um bom manejo do plantio direto sem prejudicar o sistema são necessários 2.000 kg ha⁻¹ de matéria seca, aproximadamente, ou seja, em torno de 15-20 cm de altura para o caso de pastagens de aveia e/ou azevém. Para solos com baixo teor de argila, como os da região do Arenito Caiuá, são necessários 9.000 kg ha⁻¹ de matéria seca para manter o estoque inicial de C no solo (VIEIRA, 2007).

Utilizando o tratamento SP como referência, observa-se aumento de 159% nos valores de CBM após a pastagem, para o tratamento IP-20, e mesmo sem diferenças significativas, os valores de CBM entre os tratamentos IP-10, IP-30 e IP-40 seguiram a mesma tendência, com valores superiores ao SP em 79, 53 e 48%, respectivamente (Figura 1). Já, após o cultivo da soja observa-se que somente o tratamento com maior altura de pastejo, IP-40, manteve os valores de CBM superior (18 %) ao tratamento SP. Os tratamentos IP-10, IP-20 e IP-30 obtiveram valores de CBM inferiores ao tratamento SP em 38, 10 e 2%, respectivamente (Figura 1).

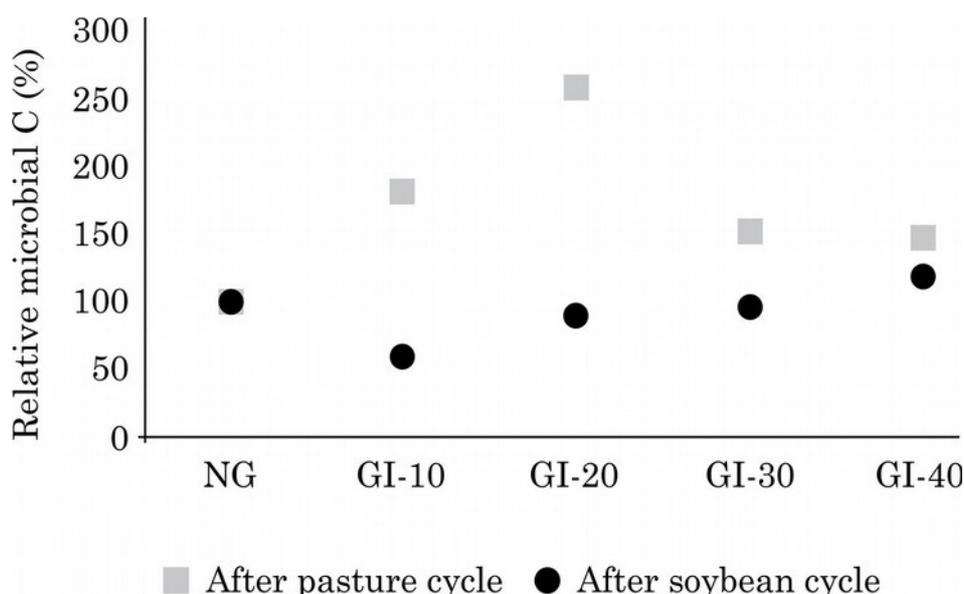


Figura 1 – Carbono microbiano relativo* em LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, em sistema de integração lavoura-pecuária, em diferentes intensidades de pastejo, na profundidade de 0 a 10 cm, conduzido na estação experimental do IAPAR no município de Xambê, PR. * IP x 100/SP, para cada tratamento de pastejo em cada cultivo. Silva et al. (2015).

Não houve diferença significativa ($p < 0,05$) nos valores de respiração microbiana (RM) entre os tratamentos nas avaliações após pastagem e após soja (Tabela 2). Em estudo com diferentes sistemas de manejo, incluindo pastagem plantada com *Brachiaria decumbens*, plantio direto e convencional no sul de Goiás, D'Andréa et al. (2002) também não encontraram diferenças significativas nos valores de respiração microbiana na camada 0-10 cm. Esses autores justificaram a ausência de diferença entre os tratamentos pela recente implantação do sistema de plantio direto (entre quatro e cinco anos) onde a biomassa microbiana pode estar ainda em adaptação às condições do solo. Nesse trabalho, a recente instalação do sistema ILP (dois anos) também pode justificar a ausência de diferença entre os tratamentos. No entanto, deve-se levar em consideração as diferenças climáticas entre os Cerrados e a região sul do Brasil que influenciam diretamente a dinâmica do carbono e a atividade dos micro-organismos do solo. Uma vez que em trabalhos desenvolvidos na região Sul (BALOTA et al., 1998; CERVANTES, 2012), os valores de RM foram elevados no plantio direto, pode-se supor que valores mais elevados de RM e diferenças entre os tratamentos possam ocorrer ao longo do tempo.

O qCO_2 apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos IP-20 e SP na avaliação após pastagem. No tratamento IP-20, o valor de qCO_2 foi 1,64 vezes menor, em relação aos valores na área sem pastejo (Tabela 2). Após a soja não houve diferença significativa entre os tratamentos para os valores de qCO_2 . Mercante et al. (2008) e Carneiro et al. (2009), relataram que quanto menor o qCO_2 , menos C é perdido com CO_2 pela respiração, mais eficiente é a biomassa microbiana na utilização de compostos orgânicos, incorporando mais carbono aos tecidos microbianos. Dessa forma, solos com baixos valores de qCO_2 estão próximos ao equilíbrio, sendo que maiores valores são encontrados em ambientes estressantes, onde ocorre maior consumo de carbono para a manutenção da biomassa microbiana. Carneiro et al. (2009) observaram menores valores de qCO_2 em área de integração lavoura-pecuária em relação à área nativa do cerrado. O mesmo resultado foi verificado por Souza et al. (2010) em um experimento de longa duração, com diferentes intensidades de pastejo. No tratamento IP-20, conforme já mencionado, ocorre uma abundância de material facilmente decomponível, refletindo na alta eficiência dos micro-organismos em converter os resíduos orgânicos depositados em biomassa microbiana, na área sem pastejo, os resíduos vegetais estão mais bem distribuídos e menos decompostos pelos micro-organismos, em relação às áreas pastejadas.

Após 3 anos de sistema ILP, em trabalho realizado na mesma área experimental, avaliando novamente CBM, atividade enzimática e diversidade microbiana, foi possível verificar que o manejo da pastagem com intensidade moderada de pastejo animal (IP-20), apresentou teores de CBM superiores aos demais manejos, na camada 0 – 10 cm (Figura 2) (Scaramal, 2017). Nessa camada não ocorreu diferença significativa entre alta intensidade de pastejo (IP-10), moderada (IP-30), baixa (IP-40) e área sem pastejo (SP). Em profundidade, na camada 10 – 20 cm apenas as áreas IP-10 e IP-20 apresentaram valores que diferiram significativamente, sendo que, os teores de CBM foram 1,5 vezes maiores em IP-20. Nesse mesmo tratamento, na camada 20 – 30 cm os teores de CBM em IP-10 foi em média 4,56 vezes menores em relação a IP-20 e SP, que foram significativamente superior (Figura 2).

Aumentos nos teores de CBM foram observados, quando comparados aos valores obtidos no início do experimento (SILVA et al., 2015). O incremento dos valores de CBM e da atividade microbiana no decorrer do tempo estão diretamente relacionados a imobilização temporária de nutrientes e, conseqüentemente, menor propensão a perdas (MERCANTE et al., 2008), conforme hipótese de Silva et al., (2015). Ressalta-se que o sistema radicular das gramíneas apresenta rápido desenvolvimento vegetativo, aumentando a liberação de exsudatos no solo, o que favorece o desenvolvimento e crescimento da população microbiana na rizosfera (SOUZA et al., 2010). A maior imobilização de carbono pela microbiota em áreas com plantas de cobertura deve-se ao maior teor de C orgânico incorporado ao solo via resíduos destas plantas. A maior quantidade de resíduos na superfície do solo, além de aumentar a disponibilidade de substrato, determina condições de menor variação térmica e maior disponibilidade de água, o que favorece o incremento da biomassa microbiana do solo. Outro fator que favorece o incremento da biomassa é a presença de leguminosas nos sistemas de rotação de culturas, associada à redução de revolvimento do solo (BALOTA et al., 1998).

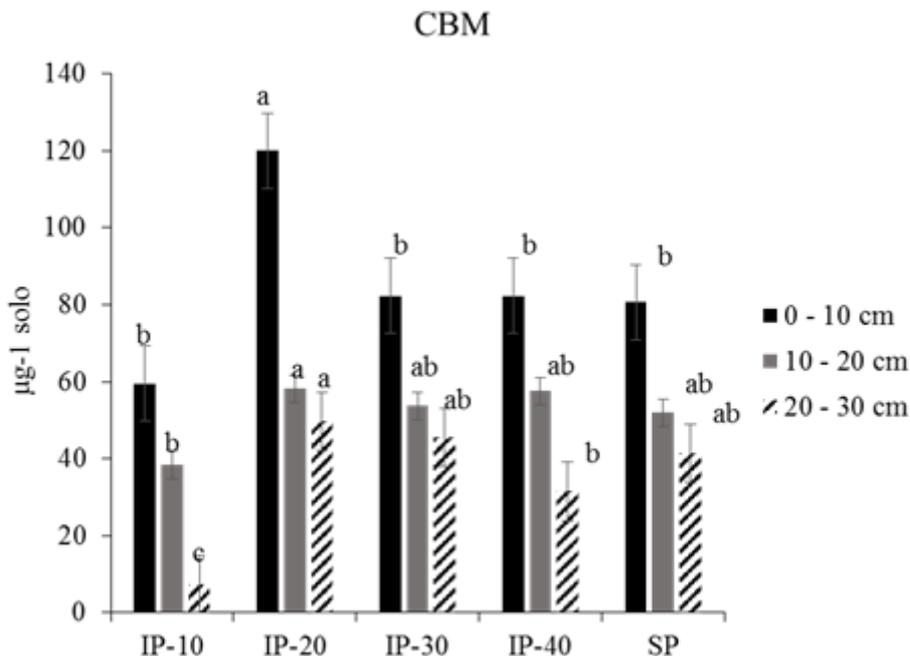


Figura 2 – Carbono da biomassa microbiana (CBM) em LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, com diferentes intensidades de pastejo (IP), IP-10, 20, 30 e 40, correspondendo respectivamente a 10, 20, 30 e 40 cm e SP- sem pastejo nas camadas 0-10 cm, 10-20cm e 20-30 cm. Onde ns, corresponde a não significativo pelo teste de Tukey ($p < 0.05$) de probabilidade (Silva et al., 2015).

Após o ciclo da pastagem, a enzima β -Glucosidase apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as áreas (Tabela 4). A maior atividade ocorreu no IP-40 e SP (211 e $217 \mu\text{g PNH g}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente), que foram significativamente ($p < 0,05$) superiores a IP-10, IP-20 e IP-30 (Tabela 3).

Não houve diferença ($p < 0,05$) na atividade da enzima Fosfatase acida, Arilsulfatase e da FDA entre os tratamentos (Tabela 3). No entanto, na área sem pastejo animal a atividade da enzima Arilsulfatase foi 1.22 vezes maior ($9,30 \mu\text{g PNH g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em relação as áreas pastejadas (média $7,6 \mu\text{g PNH g}^{-1} \text{h}^{-1}$). Com exceção do tratamento IP-20, a atividade da FDA apresentou comportamento inverso a da enzima Arilsulfatase, as áreas com pastejo animal IP-10, IP-30 E IP-40 apresentaram maior atividade (média $131 \mu\text{g PNH g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em relação ao tratamento sem pastejo, que foi 1,13 vezes menor (Tabela 3).

Tabela 3 – Atividade enzimática da arilsulfase, fosfatase ácida, β -glucosidase e fosfatase ácida em LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico em sistema de integração lavoura-pecuária, com pastagem e soja em sucessão, com diferentes intensidades de pastejo (IP), na camada de 0 a 10 cm.XIP*

	Arilsulfatase	Fosfatase ácida	β -Glucosidase	FDA
	$\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$			$\mu\text{g F g}^{-1}$
IP-10	6,65 ^{ns}	125,00 ^{ns}	184,07 b	135,61 ^{ns}
IP-20	7,24	120,20	184,73 b	118,63
IP-30	8,88	115,58	183,62 b	133,04
IP-40	7,64	95,24	211,31 a	126,19
SP	9,30	112,17	217,26 a	115,50
CV%	13,9	9,53	4,2	10,64

Onde ns, corresponde a não significativo pelo teste de Tukey ($p < 0.05$) de probabilidade. *- determinado pela altura da pastagem remanescente após o pastejo, correspondendo a 10, 20, 30 e 40 cm para os tratamentos IP-10, 20, 30 e 40, respectivamente, SP- sem pastejo.

A maior cobertura do solo, resultante da quantidade de resíduos vegetais na superfície da área SP e com a diminuição da intensidade de pastejo, aumenta a quantidade de resíduos vegetais presentes sobre o solo, pois menor quantidade da biomassa de forragem é consumida (MARTINS et al., 2015). Baixa atividade da β -glucosidase na área IP-10 e IP-20, em comparação às áreas de pastejo baixo e sem pastejo, no sistema de integração lavoura-pecuária, podem ocorrer em razão da redução na biomassa vegetal e, conseqüentemente, da redução dos nutrientes e da umidade do solo, com efeitos nocivos para as comunidades microbianas (ACOSTA-MARTÍNEZ et al., 2010). Analisando a influência do pastejo na atividade biológica do solo, Prieto et al. (2011) registraram declínio na atividade da β -glicosidase em reposta à redução da cobertura vegetal das gramíneas perenes estudadas, em razão do pastejo. Nesse estudo, é possível que o pastejo tenha ocasionado a redução da cobertura vegetal em nível capaz de influenciar a atividade da β -glicosidase, que foi menor nos tratamentos de maior intensidade de pastejo.

Em relação a diversidade bacteriana analisado por sequenciamento parcial do gene rDNA 16 S, ao considerar a composição das comunidades bacterianas sob a área de mata (AR) e nas áreas agrícolas com e sem pastejo animal, é notável que ocorre uma diferença significativa entre suas estruturas (SCARAMAL, 2017). A similaridade da comunidade bacteriana das áreas sob intensidades moderadas de pastejo (IP-20 e IP-30) (Figura 2) que indica homogeneidade nas modificações bioquímicas do solo causadas pelo sistema e a separação espacial da estrutura das comunidades em decorrência das diferentes intensidades de pastejo animal e área sem pastejo demonstram que as alterações microbiológicas são reflexos, não apenas da remoção da vegetação nativa, mas também do nível e da intensidade da exploração agrícola. Diferentes intensidades de pastejo animal resultam em quantidades diferenciadas de resíduos disponibilizados no solo e pode trazer alterações na funcionalidade dos grupos microbianos, como observado por Chávez et al. (2011) que verificou diferença na diversidade metabólica da comunidade microbiana do solo em sistema de integração lavoura pecuária com diferentes intensidades de pastejo e área sem pastejo.

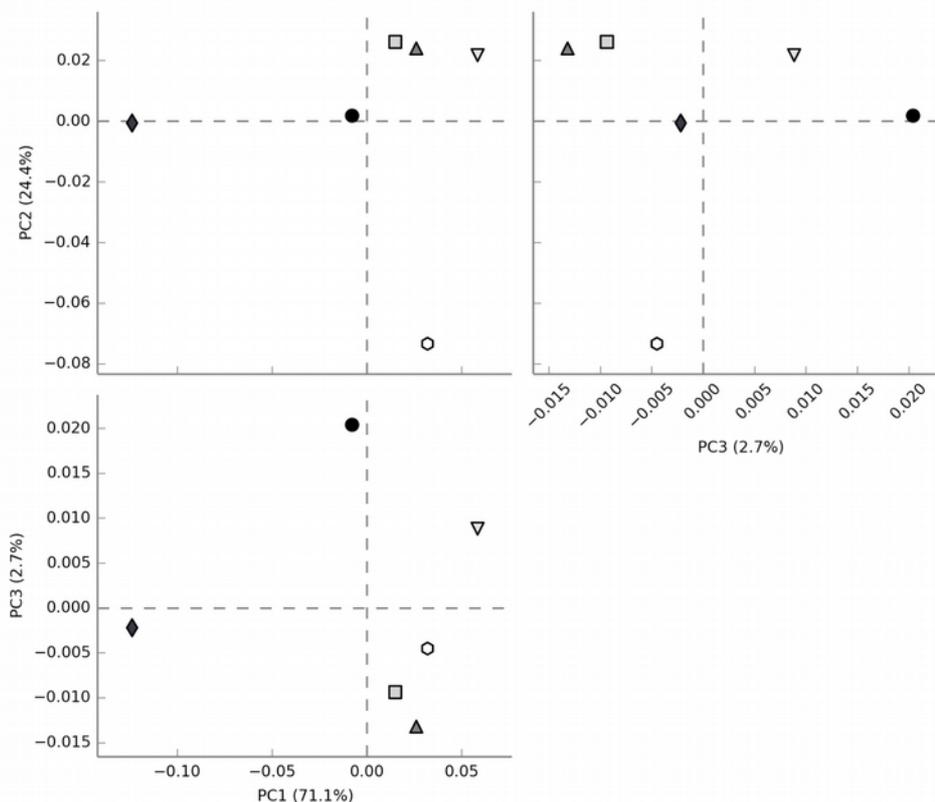


Figura 2 – Análise de Componentes Principais (PCA) da comunidade bacteriana em solo submetido as intensidades de pastejo de 10, 20, 30 e 40 cm de altura da forragem remanescente. IP= Intensidade de pastejo 10, 20, 30 e 40, respectivamente, SP=sem pastejo e AR-área de mata nativa. Fonte: Silva, 2017

Outro estudo que vem sendo conduzido pelo IAPAR na estação experimental Fazenda Modelo localizada em Ponta Grossa, trata da incorporação do componente arbóreo em SIPA, ou seja, sistema ILPF. A introdução de árvores em sistemas integrados de produção pode proporcionar benefícios tais como aumentos no sequestro de carbono, redução da necessidade de fertilizantes minerais, melhorias no bem-estar animal e diversificação de renda para o produtor entre outros. No entanto, pode ocorrer competição por água e nutrientes entre as árvores, as forragens e as culturas de grãos (CUBBAGE et al., 2012) e também por luminosidade, entre outros (HIROSE; BAZZAZ, 1998). Neste contexto, também a diversidade e a atividade dos microrganismos edáficos podem ser alteradas em função da espécie forrageira, da cultura, da presença de árvores na área de cultivo, dos animais em pastejo e também do manejo dos animais, arvores, pastagens e cultivos (GAO et al., 2014). Em se tratando de sistemas sustentáveis, o conhecimento acerca dos atributos microbiológicos e dos fatores que os afetam tornam estes estudos de grande relevância

Este experimento de longa duração esta instalado a campo (Fig. 3) e tem como tratamentos dois sistemas de cultivo, arborizado e a pleno sol, duas dose de N aplicadas nas forragens (0 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e cinco espécies de forrageiras comumente cultivadas na pecuária brasileira (*Axonopus catharinensis*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Cynodon* spp. cv. Tifton 85, *Hemarthria altissima* cv. Flórida e *Megathyrus maximus* cv. Aruana). As árvores de *Eucalyptus dunnii* foram plantadas na densidade inicial de 267 árvores ha⁻¹, em arranjo de fileiras duplas (renques) espaçadas de 21 m, com 3 m entre árvores na linha e 4 m entre as linhas que compõem o renque. Detalhes sobre o experimento são descritos em Zandoná (2017).

Os atributos microbiológicos avaliados foram o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo, a atividade da enzima fosfatase ácida e a colonização, esporulação e produção de glomalina por fungos micorrízicos arbusculares.



Figura 3 – Vista das parcelas arborizadas com *Eucalyptus dunnii* de sistema integrado ILPF conduzido pelo IAPAR na área experimental em Ponta Grossa, PR. Foto: IAPAR.

Não foram observadas diferenças estatísticas no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e na atividade da enzima fosfatase ácida em função dos tratamentos. Diferenças significativas foram observadas na colonização micorrízica (CM) em função dos fatores sistema ($P < 0,10$), dose de N ($P < 0,05$) e espécies forrageiras ($P < 0,001$) (Tabela 4). As médias de CM das forrageiras em sub-bosque foram superiores ($41,8 \pm 1,33$ %) em relação ao seu cultivo a pleno sol ($37,5 \pm 1,54$ %) (ZANDONÁ, 2017). Os resultados coincidem com os encontrados na literatura, onde é atribuído, por exemplo, maior micorrização em cafeeiros sob sistema arborizado quando comparado ao seu cultivo a pleno sol (ALVES et al, 2013). Os maiores teores de umidade e a restrição luminosa proporcionada pelo componente arbóreo podem estar relacionados a maior CM em tais sistemas, em contrapartida, as altas temperaturas do cultivo a pleno sol pode ser um empecilho (SANDERS; KOIDE, 1994). Tanto a quantidade e a disponibilidade de nutrientes presentes no solo podem determinar a eficiência e a presença de inóculo dos FMAs (ZANGARO et al., 2000). A adubação nitrogenada é uma prática fundamental quando se pretende aumentar a produção da forragem, principalmente em ambientes com restrição luminosa (PONTES et al., 2016). Neste caso, mesmo com a adição de N no solo a porcentagem média de CM foi superior ($43,2 \pm 1,33$ %) que em relação ao tratamento sem o

aporte de N ($38,1 \pm 1,66\%$). A maior contribuição da CM em áreas adubadas com N pode ser constatada pelos níveis de P presentes no solo, pois apesar da adubação fosfatada ser a mesma para ambas as doses de N, os teores de P extraídos pelo Mehlich-1 variaram de $27,6 \text{ mg/dm}^3$, no solo que não recebeu adubação nitrogenada, e $18,22 \text{ mg/dm}^3$ com o aporte de N (ZANDONÁ, 2017).

Tabela 4 – Análise da variância dos atributos microbiológicos do solo em experimento de Sistema Integrado de Produção Agropecuária conduzido na Fazenda Experimental do IAPAR em Ponta Grossa, PR. Média de três repetições.

Fatores	GL	CM	ESP	GT	GFE
Sistema (S)	1	2,43 [#]	11,89 ^{**}	ns	ns
Nível de nitrogênio (N)	1	4,57 [*]	1,93 [#]	ns	ns
Espécie (E)	4	17,50 ^{***}	5,70 [#]	ns	ns
Bloco (S)	4	ns	ns	20,90 ^{***}	22,99 ^{***}
Distância das árvores (DA) (S)	2	ns	3,43 [#]	ns	ns
N x E	4	ns	ns	ns	ns
N x S	1	ns	3,92 [*]	ns	ns
N x DA (S)	2	ns	ns	ns	ns

Significativo ao nível de probabilidade de 0,10 (i.e. $P < 0,10$). * $P < 0,05$. ** $P < 0,01$. *** $P < 0,001$. ns, não significativo. Colonização micorrízica (CM), esporulação por Fungos Micorrízicos Arbusculares (ESP), glomalina total (GT), glomalina facilmente extraível (GFE). GL, graus de liberdade. Fonte: Zandoná, 2017.

Da mesma forma que a CM, a ESP também sofreu influência das distintas espécies forrageiras ($P < 0,10$) (Tabela 4). Brundrett e Kendrick (1988) relatam que a ESP pode ser influenciada por diversos fatores, dentre eles as plantas hospedeiras. Neste trabalho, as espécies hospedeiras que mais favoreceram a ESP foram: *B. brizantha* ($56,7 \pm 7,76/50 \text{ mL de solo}^{-1}$), *Cynodon* spp ($44,7 \pm 5,58/50 \text{ mL de solo}^{-1}$) e *A. catharinensis* ($53,3 \pm 9,71/50 \text{ mL de solo}^{-1}$). Além disso, os dados apresentados reforçam a ideia que o nível de CM e a ESP não são dependentes um do outro, embora possam estar relacionados. Por exemplo, a *B. brizantha* ($56,7 \pm 7,76/50 \text{ mL de solo}^{-1}$) diferiu estatisticamente ($P < 0,05$), quanto a ESP, das espécies *M. maximus* ($40,0 \pm 6,15/50 \text{ mL de solo}^{-1}$) e *H. altissima* ($36,1 \pm 5,49/50 \text{ mL de solo}^{-1}$). Tal fato pode ter ocorrido devido a *B. brizantha* ser considerada uma planta altamente micorrízica o que permitiria ser colonizada pela maioria das espécies de FMAs nativos presentes na área. A pouca seletividade da *B. brizantha* pode ter favorecido a simbiose com espécies de FMAs, que colonizam rapidamente o hospedeiro e produzem grande quantidade de ESP. Cabe ressaltar que algumas espécies de FMAs podem necessitar de um maior tempo para esporular ou ainda esporularem pouco, persistindo no ambiente principalmente na forma ativa (micélio) e não como esporos (GOMIDE et al., 2009).

Em relação aos teores de GT e GFE, não foram observadas diferenças significativas entre os fatores estudados, exceto em relação aos blocos (Tabela 4). Embora a produção desta glicoproteína provenha principalmente da decomposição de esporos e hifas e em menor grau da liberação passiva ou por exsudações do micélio externo dos FMAs, o sistema arborizado, mesmo com incrementos na taxa de CM e no ESP, apresentou médias inferiores nos teores de GT ($4,6 \pm 0,16 \text{ mg g}^{-1}$ solo) e GFE ($2,5 \pm 0,06 \text{ mg g}^{-1}$ solo) em relação ao cultivo a pleno sol, sendo neste os valores respectivamente de $5,9 \pm 0,16 \text{ mg g}^{-1}$ solo e $2,6 \pm 0,05 \text{ mg g}^{-1}$ solo. Considera-se que as plantas que foram cultivadas a pleno sol por serem mais ativas permitiriam haver uma maior produção de micélios externos de FMAs, contribuindo assim, para o aumento na deposição de glomalina neste sistema, o que poderia explicar os resultados deste trabalho, embora o fator sistema não seja significativo para essas variáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema integração lavoura pecuária (ILP) no noroeste do Paraná, em LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, aumenta teores de nutrientes no solo que favorecem sua qualidade microbiológica. Após os três primeiros anos de implantação do sistema na área observa-se aumento da biomassa microbiana e da atividade para todos os tratamentos. A implantação de um sistema ILP, assim como qualquer prática agrícola, altera significativamente a estrutura da comunidade bacteriana do solo em relação à mata nativa. O impacto da implantação dessa atividade agrícola acarreta em aumento da riqueza taxonômica, com o aparecimento de grupos metabolicamente diversificados para manter a funcionalidade do ecossistema. A intensidade moderada de pastejo, com 20 cm de pastagem remanescente, incrementa os valores da biomassa microbiana e sua atividade no perfil do solo, e foi a que melhor se adequou à área estudada, por apresentar melhorias na qualidade do solo como um todo, indicando ser uma alternativa de prática agrícola viável para minimizar problemas de degradação dos solos cultivados da região e para recuperar pastagens degradadas.

O sistema integrado de produção agropecuária lavoura pecuária floresta (ILPF) propiciou um ambiente favorável para o estabelecimento dos FMAs, pois tais áreas se apresentaram tanto maiores taxas de colonização micorrízica, como com um maior número de propágulos infectivos. A adição de fertilizantes nitrogenados promoveu um incremento na colonização micorrízica, com maior número de esporos e colonização micorrízica, sob o solo cultivado com a poácea *Axonopus catharinensis*, sendo esta espécie recomendada para sistemas conservacionistas.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA MARTINEZ, V., DOWD, S.E., BELL, C., LASCANO, R.J., BOOKER, J.D., ZOBECK, T.M., UPCHURCH, D.R. Microbial community composition as affected by dryland cropping systems and tillage in a semiarid sandy soil. **Diversity**, v. 2, p. 910–931, 2010.
- AGUINAGA, A.A.Q.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; SANTOS, D.T.; FREITAS, F.K.; LOPES, M.T. Produção de novilhos superprecoces em pastagem de aveia e azevém submetida a diferentes alturas de manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 35, p. 1765–1773, 2006.
- ALVES, M. J. et al. Fungos micorrízicos arbusculares em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 8., 2013, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Cadernos de Agroecologia, 2013. v. 8, p. 1–6.
- ARAUJO, A. S. F; MONTEIRO, R, T, R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66–75, 2007.
- AZAR, G. S. et al. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2727–2736, 2013.
- BAGGIO, C. **Comportamento em pastejo de novilhos numa pastagem de inverno submetida a diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado)
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 1925–1933, mar. 2009.
- BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A.; DICK, R. P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, p. 15–20, 2003.
- BRUNDRETT, M. C.; KENDRICK, B. The mycorrhizal status, root anatomy, and phenology of plants in a sugar maple forest. **Canadian Journal of Botany**, v. 66, n. 6, p. 1153–1173, 1988.
- BULGARELLI, D.; SCHLAEPPI, K.; SPAEPEN, S.; VAN THEMAAT, E. V. L.; SCHULZE-LEFERT, P. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. **Annual Review of Plant Biology**, [s.l.], v. 64, p. 807–838, 2013.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147–157, 2009.

CARVALHO, P. C. de F. et al. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 5, p. 1040–1046, 2014.

CHAVÉZ, L.F., ESCOBAR, L.F., ANGHINONI, I., CARVALHO, P.C.F.; MEURER, E.J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1254–1261, 2011.

CLEGG, C.D. Impact of cattle grazing and inorganic fertilizer additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. **Applied Soil Ecology**, v. 31, p. 73–82, 2006.

CORDEIRO, L. A. M. et al. Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: estratégias para a intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1-2, p. 15–43, 2015.

CUBBAGE, F., et al. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. **Agroforestry Systems**. v. 86, p. 303–314, 2012.

D'ANDRÉA, A.F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo do solo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 26, p. 913–923, 2002.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico, após o primeiro período de pastejo contínuo de *Brachiaria ruziziensis*, em sistema integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 775–783, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000300024

GOMIDE, P. H. O. et al. Diversidade e função de fungos micorrízicos arbusculares em sucessão de espécies hospedeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2009.

HIROSE, T.; BAZZAZ, F. A. Trade-off between light-and nitrogen-use efficiency in canopy photosynthesis. **Annals of Botany**, v. 82, n. 2, p. 195–202, 1998.

KAN, F.L.; CHEN, Z.Y.; WANG, E.T.; TIAN, C.F.; SUI, X.H.; CHEN, W.X. Characterization of symbiotic and endophytic bacteria isolated from root nodules of herbaceous legumes grown in Qinghai-Tibet plateau and in other zones of China. **Archives of Microbiology**, v. 188, p. 103–115, 2007.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 190, n. 1, p. 4–8, jun. 2014.

MARTINS, A. P., KUNRATH, T. R., ANGHINONI, I., CARVALHO, PC de F. et al. **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

MENDES, I.C.; HUNGRIA, M.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. **Bioindicadores para Avaliação da Qualidade dos Solos Tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. p. 31. Documentos 246.

MERCANTE, F. M., DA SILVA, R. F., FRANCELINO, S. F., CAVALHEIRO, J. C. T.,; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca- **Acta Scientiarum. Agronomy**, n. 30, v.4, p.479–485, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

MOTT, G.O.; LUCAS, H.L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: **Proceeding...** 6. International Grassland Congress; Aug 17-22 1952; Pennsylvania. Pennsylvania: State College Press; p. 1380–1385, 1952.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.D.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, IAPAR, 40 p. (Circular, 76). 1992.

SANDERS, I. R.; KOIDE, R. T. Nutrient acquisition and community structure in co-occurring mycotrophic and non-mycotrophic oldfield annuals. **Functional Ecology**, v. 8, n. 1, p.77–84, 1994.

SCARAMAL, A. M. **Atributos microbiológicos e físicos de uma latossolo sob integração lavoura-pecuária no arenito caiuíá.** Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2017. 116 p. Tese (Doutorado).

SILVA, A. S. D., COLOZZI FILHO, A., NAKATANI, A. S., ALVES, S. J., ANDRADE, D. D. S.,; GUIMARÃES, M. D. F. Microbial characteristics of soils under an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 40–48, 2015.

SOUZA, E. D. de. COSTA, S. E. V. G de A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S de.; CARVALHO, P. C. de F.; MARTINSET, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 79–88, 2010.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 1, p. 141–163, 1982.

VIEIRA, F.C.B. **Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um Argissolo sob plantio direto afetado por sistemas de cultura e adubação nitrogenada.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 123 p. Tese (Doutorado).

WAKELIN, S.A.; GREGG, A.L.; SIMPSON, R.J.; LI, G.D.; RILEY, I.T.; McKAY, A.C. Pasture management clearly affects soil microbial community structure and N-cycling bacteria. **Pedobiologia**, v. n. 52: p. 237–251, 2009.

ZANDONÁ, A. P. **Atributos microbiológicos de um solo com distintas espécies forrageiras tropicais: efeito do sombreamento e da adubação nitrogenada.** Instituto Agronômico do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Conservacionista, 2017. 50 p. Dissertação (Mestrado).

ZANGARO, W.; BONINI, V. L. R.; TRUFEN, S. B. Mycorrhizal dependency inoculum potential and habitat preference of native woody species in South Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, n. 4, p. 603–622, 2000.

Esse livro foi editado no
LibreOffice versão: 5.1.6.2 (pt_BR.UTF-8)

em Sistema Operacional GNU-Linux, distribuição
Ubuntu Studio LTS Release: 16.04.1 Xenial Xerus

*Nós apoiamos o Software Livre0,
Seja Livre Você também!*