

Gestão da paisagem e dos inventários de emissão de metano em sistemas inundáveis de cria e recria de bovinos no Pantanal: estudo de caso na Fazenda São Bento

Ivan Bergier ¹
Luiz Orcírio Fialho de Oliveira ²
Michely Tomazi ³
Urbano Gomes Pinto de Abreu ¹
Fernando Rodrigues Teixeira Dias ²

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro 1880
79320-900 Corumbá - MS, Brasil
{ivan.bergier; urbano.abreu}@embrapa.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Gado de Corte
Av. Rádio Maia 830, Vila Popular
79106-550, Campo Grande - MS, Brasil
{luiz.orcirio; fernando.dias}@embrapa.br

³ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Agropecuária Oeste
Rodovia BR-163 km 253,6 - Caixa Postal 449
79804-970, Dourados - MS, Brasil
michely.tomazi@embrapa.br

Resumo. Este trabalho emprega técnicas de integração de dados de imagens históricas de sensoriamento remoto e dados de campo para mapear paisagens inundáveis e quantificar as emissões de CH₄ em sistemas de produção de bovinos no Pantanal. Para o estudo de caso da Fazenda São Bento, os resultados indicam que a variabilidade das emissões naturais de CH₄ das paisagens é de 5 a 11 vezes superior à magnitude das emissões entéricas dos bovinos. Além disso, os bovinos são parte indissociável do ecossistema, realizando serviços ambientais como a reciclagem de biomassa vegetal. Em específico, as emissões de metano entérico devem ser neutras ou até mesmo inferiores às que ocorreriam se a biomassa consumida pelos bovinos não fosse por eles consumida e fosse decomposta por bactérias metanogênicas na inundação. Portanto, as emissões de metano entérico por bovinos no ambiente pantaneiro deveriam ser consideradas neutras em inventários de emissões de gases de efeito estufa, no montante correspondente ao consumo sustentável de pasto nativo inundado anualmente, embora mantendo outras emissões, como as derivadas de insumos não renováveis (vacinas, suplementos nutricionais e reprodutivos, transporte, sementes e fertilizantes, etc.), associadas a práticas de intensificação da produtividade.

Palavras-chave: carne carbono neutro, pecuária, intensificação, serviços ambientais, sustentabilidade.

Abstract. This work employs techniques of remote sensing data integration with field data to map flooding landscapes and to quantify CH₄ emissions from cattle production systems in the Pantanal. For the case study of Fazenda São Bento, the results indicate that the variability of the natural CH₄ emissions from the landscapes is between 5- to 11-fold higher than the magnitude of the enteric emissions. In addition, the cattle is an inseparable part of the ecosystem, performing environmental services as biomass recycling, in such way that enteric emissions can be neutral or even lower than methanogens emissions in the flooded pastureland. As a result, cattle enteric emissions, while kept in Pantanal floodplain farms, should be net neutral in greenhouse gas emission inventories, in the corresponding amounts of the sustainable grazing, whereas retaining other emissions derived from non-renewable inputs (vaccines, nutritional and reproductive supplements, transport, seeds and fertilizers, etc.), associated to the productivity intensification.

Keywords: cattle-raising, ecosystem services, intensification, neutral carbon beef, sustainability.

1. Introdução

As zonas úmidas tropicais são as maiores fontes de metano (CH₄) atmosférico e até o final deste século podem ser responsáveis por 53,2% das emissões globais de CH₄ por fontes naturais (Zhang et al., 2017). O Pantanal é uma das maiores zonas úmidas da América do Sul, sendo a principal atividade econômica da região a criação de gado de corte. A contribuição da pecuária brasileira nas emissões antrópicas de gases estufa tem ganhado destaque nas últimas décadas, particularmente devido ao desmatamento e às emissões entéricas. Estima-se que no Brasil, em 2010, o setor agropecuário foi responsável por 35% das emissões em CO₂-eq derivados de atividades humanas, dos quais 56,4% são emissões entéricas de metano da produção de gado de corte (MCTI, 2014). Um olhar mais amplo sobre os sistemas de produção bovina no Pantanal sugere, contudo, que as emissões entéricas podem ser menos relevantes, ou até mesmo desprezíveis, em comparação às emissões naturais (*background*) das paisagens.

Segundo o IBGE (2017), em 2016, Corumbá, na região do Pantanal, aparece em segundo lugar no ranking de bovinos por municípios do Brasil, com 1.820 milhão de cabeças (0,8% do gado disponível no Brasil). Com base em dados do IBGE (2012), do MCTI (2014) e da Embrapa em Esteves et al. (2010), a emissão entérica diária média por cabeça de bovino é da ordem de 115 a 150 g CH₄. Pelo Projeto PECUS da Embrapa, Oliveira et al. (2016) mostraram que as emissões entéricas diárias no Pantanal podem variar de 141 a 323 g CH₄ por cabeça. Considerando-se os fatores de emissão para bovinos no Pantanal encontrados por Oliveira et al. (2016), as emissões entéricas anuais do rebanho bovino pantaneiro do município de Corumbá devem situar-se entre 94 e 214 Gg CH₄.

Uma fazenda no Pantanal de aproximadamente 10 mil hectares e com 4 mil cabeças de bovinos deve então produzir anualmente algo em torno de 206 a 472 Mg de CH₄ entérico. Considerando-se que ~50% da área dessa fazenda seja inundável (Silva et al., 2016) e que as emissões de CH₄ por processos difusivos e ebulitivos dessa área situem-se entre 24 e 592 mg CH₄/m²/dia (Bastviken et al., 2010), é possível estimar a grosso modo que as emissões naturais dessas paisagens sejam da ordem de 440 a 10.800 Mg CH₄/ano. Conseqüentemente, as emissões entéricas de CH₄ no Pantanal podem representar uma fração irrelevante da magnitude e da variabilidade das emissões naturais das paisagens sob influência do pulso de inundação (Junk et al., 1989).

Outro ponto importante a considerar é: *na ausência do gado, como se daria a ciclagem de carbono em fazendas inundáveis na planície pantaneira?*

Bergier e Salis (2011) argumentam que, na ausência de gado, grande parte do carbono da produção primária líquida do ecossistema retornaria naturalmente à atmosfera na forma de gases pirogênicos e biogênicos derivados respectivamente de queimadas e enchentes. O gado de corte no sistema pantaneiro de cria e recria retém um pequeno estoque de carbono na forma

de ‘boi em pé’ e recicla uma fração da biomassa vegetal que seria naturalmente oxidada (incêndios e queimadas) ou reduzida (herbivoria, por bactérias metanogênicas em ambientes anóxicos das áreas inundadas).

Como resultado, o boi no Pantanal poderia ser visto como parte funcional do ecossistema, realizando serviço ambiental de ciclagem de nutrientes. Nesse sentido, o sistema tradicional de cria e recria de gado de corte no Pantanal faz uso de um ‘excedente ecossistêmico’, isto é, apropria-se de uma fração da produção primária líquida do ecossistema natural (Haberl et al., 2007) de forma sustentável, ou seja, que não prejudica processos ecológicos e serviços ambientais da paisagem natural (Bergier e Salis, 2011).

O conceito de excedente ecossistêmico está relacionado à apropriação de parte da produção primária líquida de um ecossistema (Haberl et al., 2007) para a produção de alimentos/fibra/bioenergia concomitantemente à produção de serviços ambientais em uma mesma propriedade (Power, 2010). Do ponto de vista histórico, o gado introduzido há mais de 200 anos (Abreu et al., 2010) de certa forma substituiu, pelo menos em parte, a função ecológica de herbivoria da megafauna extinta na região (Galetti, 2004).

Assim como o *land sparing* (terras poupadas) do Código Florestal Brasileiro não se adequa ao Pantanal (Silva et al., 2016), as emissões naturais de metano por decomposição anaeróbia de fitomassa nativa inundada anualmente no Pantanal também o tornam particular. Por esta razão, um sistema de produção de carne bovina no Pantanal se distingue de outros sistemas de produção de bovinos ausentes de inundação e onde há mudança drástica da paisagem (*land use*, perdas de estoques de carbono em solos e florestas), em particular nos biomas do Cerrado e da Amazônia (Lapola et al., 2014; Buller et al., 2015). Essa distinção é notória, mesmo quando se considera a adoção de algum nível de intensificação da produção bovina no Pantanal (Oliveira et al., 2014; Abreu et al., 2018).

2. Objetivos

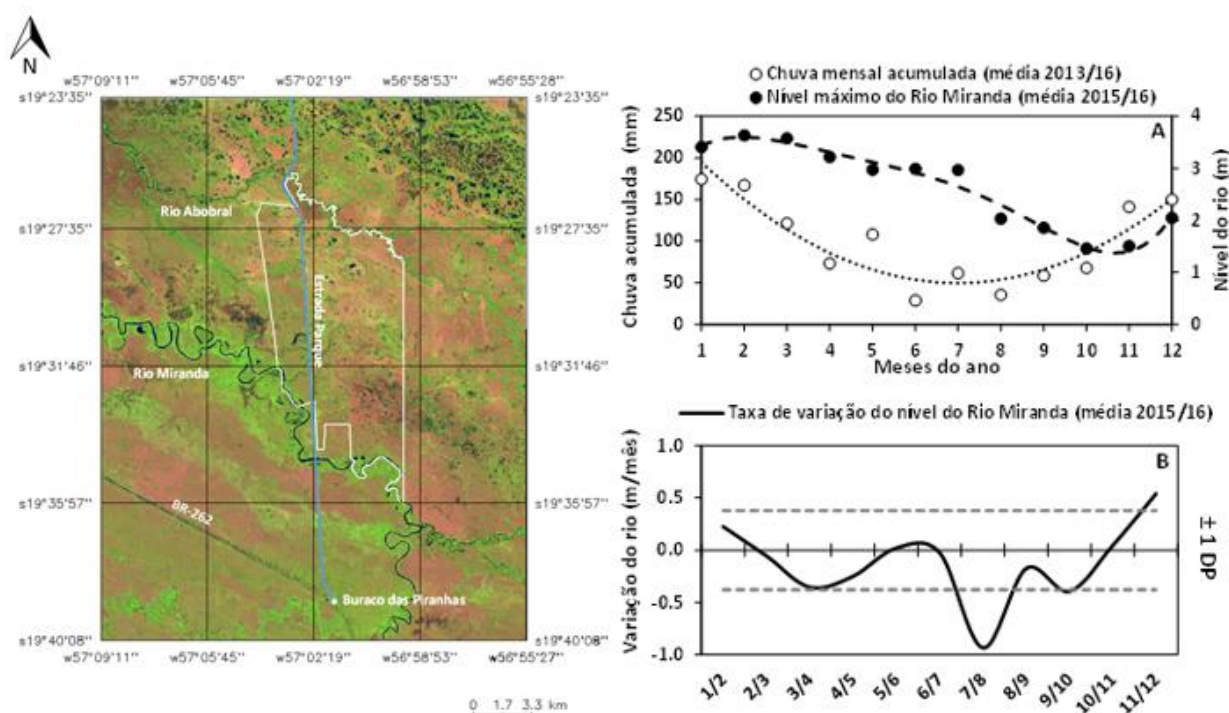
Este trabalho tem por finalidade oferecer subsídios, a partir de dados orbitais e de campo, para a elaboração de novos protocolos de quantificação e comunicação de inventários de gases estufa no tocante a produção de bovinos em áreas inundáveis ou úmidas, como o Pantanal, onde o gado pode ser visto como um agente neutro ou até mesmo mitigador de emissões naturais de CH₄. Esses protocolos têm a finalidade de facilitar a gestão de paisagens (Cadastro Ambiental Rural - CAR - e Código Florestal) e a quantificação dos inventários de emissões de gases de efeito estufa para fazendas inundáveis de cria e recria de gado de corte.

3. Material e Métodos

3.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na Fazenda São Bento, Estrada Parque (**Figura 1**). A propriedade é limitada ao norte pelo Rio Abobral e ao sul pelo Rio Miranda, compreendendo uma área de 9,9 mil hectares, dos quais 4,96 mil ha são de pastagem natural, 2,38 mil ha de pastagem de braquiária (*Urochloa humidicola* ou *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick) e 1,86 mil ha de reservas naturais (Silva et al., 2016).

A precipitação acumulada anual de 2013 a 2016 variou de 917 mm em anos mais secos a 1344 mm em anos mais chuvosos e o nível do Rio Miranda de 2015 a 2016 mostra um pulso monomodal de inundação anual bem marcado que variou de 0,90 m a 3,86 m. A sazonalidade hidrológica de verão chuvoso e inverno seco é representada na **Figura 1A**. Em resposta a esta sazonalidade, a taxa média (± 1 DP) da mudança mensal do nível do Rio Miranda é mostrada na **Figura 1B**.



3.2 Mapeamento de paisagens com imagens históricas do Landsat-5

Para a identificação de paisagens relevantes e para estimar suas respectivas emissões de CH_4 , foi usado neste trabalho o mapa espaço-temporal produzido por Silva et al. (2016) para a Fazenda São Bento. O mapeamento das paisagens espaço-temporais foi realizado a partir de uma metodologia de classificação de imagens históricas do satélite Landsat-5. Esse método consiste em produzir imagens espaço-temporais por meio da análise multidimensional das primeiras principais componentes (PC1) do conjunto temporal das bandas 3, 4 e 5 do sensor *Thematic Mapper*. Esse procedimento gera três imagens: PC1-3, PC1-4 e PC1-5, para as quais são aplicadas técnicas de segmentação e de classificação supervisionada orientada a objeto (Silva et al., 2016). Com base em uma série histórica de 1985 a 2011 (entre os meses de junho e setembro) e na validação de campo (verdade terrestre), a técnica permitiu delimitar as paisagens nas seguintes classes:

- Mata ou mata de capão: porções mais elevadas com vegetação arbóreo-arbustiva;
- Mata ciliar: porções elevadas com vegetação arbóreo/arbustiva ao longo de rios;
- Campo não inundável: porções de vegetação herbácea pouco influenciada pela cheia;
- Campo inundável: porções de vegetação herbácea muito influenciada pela cheia;
- Zona úmida: porções mais baixas com vegetação herbácea em alagados ou brejos;
- Planície de inundação fluvial: vegetação herbácea influenciada por rios ou chuva; e
- Macrófitas aquáticas: porções de corpos d'água recobertos por vegetação aquática.

3.3 Estimativa das emissões de gases de efeito estufa pelas paisagens

As estimativas das emissões de CH₄ (e de CO₂ como *proxy* de processos de respiração de plantas) foram realizadas em outubro de 2016 e em março e abril de 2017 nas paisagens da Fazenda São Bento. Anéis de vedação foram instalados e as medições com câmaras estáticas (Mosier, 1989) foram realizadas alguns minutos após sua instalação com um Ultra-Portable Gas Analyzer (*Los Gatos Research* UPGA-LGR). As medidas foram executadas nas paisagens de mata, pastagens, pastagens inundadas e brejos (**Figura 2**).



Figura 2. Medidas de fluxo de gases com câmaras estáticas e anéis de vedação.

Os intervalos inferiores e superiores dos valores médios dos fatores de emissão das paisagens secas e úmidas foram estimados pelo método de Monte Carlo a partir da simulação de amostras *bootstrap* (com 9.999 iterações) da função de distribuição de probabilidade das amostras obtidas em solos úmidos (para as classes de campo inundado, planície de inundação, planta aquática e zona úmida, $n = 32$) e em solos secos (para as classes de mata e campo não inundado, $n = 18$). O fator de emissão de água livre não foi medido, e para efeitos práticos assumiu-se os valores disponíveis em Alvalá e Kirchhoff (2000).

4. Resultados e Discussão

4.1 Caracterização das áreas das paisagens da Fazenda São Bento

Na **Figura 3** é apresentado o mapeamento das classes espaço-temporais da Fazenda São Bento. Em linhas gerais, Silva et al (2016) mostram que as áreas de brejo são as menos frequentes, concentrando-se especialmente na porção sudeste da Fazenda sob influência do rio Miranda (**Figura 3**). As áreas de água livre, ambientes lóticos e reofílicos, também compõem a paisagem em menor grau de importância relativa. As áreas de macrófitas aquáticas e de brejo compõem um mosaico de espécies flutuantes e emergentes que possuem papel de relevo nas emissões de CH₄ (Joabsson et al., 1999; Belger et al., 2010; Hamilton et al., 2014). A paisagem de mata de capão se distribui em ‘ilhas ou cordões’ (Pott e Silva, 2015) espalhadas pela fazenda. As matas ciliares situam-se ao longo dos rios Miranda e Abobral, e também ao longo de seus corixos (**Figura 3**). Salienta-se que as áreas de mata nativa na Fazenda São Bento têm permanecido inalteradas até o presente (Souza et al., 2016).

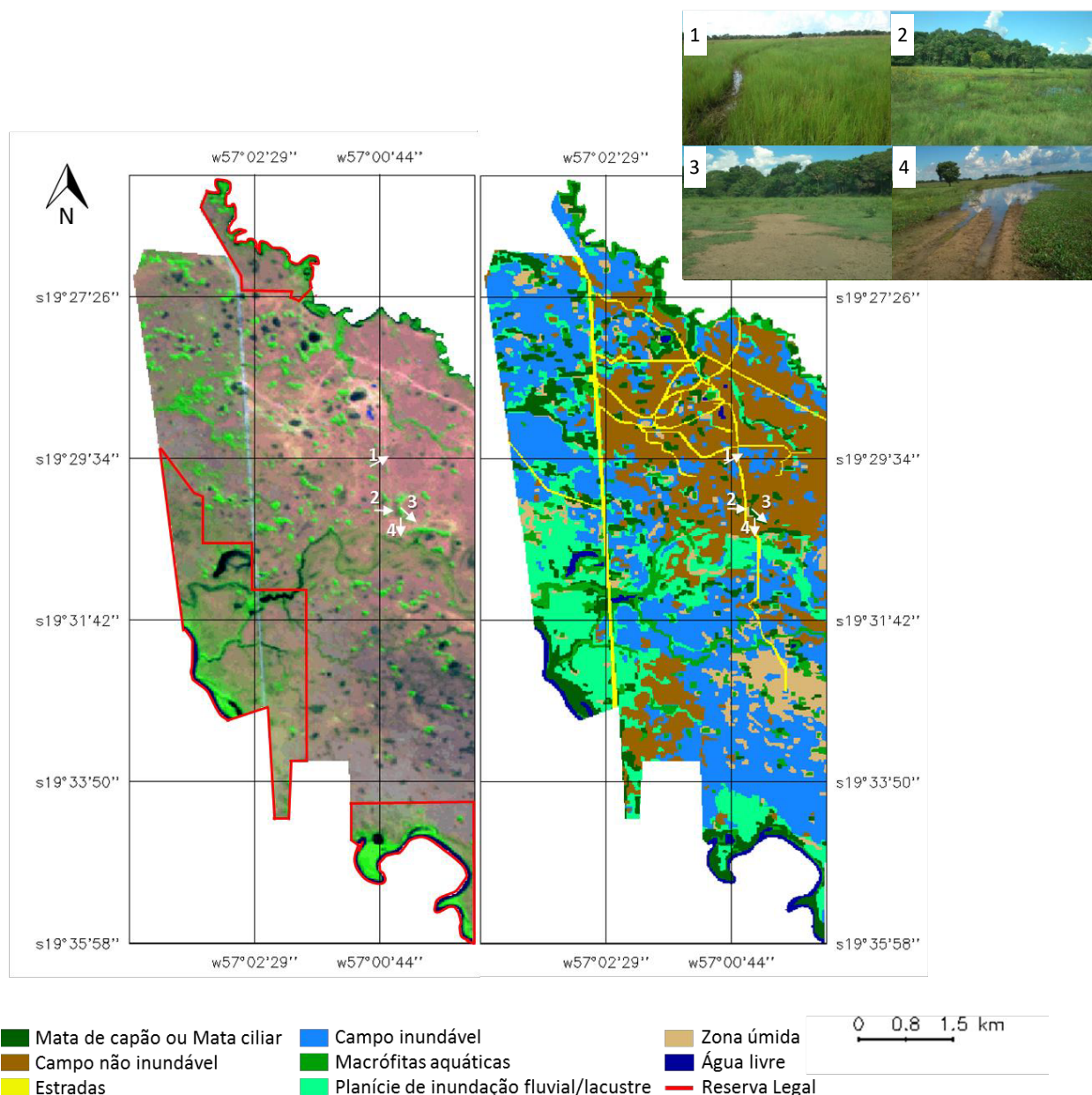


Figura 3. Paisagens da Fazenda São Bento com verdades terrestres de 1) campo inundável e mata ciliar ao fundo, 2) zona úmida (brejo) e mata de capão ao fundo, 3) campo não inundável e mata de capão ao fundo e 4) estrada, planície de inundação fluvial e mata ciliar ao fundo). Adaptado de Silva et al. (2016).

4.2 Medidas dos fluxos de gases e balanço das emissões de CH₄ pelas paisagens

As medidas de fluxos realizadas em campo, apresentadas na **Figura 4**, indicam que a presença conjunta de água e de plantas (CO₂ devido à respiração) amplifica as taxas de emissão de CH₄ (Joabsson et al., 1999; Belger et al., 2010; Hamilton et al., 2014). Os fluxos de CH₄ representam 3,2% dos fluxos de CO₂ (**Figura 4**). No outro extremo, os solos secos (mata e campo não inundado) apresentam emissão de CH₄ ligeiramente negativa ou nula em relação às emissões de CO₂ (**Figura 4**).

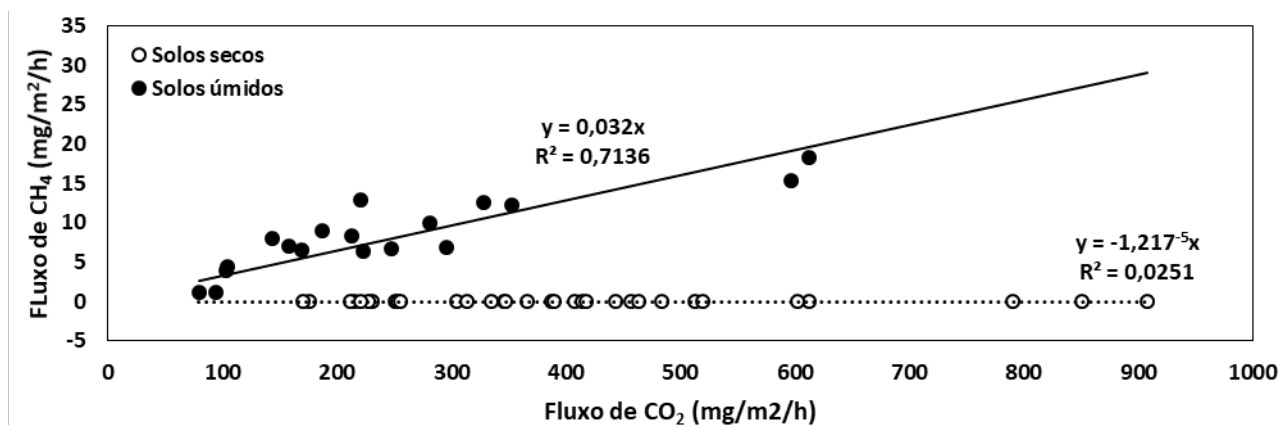


Figura 4. Variabilidade das emissões de CH₄ em função do teor de água nos solos e da presença de plantas (respiração na forma de CO₂). Para ambas as regressões lineares foi considerada interceptação nula (ausência de atividade biológica para fluxos nulos).

Diante desses resultados, foi possível realizar uma abordagem inédita de cálculo do balanço das emissões de CH₄ pelas paisagens da Fazenda São Bento. Para tanto, é preciso considerar os valores em área de cada paisagem (**Figura 3**) e os fatores de emissão de áreas úmidas e secas medidos em campo (**Figura 4**). Na **Tabela 1** estão compilados esses dados e as estimativas de fluxos e balanços de CH₄.

Tabela 1. Estimativa do balanço das emissões de CH₄ pelas paisagens da Fazenda São Bento.

| Paisagem espaço-temporal | Área (hectares) | Área (%) | Intervalo dos fatores de emissão (mg CH ₄ /m ² /h) | | Intervalo dos fluxos (Mg CH ₄ /ano) | | Observação |
|-------------------------------|-----------------|----------|--|--------|--|---------|---------------------------|
| | | | - | - | - | - | |
| Matas | 885,5 | 10 | -0,013 | -0,002 | -1,0 | -0,2 | Este estudo |
| Campos não inundados | 2010,4 | 22 | -0,013 | -0,002 | -2,2 | -0,4 | Este estudo |
| Plantas aquáticas | 607,5 | 7 | 6,327 | 10,423 | 336,7 | 554,5 | Este estudo |
| Planície de inundação fluvial | 1501,3 | 16 | 6,327 | 10,423 | 832,1 | 1370,4 | Este estudo |
| Campos inundados | 3185,9 | 35 | 6,327 | 10,423 | 1.765,7 | 2.908,0 | Este estudo |
| Zona úmida | 584,5 | 6 | 6,327 | 10,423 | 324,0 | 533,7 | Este estudo |
| Água livre | 138,1 | 2 | 0,292 | 9,917 | 3,5 | 119,9 | Alvalá e Kirchhoff (2000) |
| Estradas | 291,8 | 3 | - | - | - | - | - |
| Total | 9205 | 100 | - | - | 3.258,9 | 5.487,4 | - |

Conforme os cálculos apresentados na **Tabela 1**, as áreas de matas, de capões e de campo não inundado da Fazenda São Bento são sumidouros da ordem de -0,6 a -3,2 Mg CH₄/ano. No balanço geral entre fontes e sumidouros, as paisagens da Fazenda São Bento emitem entre 3.259 a 5.487 Mg CH₄/ano, a depender da duração e da intensidade da cheia anual promovida pelo pulso de inundação (Junk et al., 1989).

Considerando o fator de emissão entérica para sistemas de cria e recria no Pantanal (Oliveira et al., 2016) e uma lotação da ordem de 4.000 cabeças de bovinos (Silva et al., 2016), a Fazenda São Bento deve emitir anualmente entre 206 e 472 Mg de CH₄ entérico. Este valor representa entre 9,2 e 21,2% da diferença entre o máximo e o mínimo das emissões estimadas

para as paisagens (2229 Mg CH₄/ano, **Tabela 1**). Além disso, é preciso considerar as emissões por bolhas (Bastviken et al., 2010) e a amplificação das emissões difusivas durante eventos episódicos de forte anoxia (*dequada*) na fase de enchente (Bergier et al., 2015). Portanto, as emissões entéricas dos bovinos podem ser consideradas irrelevantes frente às magnitudes e incertezas das emissões naturais em função da grande variabilidade espaço-temporal da intensidade das cheias interanuais.

Por outro lado, na ausência de gado, é relevante considerar ainda o que ocorreria com a biomassa aérea produzida via fotossíntese das áreas de pastagem naturalmente fertilizadas pelo pulso de inundação. Muito provavelmente, seria consumida por herbívoros, queimada em incêndios induzidos por relâmpagos ou pelo homem, e retornaria à atmosfera na forma de gases biogênicos ou pirogênicos, ou, ainda, poderia ser metabolizada por bactérias aquáticas na enchente e na cheia, incorporada à cadeia trófica aquática e novamente emitida para atmosfera na forma de gases biogênicos.

As bactérias metanogênicas no rúmen representam uma minoria quando comparadas às bactérias fibrolíticas. Da massa microbiana ruminal aproximadamente 60 a 90% é de bactérias, o restante é de fungos e protozoários. Em dietas ricas em alimentos amilolíticos e concentrados, aumenta a proporção de protozoários e fungos. Por outro lado, em dietas altamente fibrosas, como as pastagens do Pantanal, a maior parte dessas bactérias são fibrolíticas e sua proporção aproxima-se de 90% ou mais. As bactérias metanogênicas surgem para retirar o excedente de H⁺, um derivado natural da degradação da fibra no ambiente ruminal. Neste caso, a função metabólica das bactérias metanogênicas é secundária: manter estáveis as condições ambientais do rúmen por meio da retirada do excedente de H⁺ produzido na degradação dos carboidratos fibrosos (Van Soest, 1994). Portanto, a relação ou a proporção da fibra que o animal ingere e produz CH₄ pode ser menor do que a que ocorreria caso essa mesma fibra não fosse consumida e fosse degradada por bactérias metanogênicas no ambiente inundado.

5. Conclusões e sugestões

A pecuária extensiva tradicional realizada no Pantanal é um sistema produtivo com alta renovabilidade, pois utiliza poucos insumos de origem fóssil e depende quase exclusivamente de matéria e energia mantida pelo pulso de inundação. A presença dos bovinos interfere na reciclagem dessa matéria e energia, de modo que a pecuária tradicional é sustentável no Pantanal se apropria de apenas uma fração da produção fotossintética das pastagens para a produção de carne, em equilíbrio com a biodiversidade e com os serviços ambientais das paisagens na planície inundável. As emissões de CH₄ das paisagens naturais são muito superiores que as emissões entéricas dos bovinos, e há indícios de que, na ausência do gado, o acréscimo de emissões por decomposição de pastagem inundada poderia ser maior do que as emissões entéricas do gado ao consumir esta biomassa. Portanto, os bovinos, enquanto mantidos em fazendas inundáveis no Pantanal, deveriam ser considerados não emissores, mas neutros (em sintonia com o projeto “Carne Carbono Neutro” da Embrapa), ou até mesmo mitigadores (a confirmar por novos estudos), das emissões naturais de CH₄ em inventários de gases de efeito estufa. A intensificação da produção bovina no Pantanal deve considerar particularmente as emissões oriundas do uso de insumos não renováveis. Em síntese, os resultados aqui apresentados e discutidos, incluindo o mapeamento espaço-temporal das paisagens, têm implicações positivas para a sustentabilidade e para a manutenção da competitividade da produção de carne bovina no Pantanal e em seu entorno.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem o valioso apoio e suporte de Célio Silva Junior e Marcelo Dias nos trabalhos de campo e ao proprietário Marcos Moraes pelo acesso à Fazenda São Bento. Este

projeto foi financiado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (Projetos 01.10.06.001, 02.11.05.002, 02.13.14.011) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Projeto 562441/2010-7).

7. Referências

- Alvalá P. C.; Kirchoff V. W. J. H. Methane fluxes from the Pantanal Floodplain in Brazil: seasonal variation. In: (eds) J. van Ham, A.P.M. Baede, L.A. Meyer, R. Ybema **Non-CO₂ greenhouse gases: scientific understanding, control and implementation**. Springer, Dordrecht. 2000. p. 95-99.
- Abreu, U. G. P., McManus C., Santos, S. A. Cattle ranching, conservation and transhumance in the Brazilian Pantanal. **Pastoralism**, 1, 99-14, 2010.
- Abreu, U. G. P.; Bergier, I.; Costa, F. P.; Oliveira, L. O. F.; Nogueira, E.; Silva, J. C. B.; Batista, D. S. N.; Silva Junior, C. Sistema intensivo de produção na região tropical brasileira: o caso do Pantanal. **Documentos**, 155. Embrapa Pantanal, Corumbá, MS. 2018. 26p.
- Bastviken, D.; Santoro, A. L.; Marotta, H.; Pinho, L. Q.; Calheiros, D. F.; Crill, P.; Enrich-Prast, A. Methane emissions from pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling. **Environmental Science Technology**, v. 44, p. 5450–5455, 2010.
- Belger, L.; Forsberg, B. R.; Melack; J. M. Carbon dioxide and methane emissions from interfluvial wetlands in the upper Negro River basin, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1-3, p. 171-183, 2011.
- Bergier, I.; Salis, S. M. Excedente Ecológico e Renovabilidade dos Sistemas de Produção em Áreas Úmidas. **Documentos**, 114. Embrapa Pantanal, Corumbá, MS. 2011. 11p.
- Bergier, I.; Silva, A. P. S.; Monteiro, H.; Guérin, F.; Macedo, H. A.; Silva, A.; Krusche, A.; Sawakuchi, H. O., Bastviken, D. Methane and carbon dioxide dynamics in the Paraguay River floodplain (Pantanal) in episodic anoxia events. In: (eds) I. Bergier e M. L. Assine **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. **Environmental Chemistry**, 1 ed., Springer, Berlin Heidelberg. pp. 163-178, 2016.
- Buller L. S.; Bergier I.; Ortega E.; Moraes A.; Bayma-Silva G.; Zanetti M. R. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 137, p. 206–219, 2015.
- Esteves, S.N.; Bernardi, A.C.C.; Vinholis, M.M.; Primavesi, O. Estimativas da emissão de metano por bovinos criados em sistema de integração lavoura-pecuária em São Carlos, SP. **Circular Técnica**, 65. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP. 2010. 7p.
- Galetti, M. Parques do Pleistoceno: recriando o Cerrado e o Pantanal com a megafauna. **Natureza & Conservação**, vol. 2, p. 19-25, 2004.
- Haberl, H.; Erb, K. H.; Krausmann, F.; Gaube, V.; Bondeau, A.; Plutzar, C.; Gingrich, S.; Lucht, W.; Fischer-Kowalski, M. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. **Proceedings National Academy Sciences**, v. 104, n. 31, p. 12942-12947, 2007.
- Hamilton, S. K.; Sippel, S. J.; Chanton, J. P.; Melack, J. M. Plant-mediated transport and isotopic composition of methane from shallow tropical wetlands. **Inland Waters**, v. 4, n. 4, p. 369-376, 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Produção da Pecuária Municipal – 2011. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2011/>. Último acesso em: 25 de junho de 2018.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Produção da Pecuária Municipal – 2014. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2016/>. Último acesso em: 25 de junho de 2018.
- Joabsson, A.; Christensen, T. R.; Wallén, B. Influence of vascular plant photosynthetic rate on CH₄ emission from peat monoliths from southern boreal Sweden. **Polar Research**, v. 18, n. 2, p. 215-120, 1999.
- Junk, W. J.; Bayley, P. B.; Sparks, R. E. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. In: D. P. Dodge (Ed.). **Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)**, 106, Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences, pp. 110-127, 1989.
- Lapola, D. M.; Martinelli, L. A.; Peres, C. A.; Ometto, J. P. H. B.; Ferreira, M. E.; Nobre, C. A.; Aguiar, A. P. D.; Bustamante, M. M. C.; Cardoso, M. F.; Costa, M. H.; Joly, C. A.; Leite, C. C.; Moutinho, P.; Sampaio, G.;

Strassburg, B. B. N.; Vieira, I. C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 27-35, 2014.

MCTI, Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. **Estimativa das emissões anuais de gases de efeito estufa no Brasil**. 2014. Disponível em:

<<http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/Estimativasd.pdf/0abe2683-e0a8-4563-b2cb-4c5cc536c336>>. Último acesso em: 25 de junho de 2018.

Mosier, A. R. Chamber and isotope techniques. In: Andreae MO, Schimel DS, editors. **Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop**. Berlin: Wiley; 1989. pp. 175-87.

Oliveira, L. O. F.; Abreu, U. G. P.; Nogueira, E.; Batista, D. S. N.; Silva, J. C. B.; Júnior, C. S. Desmama Precoce no Pantanal. **Documentos**, 127. Embrapa Pantanal, Corumbá, MS. 2014. 20p.

Oliveira, L. O. F.; Fernandes, A. H. B. M.; Fernandes, F. A.; Santos, S. A.; Abreu, U. G. P.; Crispim, S. M. A.; Garcia, J. B.; Santos, R. Comparison of methane emissions by cattle pastures in the Pantanal, between two seasons of the year. In: International Symposium on Greenhouse Gases in Agriculture, 2, 2016, Campo Grande, MS. **Proceedings**. Brasília, DF. Embrapa. 2016. p. 73-74.

Pott A.; Silva, J. S. V. Terrestrial and aquatic vegetation diversity of the Pantanal wetland. In: (eds) I. Bergier and M. L. Assine **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Environmental Chemistry, 1 ed., Springer, Berlin Heidelberg, pp.111-131, 2015.

Power, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society**. v. 365, p. 2959-2971, 2010.

Ravaglia, A. G.; Santos, S. A.; Pellegrin, L. A.; Rodela, L. G.; Silva, L. C. F. Classificação preliminar das paisagens da sub-região do Abobral, Pantanal, usando imagens de satélite. **Comunicado Técnico**, 82. Embrapa Pantanal, MS. 2010. 5p.

Silva, A. P. S.; Bergier, I.; Abreu, U. G. P.; Nogueira, E.; Oliveira, L. O. F.; Urbanetz, C.; Silva, J. C. B.; Silva Junior, C. Metodologia espaço-temporal aplicada ao mapeamento de paisagens em fazendas de gado de corte no Pantanal. **Boletim de Pesquisa**, 129. Embrapa Pantanal, Corumbá, MS. 2016. 20p.

Van Soest, P.J. **Nutritional ecology of the ruminants**. 2 ed. Cornell University, Ithaca. 1994. 476p.

Zhang, Z.; Zimmermann, E.; Stenke, A.; Li, X.; Hodson, E. L.; Zhu, G. Huang, C.; Poulter, B. Emerging role of wetland methane emissions in driving 21st century climate change. **Proceedings National Academy Sciences**, v. 114, n. 36, p. 9647-9652, 2017.