

Juiz de Fora, MG / Outubro, 2024



Avaliação do ciclo de vida da produção de leite orgânico na região Sudeste do Brasil

Vanessa Romário de Paula⁽¹⁾, Fernanda Samarini Machado⁽²⁾, Carlos Renato Tavares de Castro⁽²⁾ e Virginia Mendonça Lourenço Benhami⁽³⁾

⁽¹⁾Analista, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. ⁽²⁾Pesquisadores, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. ⁽³⁾Bolsista, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG.

Resumo – A produção orgânica busca integrar os componentes social, ambiental e econômico de forma sustentável, que envolve os desafios de equilibrar a produção de alimentos para uma população crescente e os impactos ambientais decorrentes das atividades produtivas. O atendimento às premissas para a produção orgânica de leite envolve práticas que se destacam em decorrência da demanda atual por produtos obtidos por meio de sistemas produtivos de baixo impacto ambiental. Neste contexto, a técnica de avaliação do ciclo de vida (ACV) foi utilizada para estimar os potenciais impactos ambientais da produção de leite orgânico no Sudeste do Brasil, considerando dados de 11 Unidades de Produção Orgânicas (UPO), distribuídas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Os resultados de ACV para as categorias de impacto ambiental eutrofização, acidificação, mudança climática e uso da terra indicaram que, embora os sistemas orgânicos tenham impactos menores em comparação aos sistemas de produção convencionais, ainda há oportunidades significativas para melhoria em eficiência produtiva do sistema de produção e adoção de práticas de tratamento dos dejetos pode levar à redução de impactos ambientais e ao aumento da produtividade.

Termos para indexação: impacto ambiental, mudança climática, sustentabilidade, uso da terra.

Life cycle assessment of organic milk production in the Southeast of Brazil

Abstract – Organic production seeks to integrate social, environmental, and economic components sustainably, which involves the challenges of balancing food production for a growing population and the environmental impacts resulting from production activities. The requirements for organic milk production involve implementing practices that are distinctive because of the increasing demand for products derived from production systems with minimal environmental impact. In this context, the life cycle assessment (LCA) technique was used to estimate the potential environmental impacts of organic milk production in Southeast Brazil, considering data from 11 Organic

Embrapa Gado de Leite

Rua Eugênio do Nascimento, 610
- Bairro Dom Bosco
36038-330 Juiz de Fora, MG
<https://www.embrapa.br/gado-de-leite>
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
Jorge Fernando Pereira
Secretário-executivo
Carlos Renato Tavares de Castro
Membros
*Cláudio Antônio Versiani Paiva,
Deise Ferreira Xavier, Edna
Froeder Arcuri, Fausto de Souza
Sobrinho, Fernando César
Ferraz Lopes, Francisco José
da Silva Ledo, Frank Ângelo
Tomita Bruneli, Heloísa Carneiro,
Jackson Silva e Oliveira, Juarez
Campolina Machado, Leovegildo
Lopes de Matos, Luiz Ricardo
da Costa, Márcia Cristina de
Azevedo Prata, Marta Fonseca
Martins, Pérsio Sandir D'Oliveira,
Rui da Silva Verneque, Virginia
de Souza Columbiano e William
Fernandes Bernardo*

Edição executiva

Vanessa Romário de Paula

Revisão de texto

Carlos Renato Tavares de Castro

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda Castro (CRB-6/2749)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Luiz Ricardo da Costa

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Production Units (UPO) located in the states of São Paulo, Minas Gerais and Rio de Janeiro. The LCA results for the environmental impact categories eutrophication, acidification, climate change and land use indicated that, although organic systems have smaller impacts compared to conventional production systems, there are still significant opportunities for improving the productive efficiency of the production system and the adoption of waste treatment practices can lead to reduced environmental impacts and increased productivity.

Index terms: environmental impact, climate change, land use, sustainability.

Introdução

Esforços globais vêm sendo empregados na descarbonização da economia frente à crise das mudanças climáticas. Além das emissões de gases de efeito estufa, outros limites planetários já foram ultrapassados e atingiram níveis de alto risco para a manutenção da estabilidade e resiliência do sistema terrestre (Richardson et al., 2023). A agropecuária enfrenta grandes desafios na busca pelo equilíbrio entre a produção de alimentos para uma população crescente e os impactos ambientais decorrentes das atividades produtivas. As emissões agrícolas de gases de efeito estufa – GEE (principalmente dióxido de carbono, metano e óxido nitroso) contribuem para as mudanças climáticas e a degradação dos ecossistemas (Poore; Nemecek, 2018). No Brasil, a agropecuária é responsável por 25% das emissões de GEE; sendo que o metano entérico e o inadequado manejo de dejetos representam 80% das emissões totais da atividade (SEEG, 2022).

O crescente aumento do interesse e do acesso às informações pelos consumidores sobre como os alimentos são produzidos e comercializados está impulsionando as empresas, independentemente do porte, a adotarem processos de rastreabilidade e de garantia de origem dos seus produtos. Como resultado, as atuais tendências de consumo associadas ao bem-estar animal, conservação ambiental, equidade e comércio justo não serão mais tratadas apenas como diferenciais. Essas mudanças nos valores e atitudes dos consumidores, observadas nos últimos anos, são expressas pela crescente demanda por produtos isentos de aditivos e com rotulagem clara, que forneça transparência sobre a autenticidade dos ingredientes. Ética e sustentabilidade em todas as dimensões (social, econômica e ambiental) são cada vez mais prioritários para o consumidor e a produção de

alimentos em sistemas orgânicos está alinhada a estas exigências (CIOrganico, 2019). Esta característica reflete o crescente protagonismo do mercado consumidor, com valorização de sistemas de produção mais resilientes, sustentáveis e regenerativos do ecossistema em que estão inseridos.

A produção orgânica busca integrar os componentes social, ambiental e econômico de forma sustentável. O atendimento às premissas para a produção orgânica de leite envolve práticas que se destacam em decorrência da demanda atual por produtos obtidos por meio de sistemas produtivos de baixo impacto ambiental. A produção mundial de leite em sistemas orgânicos vem crescendo nas últimas décadas tendo como base a disponibilização para o rebanho de alimentos cultivados sem o uso de insumos químicos, zelo pelo bem-estar e saúde dos animais, com restrição ao uso de hormônios e antibióticos, e otimização do uso dos recursos naturais disponíveis, proporcionando níveis crescentes de sustentabilidade destes sistemas de produção.

O mercado global de lácteos orgânicos alcançou cerca de US\$ 18 bilhões em 2017, mas permanece concentrado em determinadas regiões geográficas, como os EUA (54%), a Alemanha (11%) e a França (7%).

No Brasil, a cadeia produtiva do leite orgânico é ainda incipiente e em fase de estruturação. Nos últimos anos, o número de produtores de leite orgânico registrados no Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos (CNPO) do MAPA passou de 45, em janeiro de 2016, para 165, em maio de 2021 (Observatório do Leite Orgânico, 2023). Alguns produtores com laticínios e marcas próprias já estão consolidados no mercado há vários anos em diversas regiões do Brasil, com fornecimento, principalmente, para o mercado local (cadeias curtas) de leite pasteurizado e/ou derivados orgânicos, como queijos, iogurtes, manteiga e requeijão. Entre os anos de 2017 e 2019 ocorreu o investimento de multinacionais na produção de leite no Brasil, que alavancou a entrada de novos pecuaristas neste setor, bem como a tecnificação de propriedades já certificadas para o aumento da produção. Entretanto, com a recente saída das multinacionais do mercado de lácteos orgânicos, diante de dificuldades apontadas para a comercialização dos produtos lançados no mercado, observa-se, a partir de 2022, a evasão de pecuaristas da produção de leite orgânico. Em setembro de 2023 constavam 116 produtores de leite orgânico no CNPO, distribuídos

em 11 estados, com maior concentração no Paraná (59) e em São Paulo (18).

À medida que cresce a demanda de mercado por produtos orgânicos, aumenta a procura por informações sobre o desempenho ambiental de tais sistemas de produção. O método mais amplamente utilizado para avaliar os impactos ambientais da produção de leite é a avaliação do ciclo de vida (ACV), reconhecida internacionalmente, padronizada pela série ISO ABNT NBR 14040 e 14044 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a, 2014b) e que possibilita gerar métricas que possam subsidiar a elaboração de políticas públicas para o setor. No contexto do desenvolvimento sustentável, a ACV tem desempenhado papel fundamental na identificação das principais fontes de impactos ambientais, contribuindo, inclusive, para fortalecer a competitividade da produção agropecuária (Olsen et al., 2018). O desenvolvimento em direção à sustentabilidade requer o aprimoramento de metodologias para apoiar decisões estratégicas visando a mitigação dos impactos (Ross et al., 2017).

Este estudo utilizou a metodologia de ACV no escopo da produção de leite na fazenda para quantificar as emissões de GEE, o potencial de eutrofização de recursos hídricos, a acidificação terrestre e o uso da terra em sistemas de produção de leite orgânico no Brasil, identificando os pontos críticos e apresentando potenciais oportunidades de mitigação dos impactos ambientais. Os resultados estão integrados à execução do projeto Observatório do Leite Orgânico, que tem como um dos objetivos disponibilizar conhecimentos e informações úteis para o planejamento do setor.

O conteúdo dessa publicação vai ao encontro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) contidos na Agenda 2030, proposta pela Organização das Nações Unidas, da qual o Brasil é signatário, nos seguintes objetivos específicos: ODS 2: “Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável”; ODS 12: “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”; ODS 15: “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”.

Material e métodos

Neste estudo, a ACV foi aplicada em conformidade com os princípios estabelecidos pelas normas ISSO ABNT NBR 14040 e 14044 (2014 a, b) e com as diretrizes definidas pela International Dairy Federation (2022), que garantem a consistência, confiabilidade e comparabilidade dos resultados nas esferas nacional e internacional.

A estrutura da ACV inclui quatro fases distintas: definição do objetivo e do escopo (incluindo a unidade funcional e os limites do sistema); análise do inventário do ciclo de vida (ICV) incluindo a coleta de dados de entrada e saída para todos os processos; avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV); e interpretação dos resultados.

A pesquisa foi conduzida em propriedades produtoras de leite orgânico parceiras do projeto Observatório do Leite Orgânico.

Definição do objetivo e do escopo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o perfil ambiental de 11 unidades de produção de leite orgânico (UPO). As UPOs selecionadas são parceiras do projeto Observatório do Leite Orgânico, localizadas na região Sudeste do Brasil, sendo oito unidades no estado de São Paulo, duas em Minas Gerais e uma no Rio de Janeiro (Figura 1). Os sistemas orgânicos de produção de leite avaliados apresentavam certificação em conformidade com as diretrizes da Portaria nº 52/2021 (Brasil, 2021).

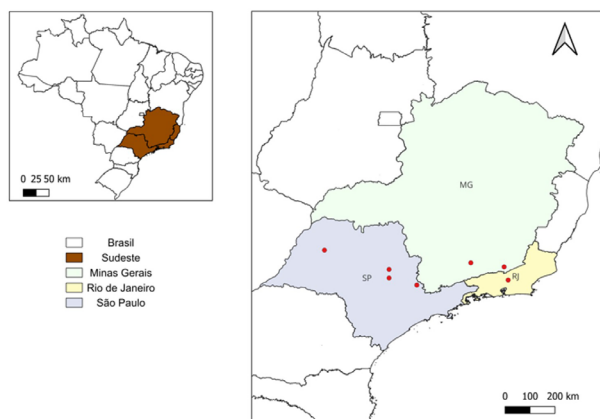


Figura 1. Mapa de localização das propriedades de leite orgânico estudadas.

Entre as propriedades avaliadas, oito tinham como característica o manejo dos animais exclusivamente a pasto e três apresentavam estrutura de *compost barn*, em que os animais eram manejados com acesso à pastagem e/ou à área externa. Os rebanhos eram compostos predominantemente por raças Holandês-Gir e Holandês-Jersey. A alimentação volumosa era composta pelo pasto e pela silagem, sendo essa produzida exclusivamente na própria fazenda e com variações no manejo adotado.

A suplementação da dieta contemplava, majoritariamente, insumos orgânicos, havendo utilização de alimentos não orgânicos, livres de Organismos Geneticamente Modificados (OGMs), na proporção de até 15% da ingestão diária de matéria seca, conforme permitido pela portaria nº 52/2021. Os alimentos concentrados mais utilizados eram o milho orgânico moído, o farelo de amendoim convencional sem OGM e o farelo de soja convencional sem OGM. A Tabela 1 sintetiza as principais características das UPOs avaliadas no presente estudo.

Tabela 1. Principais características dos sistemas de produção de leite orgânico avaliados.

Parâmetro	Unidade	UPO1	UPO2	UPO3	UPO4	UPO5	UPO6	UPO7	UPO8	UPO9	UP010	UP011
Área de pastagem	ha	12,0	18,6	15,0	21,0	25	10,0	45,0	10,0	12,5	44,0	67,3
Área de lavoura	ha	68,0	4,5	8,0	4,5	80	10,0	0,0	6,0	12,0	18,0	7,3
Rebanho total	cabeças	255	118	133	32	450	96	70	70	79	149	76
Vacas lactação no rebanho	%	48%	45%	55%	72%	44%	57%	43%	50%	43%	38%	30%
Produção total	L por dia	2928	1198	1285	250	3200	962	300	550	550	743	152
Produtividade	kg leite por vaca por dia	24,0	22,6	17,6	10,9	16,0	17,5	10,0	15,7	16,2	13,3	6,6
Gordura do leite	%	4,00	3,85	3,80	3,64	3,80	3,85	3,88	3,83	4,10	3,91	3,60
Proteína do leite	%	3,40	3,35	3,40	3,10	3,30	3,35	2,98	3,35	3,30	3,03	3,20
Sistema de manejo		<i>Compost barn</i>	<i>Compost barn</i>	Pasto	Pasto	<i>Compost barn</i>	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto

Os dejetos das pistas de alimentação e das salas de espera da ordenha eram raspados e tratados pelo processo de compostagem para posterior aplicação nas áreas de pasto e/ou lavoura destinada à produção de silagem.

A fronteira do estudo considerou a abordagem do “berço ao portão da fazenda”, também denominado,

cradle to farm-gate, compreendendo as etapas de manejo dos animais, utilização de recursos naturais, energia, insumos, manejo de dejetos e emissões diretas e indiretas de GEE (Figura 2) em conformidade com as recomendações técnicas das normas ABNT NBR 14040 e 14044 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a, 2014b).

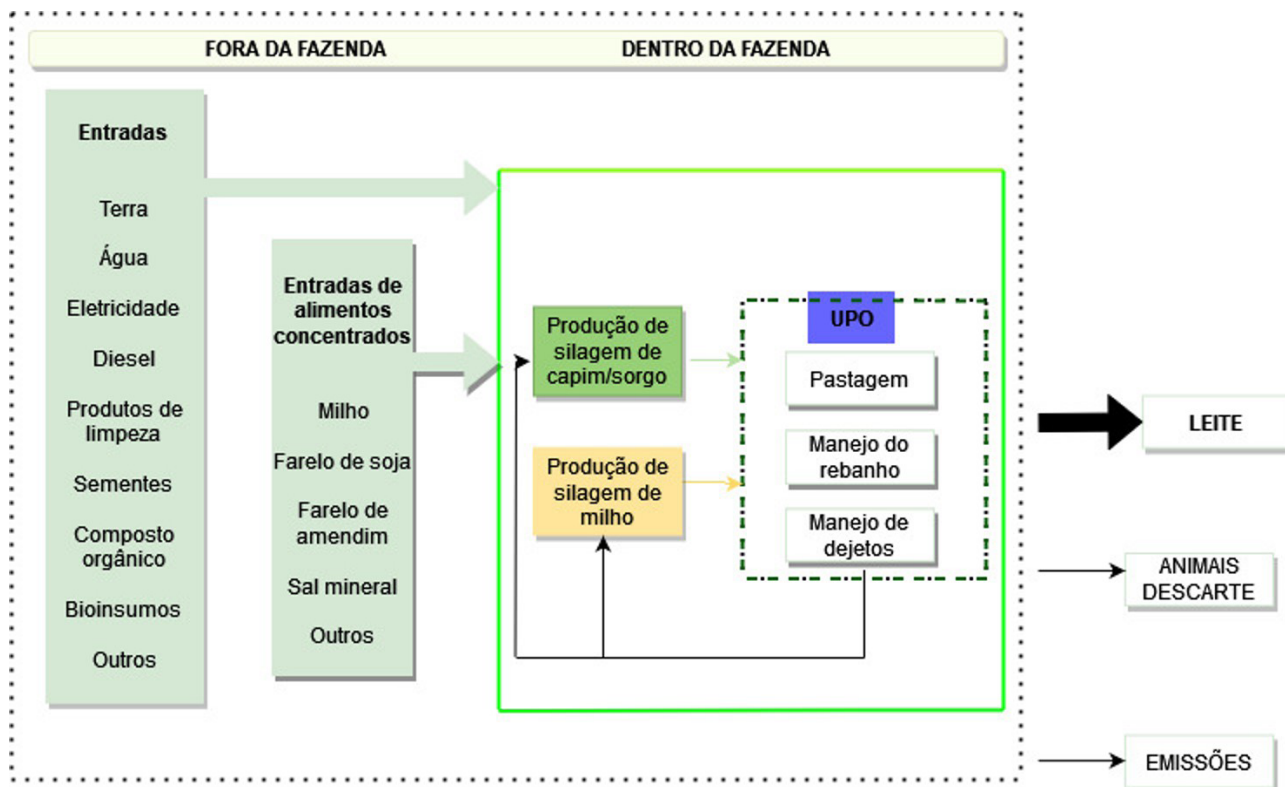


Figura 2. Diagrama das fronteiras dos sistemas de produção de leite orgânico.

As edificações, instalações, equipamentos, materiais utilizados para a sanidade e manejo reprodutivo do rebanho e as embalagens descartadas não foram considerados na ACV.

A unidade funcional adotada foi “quilograma de leite corrigido para gordura e proteína” (FPCM = Fat Protein Corrected Milk – sigla em inglês), de acordo com a International Dairy Federation (2022), de modo a expressar resultados padronizados e possibilitar a comparação de sistemas com diferentes composições de leite. A FPCM é calculada pela seguinte equação (International Dairy Federation 2015):

$$\text{FPCM} = \text{Produção} \times [0.1226 \times \text{Gord} + 0.0776 \times \text{Prot} + 0.2534]$$

Em que FPCM = Leite corrigido para 4,0% de gordura e 3,3% de proteína; Gord = % gordura do leite e Prot = % proteína do leite.

Os dados foram obtidos durante as visitas técnicas realizadas nas propriedades ao longo do ano de 2022 e os dados de produção de leite orgânico referentes a 2021.

Avaliação do Ciclo de Vida

Os dados primários usados para calcular os potenciais impactos ambientais foram coletados in loco durante as visitas técnicas às unidades produtivas participantes do projeto Observatório do Leite Orgânico. Como instrumento para coleta de dados, foi utilizado um questionário elaborado em conformidade com a metodologia ABNT NBR 14044 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b). Os dados secundários foram obtidos com base na literatura científica, especialistas e banco de inventários de ciclo de vida nacionais e/ou regionais. A utilização de inventários regionais adaptados para a produção orgânica possibilitou a redução de incertezas e permitiu a obtenção de estimativas de emissões mais confiáveis, próximas da realidade (Souza et al., 2021). As emissões de GEE dos sistemas de produção foram estimadas com base nas informações contidas no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Canals, 2003; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019).

Para a Análise do Inventário do Ciclo de Vida foi utilizado o software de modelagem OpenLCA v.2.0. A produção de leite orgânico possui características intrínsecas, que exigiu adaptações para elaboração dos Inventários do Ciclo de Vida, como: a) utilização de insumos orgânicos; b) ajuste dos modelos para estimar as emissões de GEE, levando em conta as características dos sistemas de produção; c) inclusão de práticas de manejo. Para a avaliação dos impactos ambientais foram utilizados os métodos: CML v 4.8 para categorias de acidificação e eutrofização, ReCiPe para categoria de Uso da terra e o IPCC-AR6 para categoria de Mudanças Climáticas.

A pegada de carbono foi calculada a partir dos resultados de impacto na categoria de mudanças climáticas, expressos como potencial de aquecimento global ao longo do horizonte de tempo correspondente a 100 anos (GWP 100), sendo a unidade de medida expressa em quilograma de dióxido de carbono equivalente (kg CO₂ eq) (ISO 14067, 2018).

O uso da terra dentro dos limites da propriedade foi considerado como consolidado há mais de 20 anos nas atividades agrícolas e de pastagem. As áreas de pasto e de lavoura foram convertidas para a unidade de m² por kg de FPCM. Para estimar as áreas utilizadas para a produção de alimentos adquiridos fora da fazenda foi utilizado o método ReCiPe, categoria Land Use.

Resultados e discussão

Os potenciais impactos ambientais associados ao ciclo de vida da produção de leite orgânico foram obtidos a partir da correlação dos dados do ICV

com as categorias de impactos selecionadas para este estudo: acidificação, eutrofização, mudanças climáticas e uso da terra. A quantificação dos potenciais impactos ambientais permitiu demonstrar o desempenho ambiental dos sistemas de produção, pontos de atenção e oportunidades de melhorias.

A interpretação dos resultados para cada categoria de impacto selecionada e as respectivas fontes de contribuição serão apresentadas nos próximos tópicos.

Potencial de acidificação

A categoria “impacto de acidificação” aborda os efeitos decorrentes dos processos que resultam no aumento da acidez do solo devido à acumulação de íons de hidrogênio e de alumínio e à lixiviação de bases de cátions, como os de cálcio, magnésio, potássio e sódio (Ronquim, 2010). A acidez é um dos principais atributos químicos relacionados ao desenvolvimento de plantas que afeta a disponibilidade de quase todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento vegetal. As principais causas do processo de acidificação dos solos são: a ação de microrganismos na decomposição de matéria orgânica; o processo de absorção de nutrientes pelas plantas com liberação pelas raízes de íons H⁺ ou OH⁻; a aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados ao solo; e sistema inadequado de manejo do solo (Velooso et al., 2020).

A expressão do resultado modelado se dá pela sua capacidade de suporte por kg de substância de referência, SO₂, emitida que resultaria no impacto de acidificação do solo (kg SO₂ eq. por kg FPCM) (Hauschild; Huijbregts, 2015).

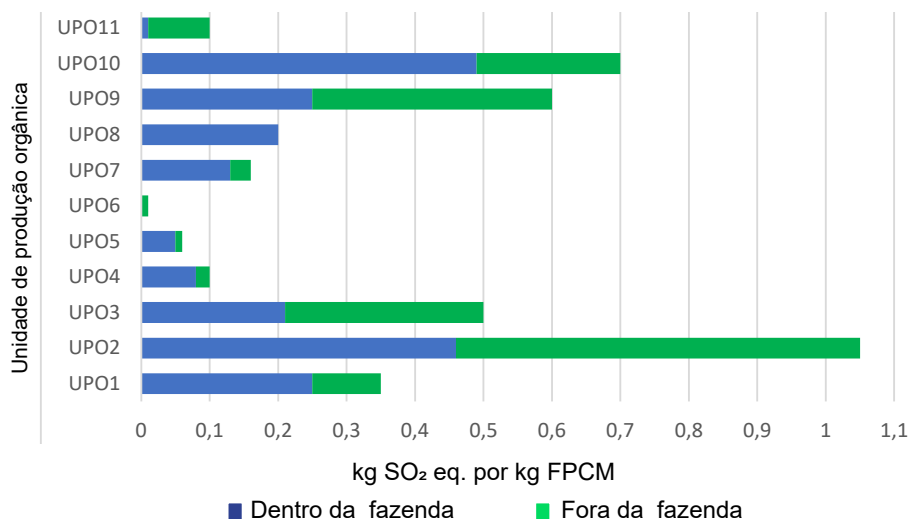


Figura 3. Potencial impacto de acidificação do solo nas unidades de produção de leite orgânico.

As UPOs adotam práticas conservacionistas baseadas na adubação orgânica para garantir a fertilidade e a qualidade do solo para a produção de alimentos dentro da propriedade (on farm). No entanto, parte dos ingredientes da dieta dos animais é obtida de fontes externas às fazendas ("off farm") que parte pode ser de origem de produção convencional, que possui maior potencial de impacto na acidificação do solo, como observado no gráfico de resultados (Figura 3).

A UPO6 não produz silagem, realiza rotação de culturas forrageiras e irrigação nas áreas de pasto para garantir disponibilidade de alimento volumoso para o rebanho durante o ano todo. A utilização exclusiva de adubação orgânica como fertilizante do solo resultou no menor potencial acidificação.

A acidificação do solo provocada pelo uso de insumos nitrogenados pode afetar a funcionalidade dos ecossistemas terrestres, e a amplitude da acidificação está relacionada às quantidades de nitrogênio orgânico e nitrogênio inorgânico aplicadas (Wang et al., 2023). Estudos de Chen et al. (2016) demonstraram que os solos arenosos têm capacidade limitada para absorção de N e maior probabilidade de diminuição do pH do solo em resposta à adubação nitrogenada. Propriedades

com esse tipo solo podem ser muito vulneráveis à acidificação. Solos com pH abaixo de 5,0, inibem a atividade microbiana, prejudicando a mineralização da matéria orgânica e a disponibilização de nutrientes. Além disso, o aumento da retenção de fósforo nas cargas coloidais dos solos ácidos pode limitar a disponibilidade desse nutriente para as plantas (Kölln et al., 2023).

Potencial de eutrofização

Ecossistemas de água doce em todo o mundo estão em processo de eutrofização, principalmente em decorrência das emissões das atividades agropecuárias (Casquin et al., 2021). O manejo inadequado de dejetos e a aplicação indiscriminada de fertilizantes são os principais responsáveis pelo impacto nessa categoria.

O nitrogênio (N), por se tratar de elemento mais móvel no solo do que o fósforo (P), é carregado, principalmente, na forma de nitrato dissolvido, indo diretamente para as águas superficiais e também para as águas subterrâneas (Le Moal, et al., 2019). O fósforo é transferido principalmente por escoamento superficial, portanto o relevo e a distância dos cursos hídricos são pontos críticos e de atenção para o manejo de dejetos e aplicação de fertilizantes (Casquin et al., 2021).

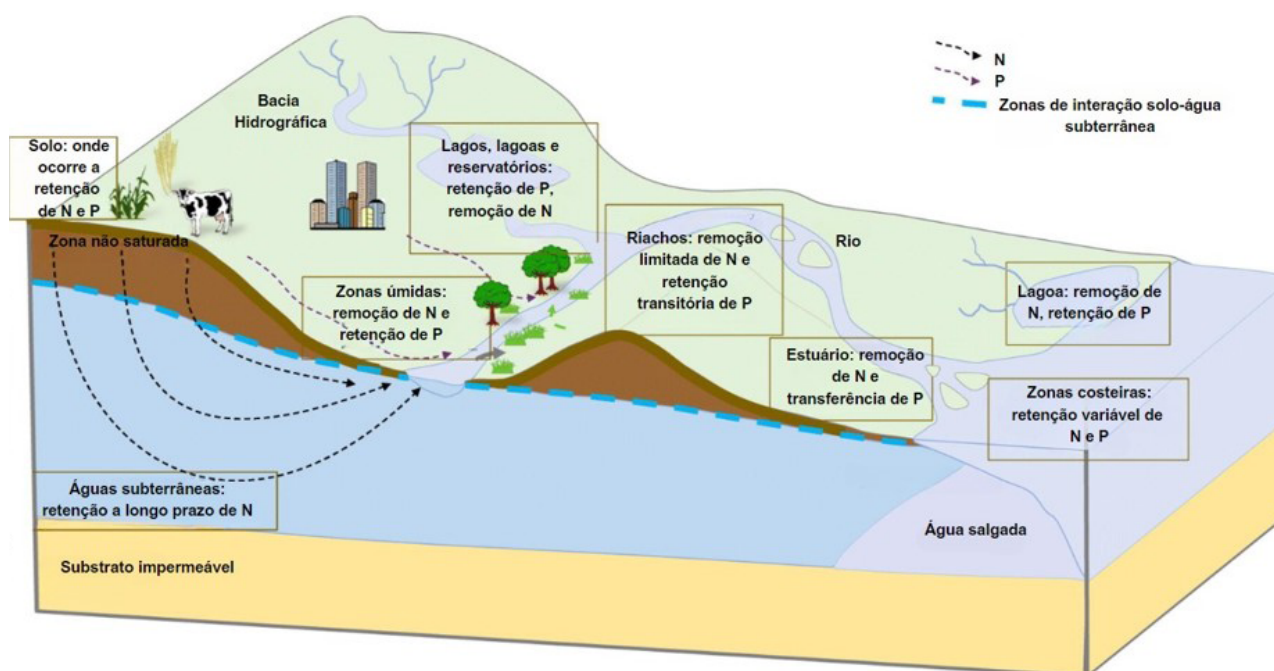


Figura 4. Diagrama conceitual das zonas de transferência, retenção e remoção de nitrogênio e fósforo ao longo da bacia hidrográfica.

Fonte: Adaptado de Le Moal et al. (2019).

Esta categoria de impacto é expressa pela unidade de referência quilograma de PO_4 equivalente (kg PO_4 eq. por kg FPCM).

Na Figura 5, observa-se que o potencial impacto de eutrofização ocorre predominantemente dentro dos limites das propriedades avaliadas.

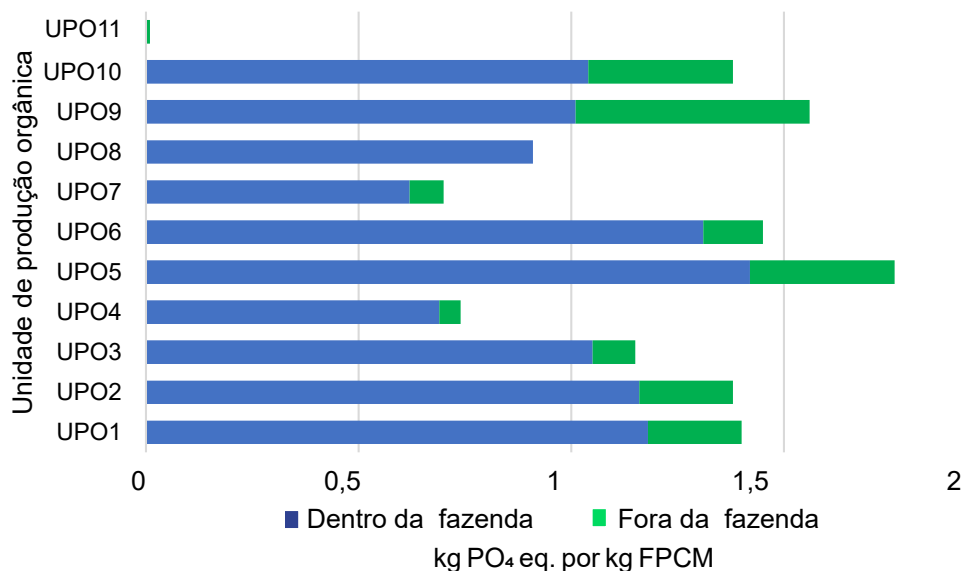


Figura 5. Potencial impacto de eutrofização nas unidades de produção orgânica de leite.

As propriedades leiteiras com rebanho maior, UPO1, UPO2, UPO3, UPO5, UPO7, UPO9 e UPO10, apresentaram maior potencial de impacto de eutrofização, uma vez que o manejo inadequado de dejetos é um dos principais responsáveis pela eutrofização. Ademais, a adubação orgânica rica em fósforo, como a cama de frango, quando aplicada com frequência pode resultar no aumento da concentração deste nutriente no solo, com elevado potencial para atingir os cursos d'água, por meio do escoamento superficial, e contaminar o lençol freático, por meio de sua lixiviação no perfil do solo. Os potenciais impactos da eutrofização fora da propriedade estão relacionados, principalmente, à produção agrícola em sistemas convencionais. A UPO11 não apresentou potencial impacto para eutrofização por ter como característica, além do rebanho reduzido, uma extensa área de pastagem sem adubação.

Os resultados de impactos para a categoria variaram de 0,01 a 1,76 g de PO_4 por kg de FPCM. Estudos realizados em sistemas convencionais de produção de leite, composto pelo confinamento de 128 animais, estimaram potenciais impactos da eutrofização em 0,239 g de PO_4 por kg FPCM (Carvalho et al., 2021). Paula (2022) encontrou

valores ainda mais elevados para sistemas semiconfinados com cerca de 200 animais, variando entre 6,47 e 8,81 g de PO_4 por kg de FPCM.

Mudanças climáticas

A categoria de impacto em mudanças climáticas foi usada para calcular a pegada de carbono, que considera as emissões de GEE associadas a um produto. Os principais GEE resultantes da produção de leite são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), que são expressos em dióxido de carbono equivalente (CO_2 eq.).

A pegada de carbono da produção de leite orgânico representa a soma das emissões de GEE geradas em todas as etapas do ciclo de vida produtivo. Assim como a produção convencional de leite, a produção orgânica e as atividades associadas são fontes reconhecidas de emissões de GEE, entretanto a diversidade de sistemas de produção reflete em diferenças nos resultados da pegada de carbono entre eles e nos fluxos e fontes de maior emissão. O quantitativo das emissões e as fontes principais de GEE dos sistemas orgânicos de produção estudados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Principais fontes de emissão de GEE nos sistemas de produção de leite orgânico avaliados.

Fontes de emissão de GEE	UPO1	UPO2	UPO3	UPO4	UPO5	UPO6	UPO7	UPO8	UPO9	UP10	UP11
	(kg CO ₂ eq por kg FPCM)										
Na fazenda	0,730	0,818	0,788	0,916	0,963	0,998	1,053	1,135	1,290	1,708	3,406
Metano entérico		0,698	0,631	0,792	0,852	0,837	0,921	1,016	1,116	1,551	3,264
Dejetos	0,144	0,055	0,099	0,111	0,083	0,133	0,117	0,104	0,132	0,082	0,128
Produção alimento	0,018	0,055	0,054	0,011	0,014	0,025	0,011	0,014	0,023	0,05	0,006
Combustível	0,001	0,011	0,004	0,002	0,014	0,003	0,004	0,001	0,019	0,025	0,008
Fora da fazenda	0,204	0,136	0,172	0,183	0,153	0,153	0,113	0,132	0,175	0,253	0,012
Ração/concentrado	0,201	0,129	0,168	0,178	0,147	0,146	0,11	0,128	0,134	0,247	0,011
Transporte	0,002	0,002	0,000	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,040	0,005	0,0001
Eleticidade	0,001	0,005	0,004	0,003	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Total	0,933	0,955	0,960	1,098	1,116	1,151	1,166	1,267	1,465	1,961	3,418

A pegada de carbono dos 11 sistemas de produção de leite orgânico variou de 0,932 a 1,961 kg CO₂ eq por kg FPCM, exceto para a UPO11 que atingiu o valor de 3,48 kg de CO₂ eq por kg FPCM (Tabela 2). Resultados similares foram encontrados pelos estudos realizados em fazendas produtoras de leite orgânico nos EUA constatou

variação da pegada de carbono entre 0,76 e 1,08 kg de CO₂ eq por kg FPCM (Aguirre-Villegas et al., 2022).

A contribuição das principais fontes de emissão de GEE variou conforme o sistema de produção orgânicos analisado, conforme se verifica na Figura 6.

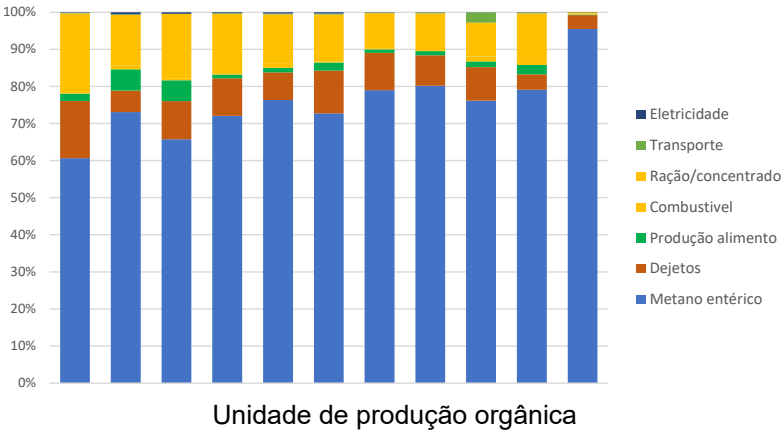


Figura 6. Principais fontes de emissão de GEE na produção de leite orgânico e suas respectivas contribuições para a pegada de carbono.

As emissões de metano entérico (CH₄) foram responsáveis por 59 a 80% da pegada de carbono, exceto na UPO11 em que a emissão entérica contribuiu com 95,5%, similar aos resultados encontrados por Chhabra et al. (2013) em sistemas extensivos de produção, na Índia, em que a emissão entérica representou 91% das emissões totais

de GEE. Esse percentual elevado reflete a baixa produtividade animal e a baixa qualidade da dieta. Estudos realizados por Gross et al. (2022) mostraram que emissões de CH₄ entérico aumentaram em decorrência do processo de conversão do sistema de produção de leite convencional para o sistema orgânico devido, principalmente, à menor eficiência

alimentar e redução da produtividade animal nesse último.

Outras fontes de emissão que afetam o potencial de mudança climática e, consequentemente, a pegada de carbono estão relacionados à produção dos alimentos que são adquiridos externamente, de outras propriedades. No cômputo estão as emissões decorrentes da mudança de uso da terra (MUT) e do desmatamento para implantação de lavouras convencionais, resultado da expansão das fronteiras agrícolas (Garofalo et al., 2022) ocorridas nos últimos 20 anos (Novaes et al., 2017). A MUT tem implicações importantes nas emissões de GEE (Wedema et al., 2013) e tem sido cada vez mais relevante nas estimativas de impacto potencial em mudanças climáticas pelo setor agropecuário (Folegatti-Matsuura; Picoli, 2018). As áreas dos sistemas orgânicos de produção de leite avaliadas no presente estudo estão estabelecidas há mais de 20 anos, portanto as emissões devidas à MUT e ao desmatamento dentro dos limites desses sistemas não foram consideradas.

A eficiência do sistema e a produtividade animal são fatores que afetam diretamente a pegada de carbono do leite e de acordo com o IFCN Dairy Baseline 2050 (2021) há perspectivas de redução de até 28% na pegada de carbono da produção global de leite com base no aumento da produtividade animal. Os ganhos na redução da emissão de GEE têm maior impacto em sistemas de produção de baixa produtividade, uma vez que em sistemas menos eficientes há maiores possibilidades de mitigação (FAO, 2019). Os sistemas de produção de leite orgânico apresentam tal condição, pois frequentemente possuem produtividade inferior àquela dos de sistemas convencionais, em média de 10 a 15% menores (Pirlo; Lolli, 2019). O pastejo extensivo de rebanhos em amplas áreas de pastagens, tendo o pasto como principal fonte de alimento e com reduzido uso de concentrados (energéticos ou proteicos) afeta a produtividade animal e impacta diretamente na pegada de carbono (Liang et al., 2017).

Neste estudo, verificou-se que sistemas orgânicos de produção de leite que empregam boas práticas de manejo, como pastejo rotacionado,

associado à consorciação de culturas e ao uso de forrageiras adaptadas às condições edafoclimáticas, têm potencial para atingir produtividade média equivalente aos sistemas convencionais de produção. Foi observado também que os sistemas de produção com maior produtividade individual, tiveram de resultado de pegada de carbono menor. (Figura 7). Relatório da FAO (2019) mostrou que a intensidade da emissão entérica pode ser reduzida em até 40% se forem adotadas medidas para aumentar a produtividade. Isto se explica porque a pegada de carbono do leite é calculada pela soma das emissões de GEE de todas as etapas associadas a um sistema de produção dividido pelo total de leite produzido corrigido pelo percentual de gordura e proteína (FPCM).

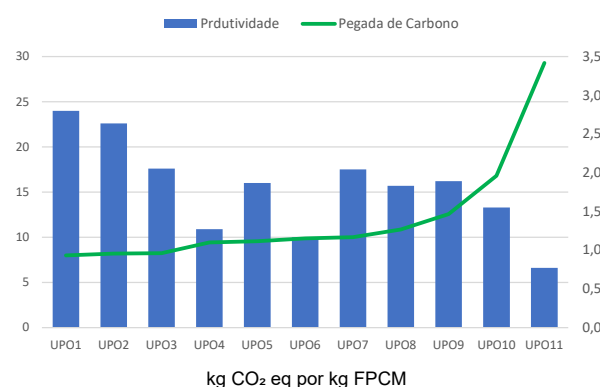


Figura 7. Correlação entre a pegada de carbono e a produtividade animal.

Uso da terra

O uso da terra está relacionado, principalmente, à produção de alimentos para o consumo dos animais, contemplando áreas de pastagens e de lavouras. A intensidade de uso do solo é variável conforme o tamanho do rebanho, o tipo de manejo da pastagem e a produtividade das lavouras. Nas propriedades avaliadas o uso da terra variou de 0,73 a 2,84 m² por kg FPCM, sendo que a UPO11 apresentou o valor mais elevado para esse atributo, 15,7 m² por kg (Figura 8).

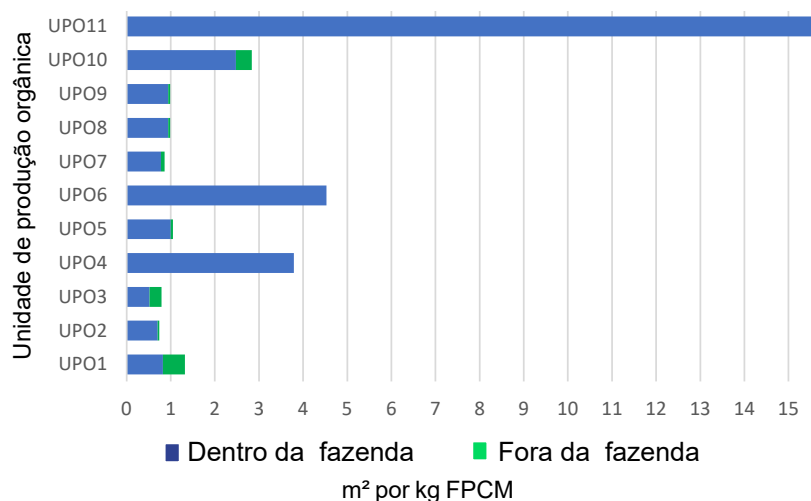


Figura 8. Intensidade do uso da terra nas unidades de produção orgânica de leite.

Teixeira et al. (2018) mostraram que um sistema de produção leite a pasto da Embrapa Gado de Leite utiliza em média 1,55 m² para produzir 1 kg de leite, sem considerar as áreas de lavouras dos insumos usados na suplementação nutricional do rebanho. As UPOs 1, UPO2, UPO3, UPO5, UPO6, UPO8 e UPO9 tiveram uso eficiente da terra quando comparada com a produção de leite pasto em sistema convencional. Sistemas de produção de leite confinado de alta produtividade animal e tecnificação na Califórnia, EUA utilizou em média 0,29 m² por kg de leite produzido no ano de 2014 (Naranjo et al., 2020), influenciado pelo uso insumos produzidos em escalas e alta produtividade e não possuir áreas de pasto.

Nos sistemas de produção de leite orgânico, o uso da terra é mais intensivo dentro da propriedade, pois a produção de alimentos para o rebanho prioritariamente ocorre na fazenda, exigindo maiores extensões de áreas para pastagens. Nas UPO2, UPO4, UPO5, UPO6, UPO7, UPO8, UPO9 e UPO11 mais de 90% da área utilizada para produção de alimentos fornecidos para os animais está dentro dos limites da fazenda. Nas UPO1 e UPO3, a produção local de alimentos foi responsável por cerca de 60% do uso da terra enquanto a UPO10 destaca-se por destinar 87,4% de suas áreas a tal atividade.

O mercado brasileiro de fornecimento de insumos de uso permitido na pecuária orgânica ainda é muito restrito, havendo dificuldades para a aquisição de insumos alternativos, incluindo a disponibilidade de sementes organicamente produzidas e livres de transgenia, bem como grãos para suprir a demanda dos sistemas de produção de leite orgânico.

Desafios e oportunidades para a produção de leite orgânico

Produtividade animal — A média de produção individual nos sistemas orgânicos estudados variou de 6,6 a 24 kg leite vaca por dia. A dieta em matéria seca é composta principalmente por pasto e forragem, variando de 45,6 a 91,5%, valores semelhantes encontrados para produção de leite orgânico nos Estados Unidos, variam de 60 a 77% o consumo de matéria seca (Aguirre-Vilegas et al., 2022). A composição da dieta é altamente variável entre os sistemas, exercendo efeitos diretos no desempenho e produtividade dos animais (Tomich et al., 2015). O consumo de forragens acima de 60% limita a produtividade animal e possui maior efeito na intensidade nas emissões de CH₄ entérico, segundo estudo de Arnedt et al., (2021).

A qualidade e disponibilidade de volumoso fornecido na dieta tem efeito direto na produtividade animal. Os sistemas que adotam a irrigação e o manejo rotacionado das pastagens, o cultivo de forrageiras de inverno e complementam a dieta de volumoso com silagem, como as UPO1, UPO2, UPO3, UPO5, UPO7, UPO8 e UPO9 apresentaram produtividade média variando de 24,0 a 15,7 kg FPCM vaca por dia. As UPO4, UPO6 e UPO10 utilizam sistema de manejo extensivo, fazem pouca, ou nenhuma, suplementação com silagem, possuem baixo percentual de concentrado na dieta tiveram a produtividade média entre 10 e 13,3 kg FPCM vaca por dia. Já a UPO11, que se baseia no pastejo extensivo em pastagens de baixa produção, com baixa suplementação alimentar, apresentou a menor produtividade média, de 6,6 kg leite vaca por dia (Figura 9).

Foto: Fernanda Samarini



Figura 9. Ordenha.

Da mesma forma, a eficiência de conversão alimentar do rebanho é influenciada por fatores genéticos, fisiológicos e ambientais que resultam da variação no gasto energético (Digiacomio et al., 2018). No Brasil, a produção de leite a pasto é caracterizada, principalmente, por rebanhos mestiços, reduzido nível tecnológico e baixa produtividade animal (Peixoto et al., 2023). Os rebanhos dos sistemas de produção orgânica de leite são compostos, em sua maioria, por animais Holandês-Gir e Holandês-Jersey (Figura 10).

Foto: Fernanda Samarini



Figura 10. Rebanho mestiço.

Estudo realizado pela FAO (2013) verificou que o aumento de 5 a 10% na eficiência alimentar das vacas implica na elevação da produtividade animal e, consequentemente, na redução da intensidade das emissões de GEE. Há evidências de que, em alguns sistemas, as emissões podem ser reduzidas em até 40% caso sejam adotadas medidas que resultem no aumento da produtividade (FAO, 2019). Ao se buscar o aumento da produtividade do rebanho e a redução das emissões de metano, além do incremento da qualidade da dieta é fundamental considerar a seleção de animais com maior eficiência alimentar.

De acordo com a Portaria nº 52/2021 (Brasil, 2021), que regulamenta a produção orgânica no Brasil, o sistema de pastagem deverá ser utilizado ao máximo e forragens (frescas, secas ou ensiladas) deverão constituir pelo menos 60% da matéria seca da dieta. Para animais em produção leiteira, por no máximo três meses a partir do início da lactação, a proporção de forragem poderá ser reduzida para pelo menos 50% da matéria seca da dieta. Portanto, para a redução da intensidade das emissões de CH₄ entérico, é estratégico o adequado manejo de pastagem para garantir a oferta de forragem de alto valor nutricional. A consorciação das pastagens com leguminosas também apresenta potencial de redução das emissões de metano entérico pelo aumento do valor nutricional da dieta ingerida, bem como pela presença de compostos como taninos condensados, que têm atividade antimetanogênica no rúmen.

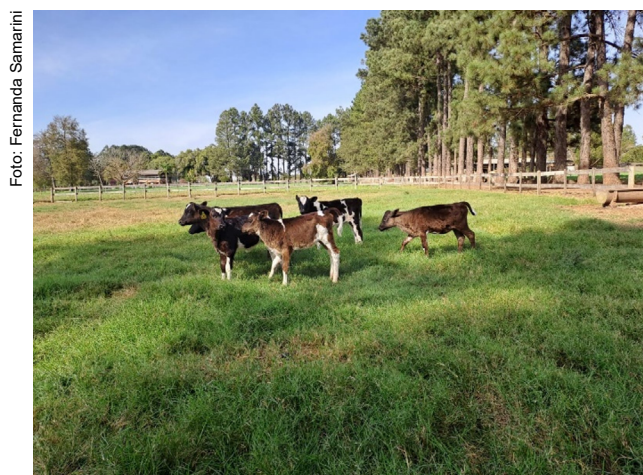
Alimentação do rebanho

A produção de alimentos para o rebanho dentro da propriedade reduz a dependência de fontes externas, minimizando os impactos relacionados às emissões de GEE advindos do transporte (Segnini et al., 2019). A maioria dos sistemas de produção de leite orgânico possui o pasto e a silagem como principal componente da alimentação dos animais.

Todos os sistemas de produção de leite orgânico avaliados permitem o livre acesso dos animais às pastagens e proporcionando uma dieta composta por maior percentual de volumoso (Tabela 3). A produção de leite orgânico baseia-se na maximização da produção de leite em um ambiente natural, priorizando a saúde e o bem-estar dos animais (Aroeira et al., 2012) (Figura 11 e Figura 12).

Tabela 3. Caracterização da dieta dos sistemas de produção de leite orgânico avaliados referente ao ano de 2022.

Dieta	UPO1	UPO2	UPO3	UPO4	UPO5	UPO6	UPO7	UPO8	UPO9	UP010	UP011
Matéria seca de volumoso	76%	72%	73%	98%	78%	46%	72%	70%	66%	78%	92%
Matéria seca de concentrado	24%	28%	27%	2%	22%	54%	28%	30%	34%	22%	8%

**Figura 11.** Área de sombra.**Figura 13.** Consórcio de forrageiras.**Figura 12.** Área de sombra.**Figura 14.** Piquete rotacionado.

Os sistemas as UPO1, UPO2, UPO3, UPO5, UPO7, UPO8 e UPO9 adotam o manejo em piquete rotacionado, o cultivo de forrageiras de inverno, consórcio com leguminosas, irrigação e adubação orgânica das pastagens para incrementar a produção de alimento durante todo o ano (Figuras 13 e 14). Pesquisa realizada por Paciullo et al. (2014) mostrou que o manejo de pastagens em sistemas de produção de leite orgânico utilizando consórcio de leguminosas tem potencial para produzir forragem

rica em proteína e proporcionar maior desempenho animal quando empregado manejo adequado.

Todas as UPOs avaliadas produzem silagem de milho e/ou de capim para complementar a dieta de volumoso, principalmente, no período de seca. Para o cultivo de milho nas UPOs é utilizado os dejetos raspados das instalações e compostados, além de esterco de frango e cama de aviário. A produtividade média informada variou de 38 a 45 toneladas de silagem de milho produzida por

hectare. Em um sistema de produção de silagem de milho convencional a produtividade esperada é acima de 55 toneladas por hectare (Oliveira; Oliveira, 2014). Campos et al. (2017) encontraram valores de 45 t por ha em experimento de produção de silagem de milho com aplicação de esterco de galinha como única fonte de fertilizante nitrogenado. Além de menor produtividade, vale ressaltar que Campos et al. (2017) verificaram que as silagens de milho que receberam esterco de ave como única fonte de adubação nitrogenada apresentaram baixo teor de proteína bruta, sendo indicada complementação da fonte de proteína da dieta para não comprometer o desempenho dos animais.

O uso de adubos orgânicos de origem animal é uma alternativa para a produção de silagem que proporciona benefícios para a fertilidade e a

ciclagem de nutrientes. A aplicação sistemática da cama de aves como fertilizante orgânico deve ser monitorada com a rotina de análise de solo e avaliação de excedente de nutrientes. Pesquisas destacam os compostos orgânicos de origem animal são ricos em P e sua concentração no solo deve ser monitorada principalmente em áreas de solos arenosos que permite maior lixiviação do N e do P em profundidade e consequente contaminação de recurso hídrico (Correa; Mielle, 2011).

A intensidade de pastejo e o consumo de silagem variaram entre os sistemas avaliados, assim como a composição da ração fornecida aos animais. Na Figura 15 observa-se a distribuição das fontes de alimentos das dietas e suas origens, ou seja, o que é produzido na propriedade e o que é adquirido no mercado de insumos.

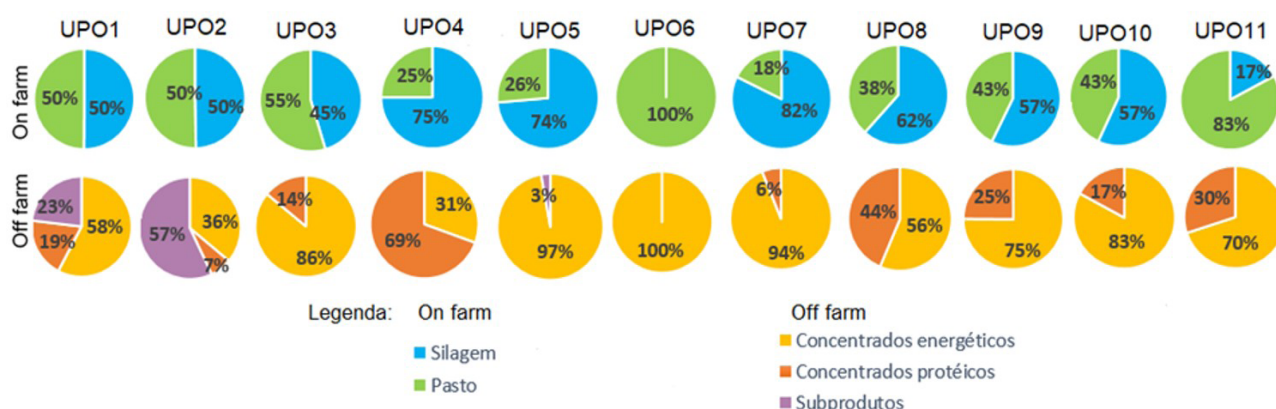


Figura 15. Distribuição das fontes de alimentos consumidos pelos rebanhos das UPOs avaliadas.

A fonte de volumoso nos sistemas UPO1, UPO2, UPO3, UPO6, UPO11 é prioritariamente pasto ou na mesma proporção que a silagem. Já nos sistemas UPO4, UPO5, UPO7, UPO8, UPO9 e UPO10 a silagem é fornecida em maior proporção na dieta de volumoso, como média anual. A composição do suplemento fornecido aos animais é variável entre os sistemas de produção avaliados. As UPOs 1 e 2 utilizam subprodutos da agroindústria na suplementação nutricional dos animais, ambas favorecidas pela disponibilidade desses insumos na região e proximidade das unidades agroindustriais. Os demais sistemas de produção de leite orgânico utilizam, principalmente, o milho orgânico como fonte energética e o farelo de soja, ou de amendoim, como fonte proteica para a dieta do rebanho. A restrição na disponibilidade e elevado custo dos insumos orgânicos são gargalos para a produção de leite orgânico.

A disponibilidade de alternativas para substituição de insumos químicos, principalmente aqueles nitrogenados, também é desafio para suprir a demanda nutricional dos animais em sistemas orgânicos. O estabelecimento de bancos de proteína e a consorciação de gramíneas com leguminosas, além de promoverem a biodiversidade, constituem uma importante estratégia para o atendimento da demanda proteica do rebanho (Soares et al., 2014). O consórcio de espécies vegetais é uma prática que vem sendo adotada pela maioria dos sistemas de produção de leite orgânico. O cultivo de forrageiras de inverno também é uma alternativa utilizada para garantir o fornecimento de alimento volumoso na época da seca, quando as pastagens apresentam baixa produção, uma vez que as forrageiras perenes tropicais produzem menos em épocas de déficit hídrico e em condições de temperatura e luminosidade baixas. A disponibilização de áreas

com forragem de valor nutritivo adequado para os animais é uma forma viável e sustentável para a alimentação de bovinos (Fontaneli et al., 2018).

Considerações finais

A avaliação de ciclo de vida da produção de leite orgânico mostrou que, além dos benefícios consolidados da pecuária leiteira orgânica, a avaliação dos sistemas de produção pelos potenciais impactos nas categorias de acidificação do solo, eutrofização de recursos hídricos, mudanças climáticas (pegada de carbono) e mudança e uso da terra, é variável entre as UPOs avaliadas, o que reflete a diversidade das estratégias e práticas de manejo adotadas entre as propriedades, mesmo sendo todas certificadas de acordo com Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade Orgânica.

Nas categorias de eutrofização e acidificação, os sistemas de produção de leite orgânico apresentaram resultados inferiores aos valores encontrados na literatura para sistemas convencionais. A pegada de carbono da produção de leite orgânico nos sistemas com produtividade animal mais elevada apresentou resultado abaixo da média dos sistemas convencionais, evidenciando que os processos orgânicos de produção não são impeditivos para o alcance da eficiência produtiva. O metano entérico é a fonte predominante de emissão de GEE na atividade, o que indica oportunidades de melhorias na eficiência alimentar. Nas UPOs avaliadas as emissões pelos dejetos são resultantes, principalmente, da deposição de excretas no pasto, sendo maiores nas UPOs 1 e 5, que mantêm as vacas adultas confinadas em galpão de *compost barn*. A produção de alimentos na propriedade reduz a dependência externa, minimizando as emissões de GEE decorrentes da mudança de uso da terra, que possuem maior impacto em sistemas convencionais.

Os resultados obtidos possibilitaram a identificação das etapas e práticas agropecuárias que mais contribuem para os potenciais impactos ambientais. Com isto é possível subsidiar tecnicamente a tomada de decisões estratégicas e a implementação de medidas que minimizem os impactos ambientais e maximizem a eficiência dos sistemas de produção de leite orgânico.

Agradecimentos

À comissão de leite e derivados orgânicos da ABRALEITE e a todos os produtores e produtoras de leite orgânico que participaram do projeto Observatório do Leite Orgânico e contribuíram significativamente para a caracterização dos sistemas de produção e avanço do conhecimento no tema.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2014b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14067**: gases de efeito estufa: pegada de carbono de produtos: requisitos e orientações sobre quantificação e comunicação. Rio de Janeiro, 2018.
- AGUIRRE-VILLEGAS, H. A.; LARSON, R. A.; RAKOBITSCH, N.; WATTIAUX, M. A.; SILVA, E. Farm level environmental assessment of organic dairy systems in the U.S. **Journal of Cleaner Production**, v. 363, 132390, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132390>.
- ARNDT, C.; HRISTOV, A. N.; PRICE, W. J.; MCCLELLAND, S. C.; PELAEZ, A. M.; CUEVA, S. F.; OH, J.; DIJKSTRA, J.; BANNINK, A.; BAYAT, A. R.; CROMPTON, L. A.; EUGÈNE, M. A.; ENAHORO, D.; KEBREAB, E.; KREUZER, M.; MCGEE, M.; MARTIN, C.; NEWBOLD, C. J.; REYNOLDS, C. K.; SCHWARM, A.; SHINGFIELD, K. J.; VENEMAN, J. B.; YÁÑEZ-RUIZ, D. R.; YU, Z. Ful adoption on the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can meet the 1.5° C target by 2030 but not 2050. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 119, n. 20, e2111294119, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2111294119>.
- AROEIRA, L. J. M.; PIRES, M. de F. A.; ALVIM, M. J.; PRATA, M. C. de A.; PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, F. S. de. Produção orgânica de leite. In: CAMPOS, O. F. de; MIRANDA, J. E. C. de (ed.). **Gado de leite**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa; Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2012. p. 262-267. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria MAPA nº 52, de 15 de março de 2021. Estabelece o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção e as listas de substâncias e práticas para o uso nos Sistemas Orgânicos de Produção. **Diário Oficial da União**, seção 1, 23 mar. 2021.

CAMPOS, S. D. A.; LANA, R. D. P.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, M. N.; TAVARES, V. B. Efeito do esterco de galinha poedeira na produção de milho e qualidade da silagem. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p. 274-281, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764030008>.

CANALS, L. M. **Contributions to LCA methodology for agricultural systems**: site-dependency and soil degradation impact assessment. 2003. 117 f. Tese (Doutorado) - Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, 2003.

CARVALHO, L. S.; WILLERS, C. D.; SOARES, B. B.; NOGUEIRA, A. R.; ALMEIDA NETO, J. A. de; RODRIGUES, L. B. Environmental life cycle assessment of cow milk in a conventional semi-intensive Brazilian production system. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 21259-21274, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17317-5>.

CASQUIN, A.; DUPAS, R.; GU, S.; COUIC, E.; GRUAU, G.; DURAND, P. The influence of landscape spatial configuration on nitrogen and phosphorus exports in agricultural catchments. **Landscape Ecology**, v. 36, n. 12, p. 3383-3399, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01308-5>.

CHHABRA, A.; MANJUNATH, K. R.; PANIGRAHY, S.; PARIHAR, J. S. Greenhouse gas emissions from Indian livestock. **Climatic Change**, v. 117, p. 329-344, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0556-8>.

CHEN, D.; LI, J.; LAN, Z.; HU, S.; BAI, Y. Soil acidification exerts a greater control on soil respiration than soil nitrogen availability in grasslands subjected to long-term nitrogen enrichment. **Functional Ecology**, v. 30, n. 4, p. 658-669, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12525>.

GLOBAL organic milk production market report. [S.l.] : KPMG, 2018. Disponível em: <https://ciorganicos.com.br/wp-content/uploads/2020/09/global-organic-milk-production-market-report.pdf>. Acesso em: 10 maio 2024.

CORREA, J. C.; MIELE, M. A cama de aves e os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (ed.). **Manejo ambiental na avicultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 125-152. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 149).

DIGIACOMO, K.; NORRIS, E.; DUNSHEA, F. R.; HAYES, B. J.; MARETT, L. C.; WALES, W. J.; LEURY, B. J. Responses of dairy cows with divergent residual feed intake as calves to metabolic challenges during midlactation and the nonlactating period. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 7, p. 6474-6485, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12569>.

FAO. **Climate change and the global dairy cattle sector**: the role of the dairy sector in a low-carbon future. Rome, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/3/CA2929EN/ca2929en.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

FAO. **World mapping of animal feeding systems in the dairy sector**. Rome, 2013. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3913e>. Acesso em: 20 jan. 2023.

FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; CASTRO, R. L. de; NASCIMENTO JÚNIOR, A. do; CAIERÃO, E.; BIAZUS, V.; ARAÚJO, E. M. de. Produção de alimentos no inverno para alimentação de vacas leiteiras. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**, v. 28, n. 162, p. 22-36, 2018.

GAROFALO, D. F. T.; NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; MACIEL, V. G.; BRANDÃO, M.; SHIMBO, J. Z.; MATSUURA, M. I. da S. F. Land-use change CO2 emissions associated with agricultural products at municipal level in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 364, article 132549, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132549>.

GAVRILOVA, O.; LEIP, A.; DONG, H.; MACDONALD, J. D.; BRAVO, C. A. G.; AMON, B.; ROSALES, R. B.; PRADO, A. del; LIMA, M. A. de; OYHANTÇABAL, W.; WEERDEN, T. J. van der; WIDIWATI, Y. Emissions from livestock and manure management. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneva, 2019.

GROSS, A.; BROMM, T.; POLIFKA, S.; SCHIERHORN, F. The carbon footprint of milk during the conversion from conventional to organic production on a dairy farm in central Germany. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 3, article 37, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s13593-022-00775-7>.

HAUSCHILD, M. Z.; HUIJBREGTS, M. A. J. Acidification. In: HAUSCHILD, M. Z.; HUIJBREGTS, M. A. J. (ed.). **Life cycle impact assessment**. Dordrecht: Springer, 2015. p. 163-176.

KÖLLN, O. T.; SILVA, S. R.; PALUDETTO, A. O solo: a base para a produção vegetal. In: KÖLLN, O. T. (org.). **Sistemas para produção agropecuária sustentável no norte pioneiro do Paraná**. Cornélio Procopio, PR: UENP, 2023. p. 15-60.

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. **A common carbon footprint approach for the dairy sector: the IDF guide to standard life cycle assessment methodology**. Bruxelas, 2015. (IDF. Bulletin 479).

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. **The IDF global carbon footprint standard for the dairy sector**. Bruxelas, 2022. (IDF. Bulletin, 520).

INTERNATIONAL FARM COMPARISON NETWORK. **Carbon neutral dairy farming in 2050 is possible**. Kiel, 2021. Disponível em: https://ifcndairy.org/wp-content/uploads/2021/06/IFCN_Dairy_Conference_2021_Press_release.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

LE MOAL, M.; GASCUEL-ODOUX, C.; MENESGUEN, A.; SOUCHON, Y.; ÉTRILLARD, C.; LEVAIN, A.; MOATAR, F.; PANNARD, A.; SOUCHU, P.; LEFEBVRE, A.; PINAY, G. Eutrophication: a new wine in an old bottle? **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1-11, 2019. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139>.

LIANG, D.; SUN, F.; WATTIAUX, M. A.; CABRERA, V. E.; HEDTCKE, J. L.; SILVA, E. M. Effect of feeding strategies and cropping systems on greenhouse gas emission from Wisconsin certified organic dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 7, p. 5957-5973, 2017. DOI : <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11909>.

MATSUURA, M. I. da S. F.; PICOLI, J. F. **Life cycle inventories of agriculture, forestry and animal husbandry: Brazil: for the SRI project**. Zurich: Ecoinvent Association, 2018. 143 p.

NARANJO, A.; JOHNSON, A.; ROSSOW, H.; KEBREAB, E. Greenhouse gas, water, and land footprint per unit of production of the California dairy industry over 50 years. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 4, p. 3760-3773, 2020. DOI : <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16576>.

NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; BRANDÃO, M.; ALVES, B. J. R.; MAY, A.; MATSUURA, M. I. da S. F. Estimating 20-year land-use change and derived CO₂ emissions associated to crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, p. 3716-3728, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13708>.

OBSERVATÓRIO DO LEITE ORGÂNICO. **Pesquisa sobre a produção de leite orgânico no Brasil**. Disponível em: <https://leiteorganico.cnpgl.embrapa.br/index.php#pesquisa>. Acesso em: 5 dez 2023.

OLIVEIRA, P. S. d'; OLIVEIRA, J. S. e. **Produção de silagem de milho para suplementação do rebanho leiteiro**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2014. 10 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 74).

OLSEN, S. I.; BORUP, M.; ANDERSEN, P. D. Future-oriented LCA. In: HAUSCHILD, M. Z.; ROSENBAUM, R. K.; OLSEN, S. I. (ed.). **Life cycle assessment: theory and practice**. Cham : Springer, 2018. p. 499-518.

PACIULLO, D. S. C.; PIRES, M. F. A.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; MAURÍCIO, R. M.; GOMIDE, C. A. M.; SILVEIRA, S. R. SWARD characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. **Animal**, v. 8, n. 8, p. 1264-1271, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731114000767>.

PAULA, V. R. **Avaliação de ciclo de vida da produção de leite: um estudo de caso em Minas Gerais e no Paraná**. 2022. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) - Universidade Federal de Juiz de Fora, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34019/uffj/di/2022/00093>.

PEIXOTO, M. G. C. D.; PIRES, M. de F. A.; BRUNELI, F. A. T.; CARNEIRO, A. V. **Caminhos para uma maior eficiência produtiva de sistemas semi-intensivos de produção de leite baseados em rebanhos mestiços**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2023. 47 p. (Embrapa Gado de Leite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).

PIRLO, G.; LOLLI, S. Environmental impact of milk production from samples of organic and conventional farms in Lombardy (Italy). **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 962-971, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.070>.

POORE J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science** v. 360, n. 6392, p. 987-992, 2018. DOI : <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>.

RICHARDSON, C. J.; FLANAGAN, N. E.; HO, M. The effects of hydrologic restoration on carbon budgets and GHG fluxes in southeastern US coastal shrub bogs. **Ecological Engineering**, v. 194, 107011, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107011>.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

ROSS, S. A.; TOPP, C. F. E.; ENNOS, R. A.; CHAGUNDA, M. G. G. Relative emissions intensity of dairy production systems: employing different functional units in life-cycle assessment. **Animal**, v. 11, n. 8, p. 1381-1388, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731117000052>.

SEGNINI, A.; XAVIER, A. A. P.; OTAVIANI-JUNIOR, P. L.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEDROSO, A. de F.; PRAES, M. F. F. M.; RODRIGUES, P. H. M.; MILORI, D. M. B. P. Soil carbon stock and humification in pastures under different levels of intensification in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 1, p. 33-40, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0131>.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 10 maio 2024.

SOARES, J. P. G.; NEVES, D. L.; CARVALHO, J. M. de. Produção de carne bovina em sistema orgânico: desafios e tecnologias para um mercado em expansão. In: OLIVEIRA, R. L.; BARBOSA, M. A. A. de F. (org.). **Bovinocultura de corte: desafios e tecnologias**. 2. ed. rev. e ampl. Salvador: Edufa, 2014. p. 701-725.

SOUSA, D. A.; SOUZA, M. M. S.; SILVA, J. M. S.; SKRAPEC, M. V. C.; SILVA, D. F. S.; QUEIROZ, D. B.; CARDOSO, M. V. O. A Importância das medidas de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas na agropecuária brasileira. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 108413-108425, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-460>.

TEIXEIRA, S. R.; RIBEIRO, A. C. de C. L.; ANDRADE, P. J. M.; MENDONÇA, L. C.; CAMPOS, M. M.; ROCHA, D. T. da; MORENZ, M. J. F.; SALVATI, J. A.; CARVALHO, B. C. de. **Manejo no sistema intensivo de produção de leite a pasto da Embrapa Gado de Leite**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2018. 13 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 92).

TOMICH, T. R.; MACHADO, F. S.; PEREIRA, L. G. R.; CAMPOS, M. M. Nutrição de precisão na pecuária leiteira. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, n. 79, p. 54-72, 2015.

VELOSO, C. A. C.; ARAUJO, S. M. B.; RODRIGUES, J. E. L. F.; SILVA, A. R. Correção da acidez do solo. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. (ed.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 121-131.

WANG, Z.; TAO, T.; WANG, H.; CHEN, J.; SMALL, G. E.; JOHNSON, D.; CHEN, J.; ZHANG, Y.; ZHU, Q.; ZHANG, S.; SONG, Y.; KATTGE, J.; GUO, P.; SUN, X. Forms of nitrogen inputs regulate the intensity of soil acidification. **Global Change Biology**, v. 29, n. 14, p. 4044-4055, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.16746>.

WEDEMA, B. P.; BAUER, C.; HISCHIER, R.; MUTEL, C.; NEMECEK, T.; REINHARD, J.; VADENBO, C. O.; WERNET, G. **Data quality guideline for the ecoinvent database version 3: overview and methodology**. St. Gallen: The Ecoinvent Centre, 2013. 169 p. (Ecoinvent Report, n. 1).