

São Carlos, SP / Dezembro, 2025

Adaptação e mitigação às mudanças climáticas: manejo da água e dos dejetos na produção leiteira

Julio Cesar Pascale Palhares⁽¹⁾ e Juliana Vieira Paz⁽²⁾⁽¹⁾ Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP e ⁽²⁾ Bolsista, Embrapa Pecuária Sudeste, SP

Introdução

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), mudança climática corresponde às variações significativas no estado médio do clima ou em sua variabilidade, persistindo por um período extenso. Recentemente, os especialistas substituíram o termo mudança climática por emergência climática porque o clima está mudando mais rápido do que a natureza pode se adaptar a ele.

Ações se fazem urgentes para manter as temperaturas globais dentro de um limite do qual a humanidade e outros seres vivos possam viver com segurança.

O Serviço de Mudanças Climáticas Copernicus, da União Europeia, declarou oficialmente 2024 como o ano mais quente já registrado e o primeiro ano da história com temperatura global média acima de 1,5°C do período pré-industrial. Segundo o Acordo de Paris, isso era previsto para acontecer entre 2030 e 2040. Apesar do valor ter ultrapassado 1,5°C em 2024, para o limite ser considerado definitivamente superado, ele teria que se manter por alguns anos.

Segundo a UNEP (2019), se os países tivessem agido com base na ciência, os governos precisariam reduzir as emissões em 3,3% anualmente. A cada

ano que deixamos de agir, aumenta o nível de dificuldade e o custo para se reduzir as emissões.

Apesar de todos os avisos da ciência, as emissões globais de gases do efeito estufa estão em contínuo crescimento. Entre 2022 e 2023, o aumento foi de 1,3%. As emissões precisam diminuir até 2030 em 43% para atingir as metas de temperatura de 1,5°C e 27% para atingir as metas de 2°C (OCDE, 2024). O Sexto Relatório de Avaliação (AR6), do IPCC (2022), aponta que existe, ainda, uma pequena janela de oportunidade para limitar o aquecimento global a 1,5°C.

Segundo o mais recente estudo do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (OC, 2024), o Brasil emitiu 2,3 bilhões de toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO₂e) em 2023. Isso representa uma redução de 12% em relação a 2022, a maior queda percentual nas emissões desde 2009. A atividade agropecuária teve seu quarto recorde consecutivo de emissões (405 MtCO₂e), elevação de 2,2%, devido principalmente ao aumento do rebanho bovino. A última redução nas emissões da agropecuária no Brasil foi em 2018. Desde então, as emissões do setor vêm aumentando e registrando recordes.

Os efeitos das mudanças climáticas no mundo e no Brasil já se fazem presentes há alguns anos pela elevação das temperaturas diárias médias e máximas e ondas de calor mais frequentes, chuvas torrenciais com frequência e intensidades maiores, períodos de estiagem mais extremos e prolongados, incêndios florestais, entre outros. As mudanças climáticas também podem promover outros impactos que alterariam os custos econômicos da produção leiteira, como os impactos na disponibilidade de recursos hídricos e a perda de áreas devido ao fogo.

De acordo com o estudo “Perspectivas para o Agronegócio 2025”, do Rabobank, a volatilidade climática deve ser monitorada e poderá trazer novos impactos negativos para a produção leiteira. Especialmente, condições extremas de calor, impactam negativamente o conforto das vacas e a disponibilidade de pastagens. O estudo traz a conclusão que os efeitos climáticos devem levar produtores a investir em tecnologia, genética e eficiência produtiva.

Clima mais quente impacta negativamente a produção de leite e impõe maiores custos de produção devido às medidas corretivas que deverão ser tomadas. Portanto, é melhor evitar as emissões que contribuem para o aquecimento global do que ter que lidar com a maior intensidade dos impactos negativos do aquecimento.

Deve-se lembrar que a produção leiteira brasileira está baseada, predominantemente, em pastagem. Este sistema de produção é mais suscetível aos efeitos das variações meteorológicas, portanto mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas. O sistema a pasto concentra pequenas e médias propriedades, com baixa escala de produção e, mais frequentemente, reduzida capacidade de investimento em possíveis práticas e tecnologias adaptativas e mitigadoras aos efeitos das mudanças climáticas.

O IPCC (2014) cita que a adaptação às mudanças climáticas pode envolver ações nas dimensões sociais, econômicas e ecológicas. O objetivo da adaptação é reduzir os danos causados pelas mudanças climáticas. Nesse processo ajustam-se práticas, reduz-se a vulnerabilidade do sistema produtivo e estabelecem-se processos para antecipar e responder a efeitos adversos. A mitigação refere-se a ações ou atividades que limitam as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e/ou reduzem seus níveis na atmosfera.

Então, na propriedade leiteira deve-se ter ações de adaptação e mitigação.

O planejamento da adaptação e da mitigação deve levar em conta o momento da ação. Ao agir muito tarde, corre-se o risco de ter impactos negativos maiores.

Sempre existirão barreiras (que podem ser superadas com determinadas práticas e tecnologias) e limites (que são intransponíveis) se os efeitos climáticos se tornarem muito rápidos ou severos.

Os efeitos das mudanças climáticas já fazem parte da rotina do produtor de leite. Por isso, deve-se aplicar todos os conhecimentos disponíveis para ter sistemas de produção mais adaptados e reduzir as emissões de GEE da atividade.

Mudanças climáticas e a propriedade leiteira: opções de adaptação e mitigação

É urgente a transição para sistemas produtivos em consonância com a natureza. Deve-se reduzir ao máximo os impactos negativos das mudanças climáticas. É tempo de rever as práticas e manejos amplamente disseminados que visam, majoritariamente, aumento dos índices de produção e produtividade. Essa abordagem torna os sistemas produtivos extremamente frágeis aos impactos climáticos.

Se a adaptação e a mitigação não fizerem parte do cotidiano dos produtores(as), haverá frequentes e intensos impactos negativos na qualidade de vida das pessoas, no bem-estar dos animais e no desempenho produtivo e econômico da propriedade.

No Quadro 1, apresentam-se práticas e tecnologias que podem ser utilizadas pelos produtores(as) para adaptar a propriedade às mudanças climáticas e/ou mitigar seus efeitos. As alternativas envolvem desde ações de custo zero ou baixo, sendo necessário apenas uma mudança na rotina de manejo ou uma adaptação de estrutura, até ações que demandam investimentos.

Tabela 1. Práticas e tecnologias para adaptação e mitigação aos efeitos das mudanças climáticas na propriedade rural.

Práticas e Tecnologias	A ¹	M ²	Benefícios	Como fazer
Uso do solo e culturas agrícolas e de proteção				
Cobertura de solo e plantio direto	x	x	Redução da evaporação na superfície do solo. Manutenção da temperatura e aumento da umidade do solo. Contribui para a não degradação do solo e manutenção da sua fertilidade (Vilanova et al., 2023; São Paulo, 2024).	Realizar o plantio de plantas de serviço que produzirão biomassa para a cobertura do solo, como leguminosas para a adubação verde ou cultivos de cobertura. Utilizar restos de poda de vegetação (Vilanova et al., 2023).
Adição de matéria orgânica no solo	x	x	Aumenta a capacidade de armazenamento de água no solo, a resistência às secas e o estoque de carbono no solo, além de melhorar sua fertilidade (Altieri, 2013; Vilanova et al., 2023).	Adição de resíduos vegetais e animais, compostos orgânicos, uso de cultivos de cobertura e adubação verde (Vilanova et al., 2023).
Controle biológico	x	x	Controle biológico de insetos indesejados [4], que podem aumentar sua população com o aumento da temperatura (Vilanova et al., 2023).	Garantir diversidade de animais e plantas, promovendo equilíbrio ecológico (Instituto... , 2015).
Pastagens integradas com árvores	x	x	Melhora do microclima local, diminui as altas flutuações de temperatura, aumenta o conforto térmico dos animais e reduz a evaporação de água do solo (Vilanova et al., 2023). Maior autossuficiência, menor vulnerabilidade ao mercado (Martin; Magne, 2015) e maior autonomia (Perrin et al., 2020). No período de crescimento das árvores, a sombra deve ser garantida de forma artificial.	Organização de árvores em linhas alternadas com pastagem para o gado Altieri, 2013, A formação de cordões de contorno de árvores nas áreas produtivas (Moreira, 2016).
Policultivo de espécies adaptadas à região da propriedade	x		Melhora da saúde do solo (São Paulo, 2024), maior diversidade produtiva, sistema mais adaptado a eventos adversos (Altieri, 2013; Distel et al., 2020; Vilanova et al., 2023; Sena et al., 2024). Contribui para segurança alimentar da propriedade (Distel et al., 2020; Tresia et al., 2021; Sena et al., 2024).	Pastagens com diferentes espécies de gramíneas, arbustos e árvores Altieri, 2013. Produtos e coprodutos cultivados podem ser utilizados na alimentação dos animais (Tresia et al., 2021).
Uso de espécies vegetais adaptadas ao clima regional e ao bioma	x		Espécies e variedades adaptadas ao local e bioma toleram maior variação de condições climáticas, com melhor produção e rendimento sob condições de estresse hídrico e outras adversidades, como insetos indesejados. Plantas espontâneas devem receber atenção pois, além de serem adaptadas àquele contexto, podem ser uma boa fonte de nutrientes (Distel et al., 2020; Sena et al., 2024).	O cultivo de uma diversidade de vegetais na propriedade permite que seus produtos possam ser utilizados na alimentação dos animais (Tresia et al., 2021).
Barreiras naturais com plantas resistentes ao fogo e aceiros	x		Dificultam a propagação do fogo para outras áreas, protegendo áreas de cultivo e de preservação (Souares, 2000; Crea-SP, 2024).	Fazer manutenção periódica de aceiros, não deixar vegetação ou qualquer material acumulado que permita a propagação do fogo (Souares, 2000; Crea-SP, 2024).
Quebra-vento	x	x	Manutenção da umidade do solo, redução do ataque de doenças e insetos prejudiciais às plantações, abrigo para pássaros e insetos benéficos (controle biológico e abelhas), proteção de animais jovens mais sensíveis às doenças respiratórias, redução das quedas de temperatura nas instalações, lavouras e piquetes, aumento do rendimento de produção das plantas e animais (Instituto... , 2015; Meira et al., 2,16). Podem ser fornecedoras de adubação verde e cobertura para o solo das faixas de cultivo, e forragem para os animais, principalmente em escassez de pasto. Ainda podem produzir produtos de interesse econômico, como frutas, castanhas, óleos etc. (Instituto... , 2015).	O plantio das espécies a serem utilizadas como quebra-ventos deve ser realizado de forma perpendicular à direção dos ventos predominantes. A altura deve ser de, no mínimo, duas a três vezes superior à cultura a ser protegida, e seu comprimento deve ter, no mínimo, 20 vezes a sua altura. O quebra-vento deve ter penetrabilidade de vento entre 30 a 40%, protegendo uma área maior, cerca de 25 vezes a sua altura (Meira et al., 2,16).

Tabela 1. continuação.

Práticas e Tecnologias	A ¹	M ²	Benefícios	Como fazer
Uso do solo e culturas agrícolas e de proteção				
Recuperação de áreas degradadas	x	x	Plantio de árvores (Vilanova et al., 2023), aumento da permeabilidade do solo, da capacidade de retenção de água e da retenção de carbono no solo (Três; Reis, 2009). Diminui pressão para o desequilíbrio de populações de insetos e microrganismos indesejados (Altieri, 2013). Auxilia na prevenção contra incêndios (Souares, 2000).	Cada área a ser recuperada tem suas particularidades quanto ao histórico de uso da terra e o que se deseja para área a ser recuperada. Por isso, o profissional agropecuário deve ser consultado para orientar como fazer a recuperação.
Corte de árvores com risco de queda	x		Evitar acidentes com humanos e animais. Preservar o patrimônio físico (cercas, instalações, etc.). A madeira poderá ser utilizada em atividades da propriedade, para isso ela deve ter a devida qualidade e isto estar legalmente permitido.	Profissional habilitado ou técnico do poder público deve realizar a avaliação quanto a possibilidade de corte e o produtor(a) deve ter uma autorização para realizar o corte (International..., 2013; Instituto..., 2023).
Equipamentos e estruturas				
Cochos e bebedouros bem dimensionados e posicionados na sombra	x		Possibilidade de alimentação e ingestão de água sob a sombra durante os períodos mais quentes do dia (Coimbra et al., 2012; Zopollatto, 2022). Bebedouros maiores garantem maior ingestão de água (Machado Filho et al., 2004; Coimbra et al., 2012). Oferta de água à vontade em todos os bebedouros disponíveis.	A oferta de água deve ocorrer em bebedouros e não em corpos d'água naturais. Vacas ingerem mais água em bebedouros largos e altos (139 cm x 95 cm com 60 cm de altura) (Machado Filho et al., 2004).
Realizar a(s) ordenha(s) em horários de temperatura mais fresca (primeiras horas da manhã e ao final da tarde)	x		Melhoria das condições de trabalho do ordenhador(a). Diminuição do estresse térmico de humanos e animais (Rosa, 2023). Impactos positivos na produção de leite.	Não sobrepor horários de ordenha com os períodos de maior intensidade de pastejo (ao amanhecer e ao entardecer) (Rosa, 2023).
Uso de técnicas construtivas que prezem pela qualidade do trabalho e conforto dos animais	x		Maior conforto térmico para humanos e animais. Menor risco de acidentes de trabalho e com os animais. Uso de recursos locais menor custo e geração de entulho, racionalização do consumo de energia e menor dependência de transporte (Brandão et al., 2009). Diminuição do valor investido (Zopollatto, 2022).	Avaliar as possibilidades construtivas e de materiais em conjunto com o profissional (Brandão et al., 2009). Uso de telhas térmicas ou de cerâmica auxiliam no conforto térmico (Silva et al., 2024).
Sombreamento e resfriamento	x		Melhora do conforto térmico e das condições de bem-estar dos animais.	Sombreamento com componentes naturais ou artificiais. Instalação de sistema de resfriamento (aspersores e/ou ventiladores) (Zopollatto, 2022).
Sistema híbrido de energia	x	x	Maior autonomia energética da propriedade. Maior resiliência a eventos de falta de energia e de instabilidade da rede (Maia et al., 2021; Zopollatto, 2022). Redução dos gastos com pagamento de energia da rede. Aproveitamento de resíduos para geração de energia (biodigestores) (Diaconia, 2024).	Mesclar as fontes de energia da rede com solar e/ou de biomassa (resíduos).
Criação dos animais em sistemas a pasto	x	x	Menor dependência de energia e insumos externos. Maior autossuficiência, menor vulnerabilidade ao mercado (Martin; Magne, 2015) e maior autonomia (Perrin et al., 2020).	Profissional agropecuário deve ser consultado para orientar como obter e realizar o correto manejo das pastagens.

Tabela 1. continuação.

Práticas e Tecnologias	A ¹	M ²	Benefícios	Como fazer
Animais				
Criação de animais tolerantes ao calor	x		Maior tolerância e adaptação aos climas tropicais e a aumentos de temperatura (Baccari Junior, 2015). Menor morbidade (Baccari Junior, 2015). Maior rusticidade dos animais.	Escolha de animais com genética tolerantes ao calor (Baccari Junior, 2015). Animais mais produtivos são mais sensíveis ao estresse térmico devido a sua maior taxa metabólica de manutenção (Baccari Junior, 2015).
Raças de dupla aptidão	x		Potencial de diminuir a emissão de gases de efeito estufa (Zehetmeier et al., 2012; Hietala et al., 2014).	
Proteção da biodiversidade genética	x	x	Aumento da capacidade de animais e plantas a lidar com diversas perturbações (Três; Reis, 2009; Altieri, 2013; Brito et al., 2021).	Seleção genética focada em diversas características, como rusticidade e tolerância ao calor, e manter a população reprodutora suficientemente grande (Brito et al., 2021).
Prevenção a carcinomas	x		Relação entre desenvolvimento de carcinoma, características fenotípicas e incidência de raios solares (Ramos et al., 2007).	Animais com pele, pelos e mucosas pigmentados (Ramos et al., 2007; Carvalho et al., 2012), criação de animais sem predisposição genética [30] em ambientes com sombreamento adequado. Não permitir o acesso dos animais a samambaias (Carvalho et al., 2012; Tessele; Barros, 2016).
Nutrição de precisão		x	Maximização do aproveitamento dos nutrientes dos alimentos e diminuição da excreção de nutrientes nas fezes e urina (International..., 2015). Redução do custo de produção e de investimento na estrutura de manejo de dejetos.	Consultar profissional habilitado.
Dietas que considerem o uso coprodutos regionais		x	Menor dependência de transporte de longa distância, menor emissão de gases de efeito estufa pela queima de combustíveis fósseis (International..., 2015). Redução do custo de produção.	Consultar profissional habilitado.
Gestão				
Realização de rotinas externas em horários de menor temperatura	x		Menor exposição à radiação solar e maior conforto térmico para realização das atividades (Brasil, 2016). Redução de riscos de afastamento das atividades por doenças e/ou indisposições. Pessoas com mais de 60 anos apresentam maior vulnerabilidade as altas temperaturas.	Oferta de Equipamentos de Proteção Individual para proteção ao calor (ex. chapéus, roupas de manga longa, protetor solar, etc.). Oferta de água para consumo humano em vários pontos da propriedade.
Plano de ação para casos de acidentes e desastres	x		Redução das consequências negativas de acidentes e desastres. Aumento da chance de sobrevivência e manutenção da saúde e bem-estar das pessoas e animais (Baccari Junior, 2015).	Ações para prevenção e mitigação de acordo com a situação de risco. Materiais para ações preventivas em casos de alagamento e incêndio. Propriedade deve ter lista de contatos de emergência em local de fácil acesso e de conhecimento de todos.

¹ A= adaptação às mudanças climáticas.

² M = mitigação aos efeitos das mudanças climáticas.

Práticas e tecnologias que diminuem a dependência de insumos externos ou o consumo de combustíveis fósseis contribuem para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, conferem maior autonomia produtiva à propriedade frente aos

fatores externos a ela. Autonomia alimentar pode significar menor consumo de ingredientes como soja e milho que têm preços mais vulneráveis aos fatores climáticos. A autonomia energética da propriedade deve ser considerada pela matriz brasileira ser muito dependente do regime de chuvas.

Mudanças climáticas e disponibilidade de água: opções de adaptação

A atividade leiteira pode impactar negativamente o ciclo hidrológico pela má gestão do recurso natural, esgotando as fontes de água; pela extração excessiva de água, que acelera o esgotamento das fontes superficiais e subterrâneas; pela poluição pontual e difusa, que torna a água inutilizável se não for tratada.

O ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação de energia terrestre. Com o aquecimento da atmosfera, espera-se, entre outras consequências, mudanças nos padrões da precipitação (alterações na intensidade e na variabilidade), o que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da oferta hídrica.

Mais da metade da produção mundial de alimentos está em áreas onde o armazenamento total de água está projetado para diminuir (GCEW, 2024). Isso é consequência das mudanças no uso da terra e do aquecimento global que desestabilizam o ciclo da água e os padrões de precipitação. Entre os impactos, projeta-se que as taxas de crescimento na América do Sul sejam reduzidas em 0,7% ao ano.

As condições de seca agrícola e eventos extremos de precipitação estão se intensificando. Os dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) sobre a umidade média do solo apontam decaimento da umidade na maioria dos países da organização no período de 2019-2023. Essas condições de seca podem ser particularmente agudas no nível subnacional e durante estações específicas, gerando grandes consequências sociais e econômicas. De acordo com estudos de Ning et al. (2023), baseado em diferentes cenários, um quarto da superfície terrestre ficará permanentemente seca ou permanentemente úmida até 2050. Os prognósticos

alertam sobre o acesso futuro à água e sobre as condições adversas para produção de alimentos nas regiões afetadas.

Todas as regiões leiteiras do país estão e estarão sujeitas aos efeitos das mudanças climáticas. Os impactos projetados variam de acordo com a região, mas no geral concordam com aumentos na temperatura e na evapotranspiração. A elevação da temperatura e da evapotranspiração poderá acarretar, entre outros efeitos, maior necessidade de água para irrigação e para o consumo humano e de animais em determinados períodos do ano (Brasil, 2024).

Mudanças no clima que alterem o regime de chuvas e o processo de evaporação provocam o aumento da ocorrência de eventos hidrológicos extremos, como inundações e longos períodos de seca. As incertezas oriundas da mudança climática incidirão tanto do lado da oferta como do lado da demanda hídrica.

Deve-se preparar para uma rotina produtiva mais desafiadora, tanto pela falta como para o excesso de água, bem como utilizar de todas as práticas e tecnologias disponíveis para se ter sistemas produtivos mais adaptados aos impactos das mudanças climáticas.

No Quadro 2, apresentam-se práticas e tecnologias que podem ser utilizadas pelos produtores(as) para adaptar a propriedade aos efeitos das mudanças climáticas nos recursos hídricos.

O leite contém em média 87% de água. Portanto, sua produção depende da disponibilidade de água em quantidade suficiente e com qualidade adequada. O clima está mudando e, consequentemente, a oferta de água nas várias regiões brasileiras acompanha esta mudança. A produtor(a) de leite deve estar preparado para os desafios hídricos e climáticos que se colocam, caso contrário, o principal componente do leite será cada vez mais escasso.

Quadro 2. Práticas e tecnologias para adaptação hídrica aos efeitos das mudanças climáticas

Prática(s)/Tecnologia(s)	Efeito(s)	Benefício(s)
Nutrição balanceada dos animais	Preciso consumo de água de dessedentação	- Necessidade hídrica dos animais de acordo com seu estado fisiológico e desempenho produtivo - Redução da carga poluidora e do custo do manejo dos resíduos
Medição dos consumos de água (instalação de hidrômetros nos pontos de consumo)	Ter conhecimento dos consumos de água por tipo de uso	- Melhor gestão do recurso natural - Propriedade mais adaptada a eventos extremos desde que haja ganhos de eficiência hídrica - Aumento da segurança hídrica pela redução da captação e consumo das fontes de água da propriedade desde que haja ganhos de eficiência hídrica
Reuso de água	Redução da captação de água de fontes superficiais e subterrâneas	- Propriedade mais adaptada a eventos de seca - Aumento da segurança hídrica da propriedade
Reuso do efluente tratado	Redução da captação de água de fontes superficiais e subterrâneas	- Fertirrigação de áreas agrícolas > redução do consumo de fertilizantes químicos - Propriedade mais adaptada a eventos de seca - Aumento da segurança hídrica da propriedade
Captação de água da chuva	Redução da captação de água de fontes superficiais e subterrâneas	- Adição de fonte de água alternativa (armazenada na cisterna) as fontes da propriedade - Propriedade mais adaptada a eventos de seca - Aumento da segurança hídrica da propriedade
Oferta de sombra (artificial e/ou natural) aos animais	Animais sob condições de melhor conforto térmico por não estarem expostos a radiação solar direta	- Melhor condição de bem-estar dos animais - Redução do consumo de água pelos animais - Aumento da produção de leite
Sistema de umidificação nas instalações	Redução da temperatura e aumento da umidade do ar	- Ambiente mais confortável para os animais - Aumento da produção de leite
Sistema de ventilação nas instalações	Aumento da taxa de renovação do ar favorecendo a perda de calor pelos animais	- Ambiente mais confortável para os animais - Aumento da produção de leite

Quadro 2. Práticas e tecnologias para adaptação hídrica aos efeitos das mudanças climáticas

Prática(s)/Tecnologia(s)	Efeito(s)	Benefício(s)
Raspagem do piso para retirada das fezes antes da lavagem	Menor consumo de água na lavagem dos pisos	• Menor geração de volume de dejetos • Redução do custo do manejo dos resíduos • Propriedade mais adaptada a eventos de seca • Aumento da segurança hídrica da propriedade
Lavagem dos pisos com água sob pressão	Menor consumo de água na lavagem dos pisos	• Menor geração de volume de dejetos • Redução do custo do manejo dos resíduos • Propriedade mais adaptada a eventos de seca • Aumento da segurança hídrica da propriedade
Conservação do solo	Melhoria da saúde do solo e seus atributos físicos, químicos e microbiológicos	• Aumento do teor de matéria orgânica no solo • Melhoria da retenção de água pelo solo • Aumento da biodiversidade do solo • Aumento do potencial de sequestro de carbono
Drenagem das áreas da propriedade	Evitar o acúmulo de água nos terrenos, áreas de descanso, caminhos, baixadas, estradas, etc.	• Propriedade mais adaptada a chuvas extremas • Oferta de condições ideais sanitárias e de bem-estar dos animais • Redução do risco de acidentes com humanos e animais
Possuir rotina de identificação de vazamentos	Reduzir a perda de água	• Economia de água • Conservação de equipamentos, instalações e áreas da propriedade
Possuir plano de emergência de riscos hídricos	Reduzir o impacto de eventos hídricos e climáticos extremos	• Promoção da cultura de prevenção • Aumentar a resiliência da propriedade a eventos extremos • Aumento da segurança hídrica da propriedade
Observação frequente dos animais	Identificar sinais de estresse e outros efeitos adversos aos animais	• Proteção dos animais a condições adversas
Capacitação da mão-de-obra	Uso eficiente da água no sistema de produção	• Redução na necessidade hídrica da propriedade • Melhoria da eficiência hídrica (L água/L de leite) • Impactos positivos na economia da propriedade (ex. redução do consumo de energia, etc.)

Mudanças climáticas e o manejo de dejetos: opções de adaptação e mitigação

É fato que quando se trata de ruminantes a maior parte da emissão de GEE vem do metano emitido naturalmente pelo animal, o chamado metano entérico. Os resíduos pecuários são a segunda maior fonte de emissão de GEE. Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (OC, 2024), considerando as emissões totais da produção animal brasileira em 2023, a emissão entérica representou 94% e a emissão via resíduos 6%. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2018) China, Brasil, Índia e Estados Unidos estão entre os países que mais emitem GEE relacionado aos resíduos animais.

Os resíduos gerados pela atividade na forma de esterco, urina e dejetos (mistura destes dois com água e restos de ração, pelos, etc.) são emissores de GEE, na forma de gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Ao longo de 100 anos, o CH_4 é 28 vezes mais potente que o dióxido de carbono; no decorrer de 20 anos, o CH_4 é 84 vezes mais potente que o CO_2 (IPCC, 2014). O N_2O é 265 vezes mais potente que o CO_2 (em 100 anos, IPCC, 2014).

Estes gases são emitidos no transporte e armazenamento dos resíduos em lagoas/esterqueiras, no tratamento por biodigestores e compostagem e na aplicação dos resíduos no solo. Portanto, o correto manejo dos resíduos deve ser parte da contribuição da atividade leiteira para redução do potencial emissor de gases do efeito estufa.

No dejetos leiteiros cerca de 90% é umidade e 10% são sólidos, sendo parte destes sólidos composto de sólidos voláteis (SV) e vários compostos de nitrogênio (N). Alguns dos SV são precursores de CH_4 e alguns dos compostos de nitrogênio são precursores de N_2O . Condições de manejo mais anaeróbicas (baixo oxigênio), como as encontradas nas lagoas de tratamento, causam maior produção de CH_4 . Condições mais aeróbicas (alto oxigênio), impedem a produção de CH_4 . O oposto é verdadeiro para o N_2O se o dejetos é armazenado de forma

mais anaeróbia, o N não se converte em N_2O ; se armazenado em condições aeróbicas (por exemplo, compostagem), mais N_2O é liberado. O nitrogênio das excretas pode se tornar N_2O de forma direta ou indireta.

Tanto a forma quanto o volume do esterco têm implicações diretas nas emissões de GEE. Resíduos sólidos têm menos água disponível e, geralmente, são armazenados em leiras onde ocorre algum tipo de aeração, estes dois aspectos combinados, baixa umidade e aeração, reduzem as emissões de CH_4 . Resíduos líquidos armazenados por longo tempo têm implicações nas emissões de GEE e amônia.

O potencial de emissão também é influenciado por aspectos climáticos (temperatura e precipitação) e pelas condições sob as quais o resíduo é manejado, incluindo o nível de oxigênio, teor de umidade e valor de pH. A composição dos resíduos e sua disponibilidade em nutrientes também determinará um maior ou menor potencial de emissão de GEE.

Dependendo da prática de manejo de resíduos e do tamanho da fazenda, Aguirre-Villegas e Larson (2017) modelaram a partir de informações de fazendas americanas as emissões de GEE por tonelada de dejetos. Estas variaram de 2,2 a 12 kg CO_2 -eq (kg em equivalentes de dióxido de carbono) na coleta dos resíduos, 0,2 a 2,4 kg CO_2 -eq no transporte, 16 a 84 kg CO_2 -eq no armazenamento e 16,0 a 33,5 kg CO_2 -eq na aplicação no solo. Nas fazendas pequenas (0-99 Unidades Animais) e médias (10-199 UA) as emissões ocorreram, principalmente, no uso do resíduo como fertilizante, porque nestas fazendas predominou o resíduo em estado sólido. Nas grandes fazendas a maior emissão se deu no sistema de armazenamento/tratamento do resíduo, porque predominou o resíduo em estado líquido.

Na Tabela 1 apresentam-se as práticas e tecnologias mais adaptadas à realidade produtiva brasileira e ao potencial de redução de GEE.

Ainda há muito a saber sobre os benefícios das práticas e tecnologias para a redução das emissões de GEE dos resíduos e sobre o efeito da combinação destas práticas e tecnologias.

Tabela 1. Práticas e tecnologias de manejo dos resíduos que podem reduzir as emissões de GEE.

Prática/Tecnologia	Potencial de redução de CH ₄	Potencial de redução de N ₂ O	Efetividade	Recomendado
Redução de proteína da dieta	?	médio	Sim (N ₂ O e NH ₃)	Sim (N ₂ O e NH ₃)
Redução na intensidade de pastejo	?	alto	Sim (N ₂ O)	Sim (N ₂ O)
Separação de fases do dejetos (sólido/líquido)	alto	baixo	Sim (CH ₄)	Sim (CH ₄)
Agitação da lagoa	alto	Aumenta a emissão	Sim (CH ₄)	Sim (CH ₄)
Redução do tempo de armazenamento na lagoa	alto	alto	Sim (N ₂ O e CH ₄)	Sim (N ₂ O e CH ₄)
Crosta na superfície da lagoa	alto	Aumenta a emissão	Sim (CH ₄ e NH ₃)	Sim (CH ₄)
Digestão anaeróbia	alto	alto	Sim (N ₂ O e CH ₄)	Sim (N ₂ O e CH ₄)
Compostagem	alto	?	Sim (CH ₄)	Sim (CH ₄)
Aplicação do resíduo no solo respeitando o balanço de nutrientes	?	alto	Sim (N ₂ O e NH ₃)	Sim (N ₂ O e NH ₃)

A amônia (NH₃) não é um gás de efeito estufa, mas através de reações químicas na atmosfera pode ser convertida em N₂O. Isto é tido como um processo indireto de emissão de óxido nitroso.

? Não conclusivo (a ciência ainda não tem resultados que comprovem que a prática/tecnologia promove a redução da emissão do gás de efeito estufa).

Fonte: Adaptado de Montes et al. (2013).

Estudo de Jayasundara et al. (2016) indica que o potencial de mitigação de GEE da crosta na lagoa/esterqueira pode ser variável. O óxido nitroso pode ser emitido a partir das crostas de esterco que se formam na superfície das lagoas. Quando nenhuma crosta é formada, assume-se nula ou baixa emissão de N₂O, mas estudos em condições tropicais ainda precisam ser feitos. Utilizar aeradores mecânicos na lagoa também é uma forma de impedir a formação das crostas. No entanto, pesquisas ainda são necessárias para quantificar a liberação de CH₄ e N₂O durante a agitação. A formação de crosta natural durante o armazenamento cria condições aeróbias na superfície e reduz a velocidade do vento, diminuindo as emissões de CH₄ e NH₃, mas aumentando as emissões de N₂O (Rotz et al., 2022). O metano pode ser metabolizado na crosta por bactérias. No entanto, as condições da crosta também podem aumentar as emissões de N₂O.

Na Tabela 2 tem-se as oportunidades e considerações de algumas práticas e tecnologias de redução de GEE. As práticas e tecnologias propostas podem ter impactos positivos além da redução da emissão de GEE como: redução do

consumo de água e geração de dejetos, retenção de nutrientes no sistema de produção para uso como fertilizante, redução de odores, geração de eletricidade, bem como contribuir para segurança ambiental da fazenda.

Estima-se que a separação pode reduzir as emissões de GEE em 20%, mas é difícil quantificar o benefício da separação devido à variedade de situações nas fazendas e das práticas de manejo dos resíduos (Jayasundara et al., 2016). Existem diversas tecnologias de separação dos dejetos como rampas, decantadores, peneiras, prensas, etc. As mais simples têm menor eficiência de separação, mas demandam menor investimento, nulo ou baixo consumo de energia e baixa qualificação da mão-de-obra. As mais avançadas, como peneiras e prensas, têm maior eficiência de separação, mas tem maior custo de investimento e manutenção, consomem energia elétrica e exigem mão-de-obra mais qualificada para o manejo.

As emissões de metano são maiores quando o resíduo é armazenado em anaerobiose por longos períodos (quinzenal, mensal) em comparação com curtos períodos de armazenamento (dias). Muitas

fazendas brasileiras estão aplicando os resíduos no solo com periodicidade diária ou semanal. Não visualizando a menor emissão de metano, mas porque, na maior parte das vezes, as lagoas estão subdimensionadas para o volume de dejetos gerado. A alta frequência de aplicação do resíduo no solo muitas vezes está acima das necessidades nutritivas da cultura vegetal, o que aumenta o risco ambiental da prática à contaminação das águas, solo e ar. O armazenamento por menos tempo pode reduzir a emissão de metano, mas aumenta em muito o risco ambiental do uso como fertilizante.

Existe diversos sistemas de produção no Brasil que, aliados às condições inerentes de cada região e da propriedade, fazem com que não se faça o adequado manejo de resíduos. O melhor sempre será aquele que mais se adequa às condições ambientais, econômicas e sociais da fazenda. Uma prática ou tecnologia de manejo pode ser indicada para pequena propriedade ou para um sistema menos intensificado, mas não para propriedades

maiores com alta escala produtiva, uma vez que a composição e volume de resíduos são diferentes. Portanto, as práticas e tecnologias apresentadas aqui são opções que profissionais e produtores têm para reduzir a emissão de gases do efeito estufa dos resíduos.

A única delas que será comum a todos os tipos de fazenda é a correta nutrição dos animais. Nutrir bem e de forma correta é parte essencial para qualquer sistema de produção com impactos positivos para economia da fazenda e para um mais viável manejo dos resíduos.

Culturalmente, manejar resíduos nunca foi uma atividade agradável para produtores(as) e colaboradores(as) das fazendas. Ninguém gosta de ficar lidando com algo que cheira mal, escorre, etc. Mas o resíduo é parte de qualquer atividade pecuária, como tal, deve ser manejado da melhor forma possível, pois isso contribuirá não só para o meio ambiente, mas para a saúde e bem-estar das pessoas e dos animais.

Tabela 2. Oportunidades e considerações sobre as práticas e tecnologias de redução de GEE via manejo dos resíduos.

Prática/Tecnologia	Oportunidades	Considerações
Manejo Nutricional	✓Aumentar a eficiência alimentar reduz a quantidade de esterco por unidade de leite. ✓Maior eficiência alimentar também reduzirá a quantidade de insumos utilizados o que reduzirá as emissões da produção da dieta (fertilização, colheita e transporte dos ingredientes). ✓Nutrir o animal de acordo com sua exigência de nitrogênio irá reduzir a presença do elemento nas excretas o que reduzirá a emissão de N_2O e a concentração de sólidos voláteis, reduzindo a emissão de CH_4.	• Resíduos ricos em nutrientes, emitirão mais. Por isso que há uma relação direta entre o manejo nutricional dos animais e o potencial de emissão dos resíduos. Dietas mal formuladas podem resultar em maior excreção de nutrientes, o que determinará resíduos com maior potencial de emissão. • Requer o correto planejamento do manejo nutricional. • Melhorar a qualidade da pastagem em termos de digestibilidade da forragem é uma maneira eficiente de diminuir as emissões de GEE entéricas e dos resíduos. No entanto, se esta melhoria significar o aumento da taxa de aplicação de fertilizantes nitrogenados, pode ter um impacto negativo na excreção urinária de N e, consequentemente, nas emissões de NH_3 e N_2O. Além disso, deve-se considerar as emissões resultantes da fabricação do fertilizante químico.
Raspar o piso para retirada do esterco antes de fazer a lavagem	✓Prática que contribui para que nas etapas de armazenamento/tratamento do dejetos se tenha menor emissão de GEE. ✓Faz com que o consumo de água na lavagem seja menor e, consequentemente, gere menor volume de dejetos. ✓Com a raspagem se tem um resíduo sólido que pode ser amontoado ou compostado para posterior uso como fertilizante.	• O produto da raspagem não deve ser misturado com o líquido da lavagem, mas sim amontoado em uma área ou passar por um processo de compostagem.

Tabela 2. continuação.

Prática/Tecnologia	Oportunidades	Considerações
Manejo Nutricional	✓Aumentar a eficiência alimentar reduz a quantidade de esterco por unidade de leite. ✓Maior eficiência alimentar também reduzirá a quantidade de insumos utilizados o que reduzirá as emissões da produção da dieta (fertilização, colheita e transporte dos ingredientes). ✓Nutrir o animal de acordo com sua exigência de nitrogênio irá reduzir a presença do elemento nas excretas o que reduzirá a emissão de N_2O e a concentração de sólidos voláteis, reduzindo a emissão de CH_4.	• Resíduos ricos em nutrientes, emitirão mais. Por isso que há uma relação direta entre o manejo nutricional dos animais e o potencial de emissão dos resíduos. Dietas mal formuladas podem resultar em maior excreção de nutrientes, o que determinará resíduos com maior potencial de emissão. • Requer o correto planejamento do manejo nutricional. • Melhorar a qualidade da pastagem em termos de digestibilidade da forragem é uma maneira eficiente de diminuir as emissões de GEE entéricas e dos resíduos. No entanto, se esta melhoria significar o aumento da taxa de aplicação de fertilizantes nitrogenados, pode ter um impacto negativo na excreção urinária de N e, consequentemente, nas emissões de NH_3 e N_2O. Além disso, deve-se considerar as emissões resultantes da fabricação do fertilizante químico.
Raspar o piso para retirada do esterco antes de fazer a lavagem	✓Prática que contribui para que nas etapas de armazenamento/tratamento do dejetos se tenha menor emissão de GEE. ✓Faz com que o consumo de água na lavagem seja menor e, consequentemente, gere menor volume de dejetos. ✓Com a raspagem se tem um resíduo sólido que pode ser amontoado ou compostado para posterior uso como fertilizante.	• O produto da raspagem não deve ser misturado com o líquido da lavagem, mas sim amontoado em uma área ou passar por um processo de compostagem.
Separar, antes do armazenamento/tratamento, a parte sólida da parte líquida do dejetos	✓Isso faz com que a parte sólida se decompõe, predominante, na presença de oxigênio, gerando menos metano. ✓Com a separação a maior parte do N estará na porção líquida que, se armazenada em anaerobiose, produzirá menor quantidade de N_2O, aumentando a disponibilidade do elemento para o uso do dejetos como fertilizante. Retem em torno de 50% dos sólidos voláteis na fase sólida, que se armazenada em aerobiose, reduz a emissão de metano.	
Armazenar menor quantidade de resíduos no verão	✓Altas temperaturas contribuem para maior degradação da matéria orgânica. ✓Fazendas que praticam o manejo de pastagem rotacionado têm alta demanda de nutrientes no verão, portanto é uma boa opção para ciclar os nutrientes dos resíduos.	• A viabilidade da prática deve estar conciliada com o uso destes como fertilizante, portanto, com o tempo certo de demanda de nutrientes pelas culturas vegetais, o que é mais fácil de ser feito na estação de primavera-verão. • No uso do resíduo como fertilizante, quando este é aplicado superficialmente no solo, pode haver a emissão de N_2O.

Tabela 2. continuação.

Prática/Tecnologia	Oportunidades	Considerações
Digestão anaeróbia	✓ A digestão anaeróbia reduz as emissões de odores e de gases de efeito estufa, a emissão de metano pode ser reduzida em até 50%. ✓ O processo gera energia renovável não intermitente na forma de biometano, tornando a fazenda energeticamente mais independente. ✓ Gera o digestato, líquido com poder fertilizante que substitui o uso de fertilizantes adquiridos comercialmente e as emissões de GEE associadas à produção e transporte destes fertilizantes. ✓ Pode ser tratado uma variedade de resíduos, incluindo dejetos animais em codigestão com outros resíduos vegetais, agroindustriais e alimentares. ✓ A cobertura da lagoa com a lona do biodigestor impede que a água da chuva se misture com o conteúdo da lagoa, reduzindo o tamanho do sistema e os custos transporte do dejetos. A cobertura evita que a chuva cause transbordamento da lagoa.	• Biodigestores têm elevado investimento financeiro e exigem mão de obra capacitada no manejo e na manutenção. • O sistema de digestão anaeróbica reduz significativamente as emissões de metano, mas a operação incorreta, a falta de manutenção e os vazamentos de CH_4 podem tornar o sistema um emissor líquido do gás. • O CH_4 é um gás altamente inflamável que requer considerações de segurança. • O processo produz sulfeto de hidrogênio (H_2S), um gás tóxico para humanos e animais e altamente corrosivo. Já existe tecnologia para retirada deste gás do biogás a custo acessível. • É necessário fazer a separação sólido/líquido antes do efluente entrar no biodigestor.
Compostagem	✓ Reduz as emissões de GEE, mas o valor exato da redução depende do tipo de resíduo e da garantia de que as condições operacionais mantenham a condição aeróbia durante todo o período de compostagem. ✓ Produto final o composto que tem valor fertilizante.	• A compostagem é um processo de decomposição aeróbio (presença de oxigênio) então é fundamental que este elemento esteja presente em todo processo, bem como a correta relação Carbono:Nitrogênio (25:1 – 30:1) da mistura e o teor de umidade da leira de compostagem. • No sistema de cama sobreposta (compost barn) o revolvimento diário da cama significa injetar oxigênio, evitando a formação de “bolsões” anaeróbios e, consequentemente, a emissão de metano.
Uso do resíduo como fertilizante	✓ O resíduo é uma fonte de água e nutrientes, portanto passível de ser utilizado na fertilização de áreas agrícolas. ✓ O uso correto dos resíduos como fertilizante propicia menor emissão de GEE. ✓ Além de fornecer nutrientes, os resíduos contribuem para melhoria da estrutura do solo, retenção de água e maior diversidade de organismos no solo. ✓ O resíduo pode substituir parcial ou totalmente a demanda de nutrientes da cultura, contribuindo para redução dos gastos com a compra de fertilizantes químicos.	• Após a aplicação, a emissão de CH_4 ocorre, principalmente, durante os primeiros dias. O N_2O é emitido de forma mais tardia, diretamente pelo resíduo e indiretamente pela volatilização e lixiviação do nitrogênio. • O excesso de resíduo disposto na superfície determina maior potencial de contaminação da água e do solo devido ao acúmulo de nutrientes. Portanto, a aplicação deve ser feita respeitando o princípio do balanço de nutrientes e aspectos sanitários (não acesso dos animais à área de pastagem após a aplicação). • Se a fazenda não tem a área necessária para receber a quantidade gerada de resíduo a opção é doar/vender o resíduo para fazendas próximas para que elas utilizem em suas áreas agrícolas.

A produção leiteira irá migrar devido aos efeitos das mudanças climáticas?

Pensando no futuro, uma pergunta que muitos se fazem é: *a produção de leite brasileira irá migrar das regiões mais afetadas pelos impactos das mudanças climáticas para regiões menos afetadas?*

Considerando um histórico mais recente, nos últimos 30 a 40 anos, migrações da produção animal têm ocorrido, principalmente no continente europeu e entre os estados americanos, devido a diferenças nas exigências ambientais entre os países da Comunidade Europeia e os países do leste europeu e entre os estados americanos (Palhares, 2021).

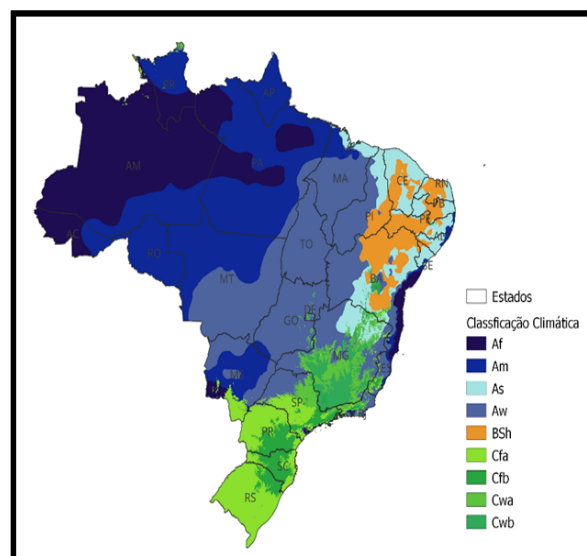
Também, no caso americano, nos últimos anos, observa-se migrações da produção leiteira de estados tradicionalmente produtores. Entre os motivos, as condições climáticas adversas (Mauger et al., 2014). Estudo do Departamento de Agricultura Americano (Key et al., 2014) estimou que os impactos das mudanças climáticas possam reduzir a produção de leite em 2030 entre 0,6% a 1,3% e que as maiores perdas ocorrerão nos estados do Sul, de clima mais quente.

Historicamente, Minas Gerais é o maior produtor de leite do país (média diária de 25.800 mil litros/dia) (IBGE, 2024). As regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul continuam destacando-se Minas Gerais, Goiás, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Sabe-se que a produção de leite está dispersa no território nacional, o que determina sua relevância social, mas se observa regiões de adensamento produtivo no Nordeste, em Minas, em Goiás e na porção Oeste da região Sul (Hott et al., 2024).

A Figura 1 mostra as zonas climáticas que ocorrem no território brasileiro. Entre as zonas climáticas há significativa variabilidade de umidade relativa e de temperatura, bem como entre regiões da mesma zona climática. Com isso, podemos inferir que os potenciais impactos das mudanças climáticas na redução da produção leiteira irão variar geograficamente, com maior intensidade nas zonas climáticas naturalmente mais quentes. Os três estados do Sul estão em zonas climáticas termicamente mais amigáveis à produção animal

No histórico mundial, migrações da produção animal acontecem somente quando todas as soluções propostas não tiveram os resultados esperados. Então, se chegarmos ao ponto de a

produção leiteira ser inviável em determinada região brasileira devido aos efeitos das mudanças climáticas é porque de duas, as duas: não fizemos o que deveríamos ter feito para reduzir as emissões de gases do efeito estufa e para adaptar e dar resiliência climática aos nossos sistemas de produção. De certa forma, produtores(as) de leite já estão fazendo a adaptação e mitigação dos GEE.



Debora Pantoja de Souza

Figura 2. Classificação climática de Köppen-Geiger do território brasileiro.

Af - Tropical sem estação seca, Am - Tropical de Monção, AS -Tropical com verão seco, Aw - Tropical com inverno seco, BSh - Semiárido de baixa latitude e altitude, Cfa - Subtropical clima oceânico úmido sem estação seca, Cfb - Subtropical clima oceânico com verão temperado, Cwa - Subtropical com inverno seco sem estação seca, Cwb - Subtropical com inverno seco com verão temperado

No histórico mundial, migrações da produção animal acontecem somente quando todas as soluções propostas não tiveram os resultados esperados. Então, se chegarmos ao ponto de a produção leiteira ser inviável em determinada região brasileira devido aos efeitos das mudanças climáticas é porque de duas, as duas: não fizemos o que deveríamos ter feito para reduzir as emissões de gases do efeito estufa e para adaptar e dar resiliência climática aos nossos sistemas de produção. De certa forma, produtores(as) de leite já estão fazendo a adaptação e mitigação dos GEE.

Referências

- AGUIRRE-VILLEGAS, H. A.; LARSON, R. A. Evaluating greenhouse gas emissions from dairy manure management practices using survey data and lifecycle tools. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 169-179, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.133>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Agroecologia y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. **Agroecologia**, v. 8, n. 1, p. 7-20, 2013. Disponível em: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- Baccari Junior, F. A vaca leiteira e as mudanças climáticas globais. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v.3, n.1,p.1-8>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- BRANDÃO, M. da G. de S.; SILVA, O. J. de C.; VAZQUEZ, E. G. Bioconstrução: aplicabilidade no meio rural como forma de desenvolvimento sustentável e possibilidades de uso no ambiente urbano. SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 2., 2009, Maringá, PR. **Anais...** Maringá, PR: UEM, 2009. Disponível em: http://www.dec.uem.br/eventos/ii_simpgeu/arquivos/Trabalhos/101.pdf. Acesso em: 11 dez. 2025.
- BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Impacto da mudança climática nos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/31604c98-5bbe-4dc9-845d-998815607b33/attachments/Mudancas_Climaticas_25012024.pdf. Acesso em: 15 dez. 2025.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. **greenhouse gas emissions? a system approach**. *Animal*, v. 6, n. 1, p. 154-166, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731111001467>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- BRITO, L. F.; BEDERE, N.; DOUHARD, F.; OLIVEIRA, H. R.; ARNAL, M.; PEÑAGARICANO, F.; SCHINCKEL, A. P.; BAES, C. F.; MIGLIOR, F. Review: genetic selection of high-yielding dairy cattle toward sustainable farming systems in a rapidly changing world. **Animal**, v. 15, 100292, supl. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100292>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- CARVALHO, F. K. de L.; DANTAS, A. F. M.; RIET-CORREA, F.; MIRANDA NETO, E. G. de; SIMÕES, S. V. D.; AZEVEDO, S. S. Fatores de risco associados à ocorrência de carcinoma de células escamosas em ruminantes e equinos no semiárido da Paraíba. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 32, n. 9, p. 881-886, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2012000900012>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- COIMBRA, P. A. D.; MACHADO FILHO, L. C. P.; HÖTZEL, M. J. Effects of social dominance, water trough location and shade availability on drinking behaviour of cows on pasture. **Applied Animal Behavior Science**, v. 139, n. 3-4, p. 175-182, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.04.009>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE SÃO PAULO (CREA-SP). **Aceiros contra as queimadas no Brasil**. 2024. Disponível em <https://www.creasp.org.br/noticias/aceiros-contra-as-queimadas-no-brasil>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- DIACONIA. **12 passos para construir um biodigestor sertanejo**. 3. ed. Diaconia, 2024. Disponível em: <https://composic.nyc3.cdn.digitaloceanspaces.com/2024/12/17/nHwdZ2sT4j.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2025.
- DISTEL, R. A.; ARROQUY, J. I.; LAGRANGE, S.; VILLALBA, J. J. Designing diverse agricultural pastures for improving ruminant production systems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 596869, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.596869>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Livestock and environment statistics: manure and greenhouse gas emissions: global, regional and country trends 1990-2018**. 2018. (Faostat Analytical Brief, 14). Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f0cebffd-725e-4d7a-8e14-3ba8fb1486a7/content>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- GLOBAL COMMISSION ON THE ECONOMICS OF WATER (GCEW). **The economics of water: valuing the hydrological cycle as a global common good**. 2024. Disponível em: <https://economicsofwater.watercommission.org/report/economics-of-water.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2025.
- HIETALA, P.; BOUQUET, P.; JUGA, J. Effect of replacement rate, crossbreeding and sexed semen on the efficiency of beef production from dairy herds in Finland. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 64, n. 4, p. 199-209, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/009064702.2015.1013978>. Acesso em: 15 dez. 2025.

HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JÚNIOR, W. C. P. de. **Distribuição da produção de leite no Brasil**. In: Anuário Leite 2024: avaliação genética multirracial. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2024. p. 12-13. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1164754/1/Anuario-Leite-2024.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa da Pecuária Municipal 2024**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas/brasil/2023>. Acesso em: 15 dez. 2025.

INSTITUTO BUTANTAN. **Saiba como identificar árvores doentes ou com risco de queda e como agir**. 2023. Disponível em: <https://butantan.gov.br/noticias/saiba-como-identificar-arvores-doentes-ou-com-risco-de-queda-e-como-agir>. Acesso em: 11 dez. 2025.

INSTITUTO GIRAMUNDO MUTUANDO. **Agroecologia**. Botucatu, SP: Instituto Giramundo Mutuando, 2015. (Cadernos Agroecológicos, 1). Acesso em 11 dez. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>. Acesso em: 9 dez. 2025. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: synthesis report**. Geneva: IPCC, 2014. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Acesso em: 9 dez. 2025.

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. A common carbon footprint approach for the dairy sector: the IDF guide to standard life cycle assessment methodology. **Bulletin of the International Dairy Federation**, n. 479/2015, 2015. Disponível em: https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/09/Bulletin479-2015_A-common-carbon-footprint-approach-for-the-dairy-sector.CAT.pdf. Acesso em: 15 dez. 2025.

INTERNATIONAL SOCIETY OF ARBORICULTURE. **Reconhecimento de riscos de árvores**. 2013. Disponível em <https://www.treesaregood.org/portals/0/docs/treecare/Reconhecimento%20de%20Riscos%20de%20Arvores.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.

JAYASUNDARA, S.; APPUHAMY, J. A. D. R. N.; KEBREAB, E.; WAGNER-RIDDLE, C. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian dairy farms and mitigation options: an updated review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 96, n. 3, p. 306-331, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjas-2015-0111>. Acesso em: 15 dez. 2025.

KEY, N.; SNEERINGER, S.; MARQUARDT, D. **Climate Change, Heat Stress, and U.S. Dairy Production**. Washington, DC: USDA, 2014. (Economic research report, 175). Disponível em: <http://www.ers.usda.gov/publications/err-economic-research-report/err175>. Acesso em: 9 dez. 2025.

LAI, E. N.; WANG-ERLANDSSON, L.; VIRKKI, V.; PORKKA, M.; van der ENT, R. J. Root zone soil moisture in over 25 % of global land permanently beyond pre-industrial variability as early as 2050 without climate policy. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 27, n. 21, p. 3999-4018, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-27-3999-2023>. Acesso em: 15 dez. 2025.

MACHADO FILHO, L. C. P.; TEIXEIRA, D. L.; WEARY, D. M.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; HÖTZEL, M. J. Designing better water troughs: Dairy cows prefer and drink more from larger troughs. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 89, n. 3-4, p. 185-193, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.07.002>. Acesso em: 10 dez. 2025.

MAIA, D. S.; GUIMARÃES, E. C.; REIS, O. A. de O.; PEIXOTO, P. C. Benefícios e eficiência econômica da energia solar fotovoltaica para uma pequena propriedade rural. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 82633-82643, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-461>. Acesso em: 10 dez. 2025.

MARTIN, G.; MAGNE, M. A. Agricultural diversity to increase adaptive capacity and reduce vulnerability of livestock systems against weather variability - a farm-scale simulation study. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 301-311, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.006>. Acesso em: 10 dez. 2025.

MAUGER, G. S.; BAUMAN, Y.; NENNICH, T.; SALATHÉ, E. P. Impacts of climate change on milk production in the United States. **The Professional Geographer**, v. 67, n. 1, p. 121-131, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/000330124.2014.921017>. Acesso em: 15 dez. 2025.

MEIRA, A. L.; LEITE, C. D.; MOREIRA, V. R. R. **Fichas agroecológicas: tecnologias apropriadas para agricultura orgânica: quebra-vento**. Brasília, DF: MAPA, [2016]. (Práticas conservacionistas, 2). Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-praticas-conservacionistas/2-quebra-vento-1.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.

MONTES, F.; MEINEN, R.; DELL, C.; ROTZ, A.; HRISTOV, A. N.; OH, J.; WAGHORN, G.; GERBER, P. J.; HENDERSON, B.; MAKKAR, H. P. S.; DIJKSTRA, J. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. a review of manure management mitigation options. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 11, p. 5070-5094, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6584>. Acesso em: 15 dez. 2025.

MOREIRA, V. R. R. **Fichas agroecológicas: tecnologias apropriadas para agricultura orgânica: cordões de contorno**. Brasília, DF: MAPA, [2016]. (Práticas conservacionistas, 2). Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-praticas-conservacionistas/4-cordoes-de-contorno-1.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC). **Emissões do Brasil têm maior queda em 15 anos**. 2024. Disponível em: <https://oc.eco.br/emissoes-do-brasil-tem-maior-queda-em-15-anos/>. Acesso em: 9 dez. 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **The climate action monitor 2024**. Paris: OECD Publishing, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/787786f6-en>. Acesso em: 9 dez. 2025.

PALHARES, J. C. P. Licenciamento ambiental da produção animal no Brasil. In: PALHARES, J. C. P. (ed.). **Produção animal e recursos hídricos: uso da água nas dimensões quantitativa e qualitativa e cenários regulatórios e de consumo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 39-95. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1137410/1/LicenciamentoAmbientaIProducao.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2025.

PERRIN, A.; MILESTAD, R.; MARTIN, G. Resilience applied to farming: organic farmers' perspectives. **Ecology and Society**, v. 25, n. 4, art. 5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5751/ES-11897-250405>. Acesso em: 10 dez. 2025.

RAMOS, A. T.; NORTE, D. M.; ELIAS, F.; FERNANDES, C. G. Carcinoma de células escamosas em bovinos, ovinos e equinos: estudo de 50 casos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 44, supl. 1, p. 5-13, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2007.26583>. Acesso em: 15 dez. 2025.

ROSA, D. R. da. **Relação entre horário de ordenha, comportamento alimentar e desempenho de vacas leiteiras**. 2023. 135 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

ROTZ, C. A.; CORSON, M. S.; CHIANESE, D. S.; MONTES, F. HAFNER, S. D.; BONIFACIO, H. F.; COINER, C. U. **The Integrated Farm System Model (IFSM): reference manual: version 4.7**. Washington, DC, USDA, 2022. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/80700500/Reference%20Manual.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo. **O papel da conservação do solo no contexto de eventos climáticos extremos**. 2024. Disponível em <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/informativo/defesa-agrosp-no-033-maio2024/o-papel-da-conservacao-do-solo-no-contexto-de-eventos-climaticos-extremos>. Acesso em: 10 dez. 2025.

SENA, B. DA S.; SOUZA, R. W. C.; PRADO, K. E. M.; NEVES, J. E. G.; BRUZIGUESSI, E. P.; OLIVEIRA, I. A. **Explorando alternativas alimentares sustentáveis: espécies nativas do Cerrado na alimentação de bovinos a pasto**. Cadernos de Agroecologia, v. 19, n. 1, 2024. Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/7747>. Acesso em: 10 dez. 2025.

SILVA, E. T. M. da; SOUZA, S. R. L. de; BUENO, L. G. de F.; AMORIM, C. A. de; MIRANDA, D. R. de. Eficiência térmica de telhas de diferentes materiais em instalações animais de produção. **Energia na Agricultura**, v. 39, p. 6-14, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2024v39p6-14>. Acesso em: 10 dez. 2025.

SOARES, R. V. **Novas tendências no controle de incêndios florestais**. Floresta, v. 30, n. 1/2, p. 11-21, 2000. Disponível em <https://doi.org/10.5380/rf.v30i12.2363>. Acesso em: 12 dez 2025.

TESSELE, B.; BARROS, C. S. L. Tumores em bovinos encontrados em abatedouros frigoríficos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 145-160, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2016000300002>. Acesso em: 15 dez. 2025.

TRÊS, D. R.; REIS, A. (coord.). **Perspectivas sistêmicas para a conservação e restauração ambiental: do pontual ao contexto**. Itajaí : Herbário Barbosa Rodrigues, 2009.

TRESIA, G. E.; PUASTUTI, W.; INOUNU, I. Carrying capacity for ruminant based on plantation byproducts and potency of enteric methane emission. **Wartazoa**, v. 31, n. 1, p. 23-36, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14334/wartazoa.v31i1.2723>. Acesso em: 10 dez. 2025.

United Nations Environment Programme (UNEP). **Emissions Gap Report 2019**. Nairobi: UNEP, 2019. Disponível em: <https://newclimate.org/sites/default/files/2019/11/EGR2019.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2025.

VILANOVA, C.; SIQUEIRA FILHO, J. A. de; OLIVEIRA, L. M. S. R. de; OLIVEIRA, L. S. de; FREITAS, H. R. **Agroecologia e resiliência às mudanças climáticas:** fundamentos e práticas o desenvolvimento territorial do seminário brasileiro. In: MARINHO, C. M.; FREITAS, H. R.; OLIVEIRA, L. M. S. R. de; OLIVEIRA, L. S. de. (org.). *Transição agroecológica e territorialidades: concepções, experiências e desafios*. Ponta Grossa, PR: Editora Atena, 2023. cap. 3. p. 45 – 67. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.0332305093>. Acesso em: 9 dez. 2025.

ZEHETMEIER, M.; BAUDRACCO, J.; HOFFMANN, H.; HEIBENHUBER, A. Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? a system approach. **Animal**, v. 6, n. 1, p. 154-166, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731111001467>. Acesso em: 15 dez. 2025.

ZOPOLLATTO, M. **Instalações para bovinocultura leiteira**. Curitiba, PR: SENAR AR/PR, 2022. Disponível em: https://www.sistemaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0342-Instalac%CC%A7o%CC%83es-para-Bovinocultura-Leiteira_web.pdf. Acesso em: 11 dez. 2025.

Embrapa Pecuária Sudeste

Rod. Washinton Luiz, Km 234
CEP 13560-970, São Carlos, SP
www.embrapa.br/pecuaria-sudeste
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente: *André Luiz Monteiro Novo*

Secretário-executivo: *Luiz Francisco Zafalon*

Membros: *Aisten Baldan, Gisele Rosso, Maria Cristina Campanelli Brito e Silvia Helena Picirillo Sanchez*

Circular Técnica 89

e-ISSN 1981-2086
Dezembro, 2025

Revisão de texto: *Gisele Rosso*

Normalização bibliográfica: *Aisten Baldan*
(CRB-1/2757)

Projeto gráfico: *Leandro Sousa Fazio*

Diagramação: *Maria Cristina Campanelli Brito*

Publicação digital: PDF



Ministério da
Agricultura e Pecuária

Todos os direitos reservados à Embrapa.