



Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas

Experiência brasileira

Vanderlise Giongo
Francislene Angelotti

Editoras Técnicas

Embrapa

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Semiárido
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas

Experiência brasileira

Vanderlise Giongo
Francislene Angelotti

Editoras Técnicas

Embrapa
Brasília, DF
2022

Embrapa Semiárido
Rodovia BR-428, Km 152, Zona Rural
CEP: 56302-970 Petrolina, PE
Fone: +55 (87) 3866-3600
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo
Embrapa Semiárido

Comitê Local de Publicações

Presidente

Nataniel Franklin de Melo

Secretária-executiva

Juliana Martins Ribeiro

Membros

Alineaura Florentino Silva

Clarice Monteiro Rocha

Daniel Nogueira Maia

Geraldo Milanez de Resende

Gislene Feitosa Brito Gama

José Maria Pinto

Magnus Dall'igna Deon

Paula Tereza de Souza e Silva

Pedro Martins Ribeiro Júnior

Rafaela Priscila Antônio

Sidinei Anuniação Silva

Responsável pela edição

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Coordenação editorial

Carla Alessandra Timm

Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial

Josmária Madalena Lopes

Revisão de texto

Francisca Elijani do Nascimento

Normalização bibliográfica

Márcia Maria Pereira de Souza

Projeto gráfico, diagramação e capa

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Fotos da capa

Magna Soelma Beserra de Moura

1ª edição

Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei n° 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas : experiência brasileira / Vanderlise Giongo, Francislene Angelotti, editoras técnicas. – Brasília, DF : Embrapa, 2022.

PDF (256 p.). : il. color.

ISBN 978-65-89957-12-6

1. Recursos naturais. 2. Agricultura sustentável. 3. Efeito estufa. 4. Políticas públicas. I. Giongo, Vanderlise. II. Angelotti, Francislene. III. Embrapa Semiárido.

CDD 551.68

Márcia Maria Pereira de Souza (CRB-1/1441)

© Embrapa, 2022

Estratégias de mitigação dos efeitos das alterações do clima no Semiárido brasileiro e adaptação dos sistemas produtivos pecuários

Tadeu Vinhas Voltolini
Gláyciane Costa Gois

Introdução

A produção animal contribui consideravelmente para a produção de alimentos, geração de empregos e inserção social e produtiva das famílias da região semiárida brasileira. Ademais, impulsiona as cadeias produtivas, com forte impacto na economia dessa região. No Brasil são estimadas 171,86, 13,77 e 8,25 milhões de cabeças de bovinos, ovinos e caprinos, respectivamente, distribuídas em 3,35 milhões de estabelecimentos agropecuários. Na região Nordeste do Brasil, o rebanho dessas três espécies equivale a 12,6%, 65,6% e 92,8% do plantel nacional, em que grande parte está concentrada no Semiárido (IBGE, 2017). Nessa região, há expressivo número de pessoas ocupadas em atividades agropecuárias, com forte presença de unidades de produção familiares. As diferentes condições edafoclimáticas, de relevo e de vegetação possibilitam a exploração de sistemas produtivos pecuários diversificados, com grande variedade de plantas forrageiras, em sua maioria adaptadas ao clima quente e seco, contribuindo com o suporte alimentar dos rebanhos. A vegetação nativa (Caatinga) também se constitui em recurso forrageiro, sendo utilizada como base alimentar para os rebanhos que, na maioria das situações, são criados de forma extensiva.

Possíveis alterações futuras do clima nessa região, como aumento da temperatura, redução da precipitação pluvial ou aumento da irregu-

laridade na distribuição das chuvas, poderão acentuar situações de deficiência hídrica com efeitos diretos na segurança alimentar, energética e hídrica, impactando na agricultura dependente de chuva e na pecuária. Nesse sentido, as estratégias de mitigação e adaptação são fundamentais para reduzir a vulnerabilidade nas unidades de produção, promovendo melhor eficiência produtiva. A maior produtividade e a geração de alimentos de origem animal estão alinhadas ao aumento das demandas alimentares em virtude do crescimento populacional. A melhoria na eficiência produtiva das atividades pecuárias, mesmo diante de alterações no clima, é decisiva para que os estabelecimentos agropecuários possam ter incremento na renda, além de contribuir no direcionamento para a produção pecuária sustentável.

Impactos das alterações climáticas nos sistemas produtivos pecuários

Os cenários das projeções globais sinalizam para regimes de alterações no clima futuro para diversas regiões brasileiras, entre elas o Semiárido. Os efeitos apontados para essa região são o aumento da ocorrência de eventos extremos, a redução da precipitação pluvial e o aumento da temperatura, do número de dias secos (Natividade et al., 2017), da evapotranspiração

e da deficiência hídrica, com reflexo direto no risco climático para a agricultura (Deressa et al., 2011), o que afetará a produção de alimentos e a renda das famílias, podendo contribuir para deslocamentos de pessoas do meio rural para os centros urbanos.

Está previsto também o aumento da frequência e da intensidade das secas, com consequente redução da disponibilidade de recursos hídricos, o que pode impactar na biodiversidade (Marengo et al., 2013), apesar de a vegetação da Caatinga ser formada por espécies adaptadas às condições regionais (Angelotti et al., 2011).

A população do Nordeste do Brasil também apresenta alta vulnerabilidade às mudanças climáticas, o que é acentuado pelos baixos índices de desenvolvimento social e econômico, considerando que grupos populacionais com piores condições de renda, educação e moradia podem sofrer maiores impactos das alterações no clima (Marques; Oliveira, 2016).

Nos sistemas de produção pecuários, as alterações no clima poderão afetar a produção e a qualidade dos alimentos e das forragens, a disponibilidade de água, o crescimento do animal, o desempenho produtivo e a reprodução. Além disso, essas alterações podem impactar no conforto térmico dos animais, aumentando o estresse calórico, assim como afetar o consumo e a utilização dos alimentos, com consequentes efeitos sobre a produção e a saúde do animal (Rojas-Downing et al., 2017).

Possíveis diminuições na produção de forragem e na capacidade de suporte dos pastos, em virtude de menores precipitações, prejudicarão a geração de produtos de origem animal, a ocupação de pessoas na agropecuária e a movimentação econômica promovida pelas cadeias produtivas pecuárias. As alterações na temperatura e na disponibilidade hídrica podem influenciar as áreas aptas ao cultivo de plantas forrageiras, o que, em maior ou menor grau, poderá promover considerável impacto social e econômico nos sistemas de produção.

Santos et al. (2011), em análise do cenário futuro da pecuária no Semiárido brasileiro, verifi-

caram que poderá haver redução da área apta para culturas forrageiras importantes como a palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) e o capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), o que poderá impactar consideravelmente na produção pecuária, sobretudo nas regiões mais secas, especialmente em decorrência da redução das precipitações e do aumento da temperatura.

Aliado a isso, poderão também ser observados maiores custos de produção em razão das menores produtividades e/ou da incorporação de custos advindos principalmente de maiores usos de insumos externos, como ingredientes para rações e suplementos oriundos de outras localidades, equipamentos para a irrigação e captação de água, além de instalações e equipamentos para amenizar os efeitos do estresse calórico nos animais.

Fontes de emissão de gases de efeito estufa e medidas de mitigação

As ações de mitigação abrangem as medidas que visam reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), além de aumentar o sequestro de carbono nos ecossistemas terrestres. Na produção pecuária, o adequado manejo e uso do solo e a redução da emissão de metano entérico são exemplos de medidas mitigadoras (Angelotti et al., 2011).

Os principais GEE são o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), os quais estão naturalmente presentes na atmosfera terrestre e contribuem no bloqueio da radiação infravermelha, sendo fundamentais para a manutenção da vida no planeta. Em decorrência das atividades antrópicas, o nível de concentração do CO₂, CH₄ e N₂O vem aumentando na atmosfera (Brasil, 2014).

Os sistemas produtivos pecuários contribuem com as emissões dos GEE de forma direta e indireta, como nas etapas de produção de insumos (Hristov et al., 2017), processamento e trans-

porte (Rojas-Downing et al., 2017). A emissão total de CO₂ no Brasil, no ano de 2010, foi estimada em 739.671 Gigagramas (Gg), dos quais 300.312 Gg foram a partir da mudança no uso da terra, equivalente a 40,6% da emissão total de CO₂, sendo essa atividade a de maior contribuição na emissão desses GEE (Brasil, 2014).

Óxido nitroso

O óxido nitroso (N₂O) vem da deposição dos dejetos nas pastagens, do manejo dos dejetos e da fertilização do solo. As emissões brasileiras no ano de 2010 foram da ordem de 560,49 Gg de N₂O, dos quais 452,45 Gg tiveram origem a partir dos solos agrícolas (80,7%), em que 282,31 Gg foram de emissões diretas; enquanto a emissão de N₂O do manejo de dejetos animal correspondeu a 2,6% do total (Brasil, 2014). Corrêa et al. (2016) destacaram como principais fontes de N₂O as emissões provenientes dos solos agrícolas, das excretas dos animais nas pastagens, do uso de fertilizantes nitrogenados, da aplicação de adubos orgânicos e da incorporação de resíduos agrícolas ao solo.

As deposições de urina e esterco nos pastos se constituem em importantes fontes de emissão de N₂O, principalmente pela desnitrificação do nitrogênio (N), em que o fornecimento de N e carbono (C) nos dejetos aumentam a atividade dos microrganismos, sendo essa atividade influenciada por diversos fatores como a umidade, o pH e a temperatura do solo.

As estratégias para mitigar as emissões de N₂O são aquelas que reduzem o teor de N nas excretas, promovendo melhor eficiência de uso do N contido na dieta do animal. A melhoria na eficiência de utilização do N presente na excreta e nos fertilizantes também é uma importante ferramenta para mitigar a emissão de N₂O (Klein; Ledger, 2005).

As pastagens naturais e cultivadas das regiões semiáridas apresentam, na maioria das situações, baixo teor de proteína, necessitando de maior aporte proteico para o animal por meio de suplementos, o que pode contribuir com o

aumento no consumo e na digestibilidade da forragem, melhorando o desempenho produtivo do animal. A adequação no teor proteico nas dietas dos animais, evitando a falta ou o excesso de N, reduz a excreção desse nutriente e melhora a eficiência produtiva do animal. Hou et al. (2015) efetuaram uma meta-análise sobre a mitigação de amônia, N₂O e CH₄, a partir de diferentes estratégias de manejo de dejetos utilizando os resultados de 126 estudos publicados e verificaram que a redução nos teores proteicos dos alimentos e a acidificação dos dejetos foram as medidas que promoveram maiores contribuições na mitigação da emissão de N₂O.

No manejo de dejetos, a redução no tempo de estocagem, a compostagem e o manejo da aplicação dos fertilizantes (incorporação, tempo de aplicação) são medidas que contribuem para diminuir a emissão do N (Gerber et al., 2013), evitam doses excessivas e promovem o parcelamento da aplicação, possibilitando uma economia e melhor eficiência dos insumos utilizados. A aplicação inadequada de fertilizantes nitrogenados pode provocar maior volatilização de amônia ou maiores perdas por lixiviação, consistindo em importantes vias de perdas do N, prejudicando a ciclagem de nutrientes, reduzindo a eficiência produtiva e promovendo prejuízos econômicos e ambientais.

O uso de leguminosas nas pastagens é uma fonte importante de N para as plantas, contribuindo ainda para melhorar o teor de proteína na dieta dos animais. Os microrganismos diazotróficos e promotores de crescimento também são potenciais ferramentas para aumentar o aporte de N para as plantas forrageiras, podendo reduzir a utilização de fertilizantes sintéticos.

Hungria et al. (2016) avaliaram a inoculação de *Azospirillum brasilense* em *Brachiaria* sp. (*Urochloa* sp.) e verificaram aumento na produção de forragem e na concentração de N na planta. Na região semiárida brasileira, respostas promissoras com o uso de microrganismos diazotróficos e promotores de crescimento em plantas forrageiras também têm sido obtidas (Antunes, 2016; Santana, 2016).

Dióxido de carbono

O dióxido de carbono (CO₂) tem origem na mudança de uso da terra, como na alteração de um pasto degradado para um com melhor manejo (Rosa et al., 2014). O sequestro de C no solo ocorre principalmente pela adição desse elemento pela síntese de compostos orgânicos no processo de fotossíntese das plantas. Por outro lado, as perdas de C no solo ocorrem pela perda de cobertura vegetal, pela liberação de CO₂ na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e da matéria orgânica e pelas perdas de C orgânico por lixiviação e erosão (Brandão et al., 2011).

Os estoques de C no solo e vegetação dependem das formas de manejo. Assim, a adoção de estratégias de manejo nas áreas de pastagens e de produção de forragens é importante fonte de acúmulo para reduzir as emissões de CO₂ e aumentar o sequestro de C (Rosendo; Rosa, 2012).

Sampaio e Costa (2012) avaliaram os estoques e os fluxos de C em vegetações no Semiárido brasileiro e estimaram maiores valores para a Caatinga nativa, tanto no solo quanto na biomassa, do que nas áreas utilizadas como pasto nativo, pastos cultivados e lavouras (Tabela 1).

As pastagens podem se constituir como fontes de emissão ou acúmulo de GEE, a depender do manejo adotado. As pastagens degradadas, em decorrência do manejo inadequado e da redução da fertilidade do solo, podem ter seu estoque de C perdido para a atmosfera. A adoção de práticas de manejo do pastejo adequadas e a recomposição da fertilidade são estratégias que

contribuem para o sequestro de C, aumentando os teores de matéria orgânica no solo, proporcionando melhoria nos aspectos qualitativos da planta forrageira, no desempenho produtivo e nas características qualitativas dos produtos de origem animal, além de aumentar a longevidade do pasto.

Segnini et al. (2013) avaliaram os estoques de C em sistemas de produção pecuários e verificaram redução na taxa de acúmulo desse elemento em pastos degradados (Mg ha ano⁻¹). Observaram também que os pastos degradados apresentaram menores estoques de C no solo em relação aos sistemas com altas e moderadas taxas de lotação dos pastos, os quais apresentaram taxas de acúmulo de C positivas, indicando que os pastos tropicais manejados adequadamente podem ser ferramentas importantes para mitigar as emissões de GEE.

Os solos representam o maior reservatório de C superficial, assim o aumento desse elemento no solo tem grande impacto na quantidade armazenada. A emissão de CO₂ do solo é resultante de processos físicos e bioquímicos por meio da oxidação de compostos orgânicos pelos microrganismos heterotróficos aeróbicos (Cerri et al., 2009), sendo a incorporação de C por meio das raízes uma importante fonte desse elemento.

Considerando que os sistemas de produção pecuários da região semiárida brasileira são predominantemente em pastagens, e que a Caatinga representa a pastagem nativa cobrindo grande parte de sua área, é importante a utilização dessa vegetação com estratégias de manejo para fins pastoris.

Tabela 1. Estoques e fixação de carbono (C) pelas vegetações no Semiárido brasileiro.

| Carbono (Tg) | Caatinga | Pasto nativo | Pasto cultivado | Lavoura |
|--|----------|--------------|-----------------|---------|
| Área no Semiárido (10 ³ km ²) | 400 | 300 | 150 | 150 |
| C na biomassa (Tg) | 940 | 225 | 15 | 8 |
| C no solo (Tg) | 4.000 | 2.700 | 1.200 | 1.050 |
| Fixação de C na biomassa (Tg ano ⁻¹) | 180 | 120 | 60 | 38 |

Fonte: Adaptado de Sampaio e Costa (2012).

Em elevadas intensidades de uso do pasto, que leva ao superpastejo, há perdas de C no solo (Souza et al., 2009), podendo haver perdas no número e na composição de plantas na vegetação da Caatinga (Almeida-Cortez et al., 2016), afetando a cobertura vegetal. Assim, é importante a manutenção de taxas de lotação equilibradas com a quantidade de forragem oferecida pelo pasto para favorecer o desempenho produtivo e reprodutivo do animal e a produtividade por unidade de área, na Caatinga (Araújo Filho et al., 2002) e em pastos cultivados (Oliveira et al., 2016).

Estratégias de enriquecimento da vegetação favorecem o aumento da biomassa e das espécies vegetais que são consumidas pelos animais nas áreas de Caatinga. Waters et al. (2017) relatam que a intensidade do pastejo é uma ferramenta importante para evitar as perdas de C no solo. O uso combinado da vegetação nativa da Caatinga, durante o período chuvoso do ano, com outros recursos forrageiros, para a reserva estratégica visando à alimentação dos animais no período seco, se constitui também em estratégia para reduzir a pressão de pastejo sobre a vegetação nativa e melhorar a produtividade (Guimarães Filho; Soares, 1997).

A recuperação de pastagens degradadas é uma das mais importantes medidas mitigadoras de GEE nos sistemas de produção pecuários, podendo proporcionar considerável aumento

na captura de C. No processo de degradação, a produtividade do pasto e o teor de matéria orgânica reduzem, podendo haver aumento na presença de espécies forrageiras de menor aceitação pelos animais e redução na cobertura vegetal com maior suscetibilidade a erosão tornando os solos sujeitos à compactação e à redução da massa microbiana (Fonte et al., 2014). A cobertura vegetal é um aspecto importante de verificação da degradação das pastagens na região semiárida brasileira (Figura 1).

São escassas as estratégias e os modelos de recuperação de pastagens degradadas para a região semiárida brasileira, sobretudo os que contemplam os sistemas integrados de produção agropecuária ou a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Na condição de rotação de culturas, os modelos de ILPF podem contribuir na recuperação pelo aproveitamento da correção de solo e de fertilização promovida para as culturas agrícolas (como milho e feijão). A renda oriunda do cultivo é uma forma de reduzir os custos.

Ydoyaga et al. (2006) avaliaram métodos de recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens* (*Urochloa decumbens*) no Agreste de Pernambuco por meio de quatro manejos, sendo: 1 – diferimento (exclusão do pastejo de determinada área no final da estação de crescimento da planta forrageira, possibilitando que se acumule forragem para ser utiliza-



Fotos: Tadeu Vinhas Voltolini

Figura 1. Pasto degradado sem cobertura vegetal (A) e pasto diferido com cobertura vegetal (B), em Petrolina, PE.

da durante o período de entressafra); 2 – diferimento e gradagem; 3 – diferimento, gradagem e plantio de milho; e 4 – diferimento, gradagem e plantio direto de milho, associados à adubação nitrogenada (0 e 100 kg de N ha⁻¹) e adubação fosfatada (0 e 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹). A massa de forragem foi maior para os métodos de diferimento e diferimento associado ao plantio direto, em relação aos métodos que utilizaram a gradagem. Os métodos com gradagem proporcionaram ainda maior porcentagem de solo descoberto, e as fertilizações contribuíram para o aumento na massa de forragem.

Se por um lado a grande extensão de áreas de pastagens em todo o mundo promove alta emissão de GEE, essa grande área pode também ter papel fundamental na mitigação de GEE e redução da vulnerabilidade às alterações no clima. No Brasil e, especificamente, no Semiárido, não é diferente, pois as pastagens ocupam grandes extensões territoriais. Práticas de manejo que mantenham ou incrementem a matéria orgânica nos solos das pastagens e das áreas de produção de plantas forrageiras, assim como medidas que diminuam o superpastejo, evitando a perda de vegetação, são importantes para a manutenção do C no solo (Berchielli et al., 2012).

A fertilização das áreas de pastagens e a produção de forragem, quando bem conduzidas, podem proporcionar pastagens mais tolerantes ao déficit hídrico, já que plantas bem nutridas possuem sistema radicular maior e mais profundo, capaz de explorar maior volume de solo e melhorar o acesso a água e nutrientes, favorecendo o rápido estabelecimento e contribuindo na recuperação do pasto.

As práticas de manejo e conservação do solo, como os adequados métodos de preparo, evitando as queimadas, a compactação e a erosão, são também medidas importantes para reduzir as perdas de solo e do C e aumentar o sequestro desse elemento. Medidas conservacionistas, como as curvas e os terraços, o plantio direto, a rotação de culturas, o cultivo consorciado e o uso da cobertura morta, podem contribuir nesse processo.

Metano

A emissão de metano (CH₄) é oriunda principalmente da fermentação entérica (Rojas-Downing et al., 2017). A emissão global de CH₄ entérico é estimada em aproximadamente 85 Teragramas (Tg) ao ano. No Brasil, a emissão de CH₄ pela pecuária em 2010 foi estimada em 11.873,20 Gg, em que 11.265,10 Gg foram atribuídos à fermentação entérica e 608,10 Gg ao manejo de dejetos. Os bovinos contribuíram com 96,8% das emissões de CH₄ por fermentação entérica. Com relação ao manejo de dejetos, as emissões dos bovinos representaram 42,5%, as de suínos 35,3% e as de aves 19%, enquanto os outros animais, incluindo os caprinos e ovinos, também contribuíram com 3,2% (Brasil, 2014). Lascano et al. (2010) indicam que sistemas extensivos de produção, a exemplo do que ocorre no Semiárido brasileiro, promovem elevada emissão de CH₄ entérico por unidade de produto de origem animal.

Na pecuária, o CH₄ vem principalmente da fermentação entérica, processo que ocorre em ambiente anaeróbico, com os nutrientes alimentares fermentados por microrganismos ruminais gerando ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), especialmente os ácidos acético, propiônico e butírico e também o CH₄ e o CO₂, os quais são eliminados pela boca e narinas por meio da eructação e respiração (Martin et al., 2009). O CH₄ está diretamente relacionado com a eficiência da fermentação ruminal e com a perda da energia pelo animal, podendo representar entre 2% a 12% da energia bruta do alimento (Johnson; Johnson, 1995).

Os bovinos podem produzir cerca de 250 L dia⁻¹ a 500 L dia⁻¹ de CH₄, já os ovinos e caprinos produzem de 25 L dia⁻¹ a 55 L dia⁻¹, sendo essa produção dependente de diversos fatores, como o tamanho e a categoria do animal e a ingestão de matéria seca (Oliveira et al., 2017). A emissão de CH₄ por caprinos na região semiárida brasileira variou de 13,0 g animal dia⁻¹ a 41,7 g animal dia⁻¹ (Gordiano, 2015; Barbosa et al., 2018), enquanto as emissões de ovinos variaram de 11,4 g animal dia⁻¹ a 19,2 g animal dia⁻¹ (Mota, 2014; Costa, 2016) (Tabela 2).

Tabela 2. Emissão de metano entérico de caprinos e ovinos a partir de estudos realizados na região semiárida brasileira.⁽¹⁾

| g dia ⁻¹ | kg por PC | kg por PC ^{0,75} | g kg ⁻¹ de MS |
|------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|
| 13,0-31,0 ¹ | 0,7-1,9 ¹ | 1,4-3,9 ¹ | 21,9-58,8 ¹ |
| 27,4-41,7 ² | 0,7-1,2 ² | 1,8-2,9 ² | 43,4-75,0 ² |
| 11,4-16,8 ³ | - | 1,3-2,9 ³ | 13,4-29,4 ³ |
| 15,6-19,2 ⁴ | - | - | - |

⁽¹⁾PC: peso corporal; MS: matéria seca.

Fonte: ¹Barbosa et al. (2018) caprinos confinados alimentados com diferentes proporções de volumoso e concentrado na dieta; ²Gordiano (2015) cabras Repartida e Canindé em pastejo na caatinga, ³Mota (2014), ovinos em pastejo em caatinga raleada enriquecida ou não enriquecida, ⁴Costa (2016), ovinos mestiços Santa Inês em pastejo em caatinga raleada.

A utilização de forragens em estágios menos avançado contendo menor teor de fibras reduz a produção de CH₄, aumenta a eficiência da digestão ruminal e melhora o desempenho produtivo do animal (Oliveira et al., 2017).

A melhoria na qualidade dos alimentos, das forragens e da alimentação, assim como o aumento no fornecimento de ingredientes concentrados, constitui em importantes estratégias para a redução da emissão de CH₄ entérico (Gerber et al., 2013). A composição e a qualidade dos alimentos interferem na fermentação ruminal e nos produtos resultantes desse processo. Dietas à base de volumosos favorecem a formação de acetato, aumentando a produção de H₂ e de CH₄ por unidade de matéria orgânica fermentada (Johnson; Johnson, 1995), podendo os animais alimentados com forragens de baixa qualidade emitir até duas vezes mais CH₄ em relação aos alimentados com forragens de boa qualidade (Berchielli et al., 2012).

A inclusão de concentrado na dieta promove alteração na fermentação ruminal, diminuindo a proporção de acetato:propionato, em razão de os ingredientes concentrados apresentarem maior concentração de carboidratos solúveis e melhor digestibilidade, reduzindo a produção de CH₄ entérico (Beauchemin et al., 2008). Zotti e Paulino (2009) citam que o concentrado atua diminuindo o pH ruminal, o que afeta diretamente as bactérias metanogênicas, já que essas são sensíveis a alterações no ambiente ruminal, principalmente no pH.

A emissão de CH₄ proveniente da fermentação ruminal depende, principalmente, do consumo e qualidade dos alimentos, especialmente a digestibilidade da dieta. Dietas com elevada digestibilidade proporcionam menor emissão de CH₄ por unidade de alimento consumido do que as de baixa qualidade. A melhoria na qualidade do alimento e a alteração da microflora ruminal aumentam a retenção de energia, o que reduz a emissão de CH₄ entérico, promovendo menor emissão por unidade de produto de origem animal (carne, leite, e etc.) e propiciando aumento na eficiência produtiva.

Barbosa et al. (2018) avaliaram diferentes proporções de volumoso e concentrado nas rações de caprinos em crescimento em Petrolina, PE, e verificaram que o aumento na proporção de concentrado proporcionou maiores consumos e digestibilidades da matéria seca e orgânica, melhor eficiência alimentar e ganho de peso e menor emissão de CH₄ entérico por unidade de peso corporal de caprinos.

Lima et al. (2016) verificaram redução na emissão de metano com a inclusão de concentrado acima de 50% na ração, indicando que, a partir dessa proporção de concentrado na ração, as alterações nas condições físico-químicas no rúmen e na população microbiana afeta a produção de AGCC, o que resulta em menor relação acetato:propionato com concomitante redução no pH e população de protozoários, o que tem sido sugerido como fator inibidor ao crescimento e a atividade das bactérias metanogênicas

e das celulolíticas. Além disso, o aumento no consumo de carboidratos não fibrosos (CNF), como consequência do aumento na proporção de concentrado, pode contribuir para otimizar a fermentação ruminal, aumentando a produção de propionato que utiliza o H_2 que seria usado pelas bactérias metanogênicas para a produção de CH_4 .

Patra (2013) aponta diversas estratégias como potenciais mitigadoras da emissão de metano entérico, que atuam sobre as bactérias metanogênicas no rúmen, tais como: vacinas antimetanogênicas, drenos alternativos de nitrogênio (nitrato, sulfato, potencializadores de propionato e butirato), ácidos orgânicos insaturados, inibidores da produção de hidrogênio (ionóforos, bacteriocinas), assim como os metabólitos secundários de plantas (saponinas e taninos) e as fontes lipídicas (gorduras e ácidos graxos).

Os mecanismos de ação dos taninos sobre a metanogênese consistem no efeito direto sobre os microrganismos ruminais em que os polifenóis reagem com a parede celular das bactérias e as enzimas extracelulares segregadas, inibindo o transporte de nutrientes dentro da célula, retardando o crescimento dos microrganismos (McSweeney et al., 2001). O outro efeito é o indireto sobre a degradação da fibra, que surge pela possível formação de complexos tanino-celulose, reduzindo a atividade fibrolítica e a produção de hidrogênio, que é o substrato para os microrganismos (Tavendale et al., 2005).

Jayanegara et al. (2012), a partir de dados de 30 experimentos, verificaram que o aumento na concentração de tanino na dieta leva a redução da emissão de CH_4 , indicando que os efeitos do tanino são esperados a partir de 20 g kg^{-1} de MS. O uso de leguminosas explorando a presença de taninos são algumas das estratégias que podem ser adotadas. A Caatinga apresenta elevada presença de leguminosas, as quais possuem teores consideráveis de taninos (Marques; Oliveira, 2016), demonstrando potencial para a redução de CH_4 (Lucas, 2012; Magalhães et al., 2015; Oliveira, 2016).

As fontes lipídicas para os ruminantes também são alternativas promissoras, uma vez que podem promover a redução da emissão de CH_4 por ação deletéria sobre as bactérias metanogênicas e consumo do H_2 no processo de biohidrogenação (Beauchemin et al., 2008). Martin et al. (2009) sumarizaram dados de estudos in vivo, oriundos de 28 publicações, que avaliaram os efeitos de diferentes fontes de lipídeos sobre a emissão de CH_4 entérico em bovinos e ovinos e verificaram a redução de 3,8% na emissão desse elemento (g kg^{-1} de MS ingerida) para cada 1% de gordura adicionada na dieta.

Patra (2013) avaliou dados de 29 experimentos e verificou que a suplementação com fontes lipídicas reduziram a produção de metano (g dia^{-1} , g kg^{-1} de MS, g kg^{-1} de MS digestível, g kg^{-1} de leite, % da energia bruta ingerida). Os ácidos graxos C12:0 (ácido láurico) e C18:3 (ácido linolênico) apresentaram maiores efeitos sobre a metagênese, se comparados com outros ácidos graxos da dieta. Concluiu-se que a suplementação lipídica com alta concentração de C12:0 e C18:3 e ácidos graxos polinsaturados até 6% da MS são considerados estratégias alimentares para reduzir a emissão de metano entérico sem comprometer a produtividade animal.

Outra fonte de emissão de GEE é formada a partir da deposição dos dejetos dos animais, quando o material orgânico é decomposto em condições anaeróbias. A produção de CH_4 pelos microrganismos metanogênicos é favorecida quando os dejetos são estocados na forma líquida. A compostagem, que consiste em uma forma sólida de manipulação de dejetos animais, diferente da forma líquida, é capaz de suprimir as emissões de CH_4 , entretanto pode aumentar a formação de N_2O (Paustian et al., 2000). O manejo adequado dos dejetos pode trazer benefícios para o ambiente, contribuindo ainda para melhorar a renda nas unidades de produção, já que o CH_4 pode ser utilizado como fonte alternativa de energia.

O balanço de carbono no sistema de produção e a mitigação das emissões

O balanço de C pode ser compreendido como a diferença entre todas as entradas e as saídas de C, normalmente apresentado como CO₂eq, transformando as emissões dos outros gases (N₂O e CH₄) em equivalentes de CO₂. As avaliações em relação ao balanço de GEE possibilitam a análise do sistema produtivo e não apenas do animal.

Figueiredo et al. (2017) estimaram o balanço de GEE (emissões menos drenos) e a pegada de C para a produção de bovinos de corte em três cenários contrastantes de sistemas de produção com pastagens de *Brachiaria*: pastagens degradadas, pastagens manejadas e pastagens integradas com agricultura e floresta (ILPF). A emissão total estimada em dez anos foi maior para o sistema com pastagens manejadas (84.541 kg CO₂ eq ha⁻¹), seguido pelo sistema de ILPF (64.519 kg CO₂ eq ha⁻¹) e pelo sistema degradado (8.004 kg CO₂ eq ha⁻¹), o que parece ruim para os sistemas mais intensificados. O resultado da pegada de C foi de 18,5 kg CO₂ eq kg peso corporal⁻¹ no sistema degradado, seguido por 12,6 kg CO₂ eq kg peso corporal⁻¹ para o sistema de ILPF e 9,4 kg CO₂ eq kg peso corporal⁻¹ para o sistema com pastagens manejadas; sem considerar o potencial de sequestro de C dos solos para o sistema com pastagens manejadas e do solo mais o eucalipto para os sistemas com pastagens integradas no ILPF. Quando considerou o sequestro de C, a pegada de C reduziu para 7,6 e -28,1 kg CO₂ eq kg peso corporal⁻¹ para as pastagens manejadas e para as integradas no ILPF, respectivamente. Considerando-se o sequestro de C do solo e do eucalipto, o sistema de ILPF é capaz de sequestrar mais C, superando as emissões de GEE, gerando créditos de C.

A melhoria da eficiência produtiva na pecuária e a intensificação na produção podem se constituir como importantes ferramentas para reduzir as emissões de GEE por unidade de pro-

duto de origem animal. Mazzetto et al. (2015) verificaram que a intensificação na produção de bovinos de corte, por meio de melhores pastagens e do manejo do rebanho, promove a redução de GEE por unidade de produto animal, proporcionando menor emissão de metano, apesar da maior emissão de N₂O e CO₂, por meio da fertilização e aplicação de calcário. Chizzotti et al. (2011), ao avaliarem os efeitos da idade de abate sobre a emissão de CH₄ de bovinos de corte, observaram que a redução do tempo de abate de 44 para 30, 26, 20 e 14 meses reduziu a emissão de CH₄ em 23,4%, 31,2%, 53% e 67,7%, respectivamente.

Cardoso et al. (2016) relatam ainda que a produção intensiva, além de proporcionar a redução na emissão de GEE por unidade de produto (pegada de carbono), possibilita a diminuição da área exigida em sete vezes da área necessária para a produção de 320 m² kg⁻¹ a 45 m² kg⁻¹ de carcaça, reduzindo a pressão sobre a vegetação nativa. A produção de carcaças aumentou de 43 Mg para 65 Mg por rebanho nos cenários de 1 a 5, e as emissões totais por kg de carcaça foram estimadas reduzidas de 58,3 para 29,4 kg CO₂ eq kg⁻¹ de carcaça.

Medidas de adaptação

As ações de adaptação referem-se ao conjunto de iniciativas e estratégias que permitem modificar os sistemas naturais ou criados pelos homens a um novo ambiente em resposta à alteração no clima atual ou esperada. No Intergovernmental Panel on Climate Change (2014), as ações de adaptação são descritas como específicas para um determinado local e contexto, sem a abordagem única e genérica para reduzir os riscos em todas as situações.

No contexto do Semiárido brasileiro, com grande presença de pastagens degradadas, a escassez hídrica e as elevadas temperaturas podem levar os animais ao estresse calórico, e o agravamento das condições climáticas poderão acentuar esse problema. Nesse sentido, o aumento na oferta de água, o uso de plantas nativas com

potencial forrageiro, a melhoria da eficiência de utilização dos recursos forrageiros adaptados, as ações de manejo com animais na tentativa de amenizar estresses, assim como animais e plantas melhorados a condições de temperaturas mais altas e menos disponibilidade hídrica se constituem em importantes estratégias de adaptação para a pecuária regional.

Estratégias para o aumento na oferta de água para a pecuária

A água para a dessedentação dos animais e produção de seus alimentos são as principais demandas desse recurso natural nas unidades de produção pecuárias, as quais são acentuadas em regiões áridas e semiáridas. Nessas regiões, os animais sofrem com a escassez e a má qualidade das águas, o que pode representar riscos à saúde, afetando a qualidade dos produtos de origem animal.

A coleta e o armazenamento da água da chuva constituem em estratégias de grande importância para ampliar a oferta. Os açudes e os reservatórios artificiais são alternativas para o armazenamento da água e para o aumento no aporte hídrico, contudo podem representar custos elevados.

Brito et al. (2007) avaliaram um método de captação de água do escoamento superficial visando ao maior aporte hídrico para os rebanhos do Semiárido brasileiro, o qual foi composto por uma área de captação de água com o sistema de filtragem, por uma cisterna como reservatório e o bebedouro para a distribuição da água aos animais, podendo proporcionar menores custos em relação aos açudes e aos reservatórios.

Os autores recomendam o uso de diferentes módulos desse método de captação de água na propriedade para aumentar o volume captado e melhorar a distribuição da água para os animais, uma vez que a alteração no clima pode reduzir a disponibilidade de água no Semiárido, reduzindo os volumes de água da chuva a serem captados e armazenados. Nesse sentido,

indicam a necessidade no aumento das áreas de captação (Brito et al., 2010).

O cultivo e a utilização de plantas forrageiras suculentas são estratégias adicionais para o aumento da oferta de água para a produção pecuária. As plantas suculentas apresentam elevada concentração de água, a exemplo da palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) e da melancia-forrageira (*Citrullus lanatus* var. citroides), representando reservatório adicional de água. As plantas forrageiras suculentas na dieta contribuem no aporte de água e no balanço hídrico do animal (Araújo, 2015). A menor ingestão de água nos bebedouros por caprinos foi observada por Bispo et al. (2007), com o aumento no fornecimento de palma forrageira na ração em substituição ao feno de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.).

Na produção de alimentos, o uso da água de forma eficiente, proporcionando mais alimentos com menos volume desse recurso natural, é um dos maiores desafios na pecuária de regiões áridas e semiáridas. Práticas de manejo do solo podem contribuir com o aumento na disponibilidade de água no solo, permitindo melhor desenvolvimento das culturas forrageiras. O preparo do solo com captação in situ possibilita aumento na infiltração de água e reduz as perdas por escoamento superficial. Alguns métodos de captação in situ que também podem ser utilizados como medida de adaptação são aração em faixa, sulcos barrados (Anjos et al., 2007), aração parcial e aração total.

Recursos forrageiros adaptados e nativos e os sistemas integrados de produção agropecuária

O uso de recursos forrageiros nativos e adaptados ao Semiárido brasileiro, o aumento na eficiência de utilização dessas plantas com melhoria nos sistemas de produção, a conservação de forragem e a utilização desses recursos (Figura 2) consistem em estratégias de adaptação dos sistemas de produção pecuários à alteração futura no clima.



Fotos: Tadeu Vinhas Voltolini

Figura 2. Palma forrageira como fonte de alimentos e água (A), conservação de forragem na forma de silagem (B), gliricídia (*Gliricidia sepium*) (leguminosa) (C) e cultivo de maniçoba (planta nativa) (D).

A vegetação nativa deve ser utilizada de acordo com a capacidade de suporte e as peculiaridades de cada área. A utilização de plantas perenes para a alimentação dos rebanhos poderá ser incentivada, pois grande parte dos riscos inerentes à produção de forragem na região está no plantio. Dessa forma, reduzindo-se as operações de plantio, pode-se ter mais sucesso na produção de forragem e animal aliado a menores custos de produção. Nos pastos, visando aumentar a vida útil e a produtividade e minimizar a degradação, é fundamental a aplicação de estratégias de manejo do pastejo. É importante também trabalhar a consorciação dos pastos visando melhorar a dieta dos animais e o aporte de nutrientes ao solo.

Dentre os recursos forrageiros nativos, podem ser destacadas algumas plantas com potencial para serem cultivadas, como a maniçoba

[*Manihot glaziovii* Müll. Arg.; *Manihot catingae* Ule; *Manihot carthaginensis* (Jacq.) Müll. Arg.], o mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) e o feijão-bravo [*Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl]. Muitas delas apresentam parâmetros da composição química com consideráveis teores de nutrientes, sendo utilizadas na alimentação animal, com produção de forragem considerável quando se leva em conta as características climáticas da região (Guimarães Filho; Soares, 1997). O estudo e a aplicação de técnicas de cultivo e o uso das plantas nativas poderão contribuir consideravelmente com o aporte dos sistemas produtivos pecuários.

Por um lado, as plantas da Caatinga se desenvolveram ao longo dos anos nas condições ambientais regionais, como elevadas temperaturas, baixas e irregulares precipitações pluviárias, por isso apresentam vantagens competitivas

em comparação com outros recursos forrageiros para o cultivo na região semiárida brasileira, sobretudo nas áreas mais secas. Por outro lado, essas espécies podem apresentar a presença de espinhos e compostos secundários como o tannino e os glicosídeos cianogênicos, em que alguns desses componentes são antinutricionais ou tóxicos aos animais.

Na região semiárida, a estacionalidade na produção de forragem faz com que, na época seca do ano, tenha déficit na quantidade de alimentos a serem destinados aos animais, logo é fundamental a conservação de alimentos. Os principais métodos de conservação de alimentos para animais são a fenação e a ensilagem, objetivando melhorar os índices zootécnicos e econômicos da produção pecuária da região (Silva et al., 2015), ao suprir as deficiências quantitativas e qualitativas do rebanho.

Os sistemas integrados de produção agropecuária ou os modelos ILPF são definidos como sistemas de uso da terra que envolvem dois componentes principais, árvores ou arbustos em conjunto com pastagem e/ou cultura agrícola (Castro Neto et al., 2017). Esses sistemas são considerados eficientes estratégias de manejo para restaurar áreas degradadas, podendo aumentar a produção agrícola e pecuária com potencial de promover o sequestro de C no solo e vegetação. Além de serem estratégias mitigadoras, evitando perdas de CO₂, também são alternativas de adaptação dos sistemas de produção pecuários.

A inclusão do componente florestal propicia benefícios de ordem ambiental e socioeconômica, que refletem em melhoria na eficiência do uso da terra. Além disso, promove impactos positivos em variáveis microclimáticas e na captura de C, em que as árvores aumentam a remoção de CO₂ da atmosfera e proporcionam maior conforto térmico aos animais e, quando em maior densidade, aumentam a fixação de C.

A presença de componentes florestais arbóreos adicionados à biodiversidade de espécies propicia a deposição contínua de resíduos vegetais, o que facilita a manutenção da matéria orgâni-

ca no solo afetando diretamente seus atributos físicos, químicos e biológicos. A ILPF pode proporcionar a diversificação na produção; aumentar a fixação biológica de N atmosférico; melhorar a ciclagem de nutrientes; e promover a modificação de microclimas (Mangabeira et al., 2011; Iwata et al., 2012), contribuindo com o aumento na biomassa vegetal, tanto na parte aérea quanto no sistema radicular das plantas, estocando C acima e abaixo do solo em razão da grande quantidade de material orgânico que é adicionada.

Os sistemas agroflorestais podem ser classificados de acordo com seus componentes em agrossilviculturais, silvipastoris e agrossilvipastoris e consistem na diversificação, rotação, consorciação ou sucessão das atividades de agricultura e pecuária na unidade de produção (Fernandes; Finco, 2014). A estimativa do potencial em escala global desses sistemas em sequestrar carbono é de 1,1 Pg a 2,2 Pg de C (1 Pg = 1.015 g ou 1 bilhão de toneladas) durante 50 anos, na parte aérea e no solo. Entretanto, esse potencial varia de acordo com o modelo, composição das espécies, idade das espécies componentes, localização geográfica, fatores ambientais e práticas de manejo (Lorenz; Lal, 2014).

A conversão do pasto degradado em bem manejado e a introdução de sistemas de ILPF podem reduzir as emissões de GEE em kg de CO₂ eq emitido por kg de produto animal gerado, podendo aumentar a produção agrícola, pecuária e de madeira. A redução ocorre principalmente devido ao melhoramento do pasto, aumento na produção animal, sendo uma técnica potencial para sequestrar C no solo e na biomassa visando compensar as emissões de GEE relacionadas com os animais (Figueiredo et al., 2017).

Manejo do rebanho

Considerando o cenário de aumento na temperatura, possibilidade de redução na disponibilidade de alimentos e água para os animais, assim como o aumento no estresse calórico e a redução na eficiência de utilização de alimentos

e nutrientes, o manejo no sistema de proteção e as práticas com os animais e com o rebanho são de fundamental importância para a adaptação dos sistemas produtivos pecuários. A adequação da espécie, raça e categoria de animais a serem criados em cada região é uma medida importante para reduzir a vulnerabilidade produtiva (Lascano et al., 2010), bem como tamanho do rebanho compatível com o suporte hídrico e alimentar da unidade de produção e a diversidade de espécies animais e de genótipos de uma espécie no sistema de produção.

Hoffmann (2010) aponta duas estratégias para a adaptação às alterações no clima, a mudança no ambiente para o animal ou a mudança no animal para o ambiente, indicando que o acesso a tecnologias e ao capital determinará o grau em que os produtores adotarão as estratégias, considerando os custos com energia e água, apontando, ainda, que sistemas extensivos têm capacidade de adaptação limitada.

Na melhoria do ambiente, a utilização de plantas arbóreas nas áreas de descanso dos animais e o aumento da presença de árvores nas pastagens são interessantes, proporcionando sombra a fim de reduzir os impactos do aumento da temperatura, além de reduzir a evaporação da água e manter microclima na área. A localização estratégica de pontos de água (bebedouros, açudes), o aumento e melhor distribuição das árvores no pasto e áreas de sombreamento artificial são ferramentas importantes para amenizar a condição de estresse calórico do animal.

Alcock e Hegarty (2011) avaliaram os efeitos de estratégias de manejo associadas ao melhoramento genético em sistemas de produção de ovinos quanto ao seu impacto de emissão de GEE com o uso de modelos, considerando-se como opções de manejo a época de parição e a alimentação de cordeiros para reduzir o tempo de abate. Esses autores verificaram que as melhorias no manejo proporcionaram menores emissões de GEE e que as medidas que possibilitaram as menores emissões foram as que proporcionaram maiores rentabilidades.

A melhoria nas práticas alimentares e na composição em dietas, promovendo o aumento na

densidade energética e de nutrientes, aumento na frequência de refeições, melhor posicionamento de comedouros e bebedouros nas áreas próximos a pontos de sombra, promoção da alimentação dos animais e o pastejo nas horas mais frescas do dia, o aumento na ventilação permitindo maior circulação de vento, o esfriamento do ambiente e do animal e a suplementação mineral são medidas importantes em situações de estresse calórico, visando promover o bem-estar animal.

Melhoramento genético

O melhoramento genético de plantas e animais pode ser uma ferramenta importante tanto para mitigar a emissão de GEE, quanto para contribuir na adaptação dos sistemas produtivos em cenário de alteração climática futura. Basarab et al. (2013) indicam a seleção de animais por eficiência alimentar, tendo essa característica pouco impacto em outras características de importância econômica. O aumento da produtividade e eficiência será fundamental, mas mantendo diversidade genética que permita maiores oportunidades de seleção para adaptação (Boettcher et al., 2015).

A seleção e o melhoramento genético de espécies vegetais da Caatinga que persistem na condição ambiental local é uma alternativa para o Semiárido brasileiro. As plantas submetidas, ao longo do tempo, a ambientes com disponibilidade hídrica limitada promoveram a geração de plantas adaptadas aos ambientes mais áridos, sendo os estresses abióticos responsáveis por desencadear uma série de respostas nas plantas, percebidas por meio das modificações morfológicas, fisiológicas, moleculares e metabólicas, a fim de tolerar esses estresses (Benko-Iseppon et al., 2012).

Aliado a isso, deve-se buscar a obtenção de animais e forragens que tenham maior eficiência no uso da água e dos nutrientes, sem prejuízos a outras características desejáveis. Nos animais, a seleção para características adaptativas é importante, contudo é preciso definir os indicadores de adaptação e resiliência, ou seja, o objetivo de melhoramento (Boettcher et al., 2015),

sugerindo a avaliação de características relacionadas à produtividade e à resiliência superiores, condições climáticas que se espera que prevaleçam como resultado do aumento na temperatura e menor disponibilidade hídrica.

Para Beleosoff (2013), o uso de forragens com práticas de manejo eficientes, evitando acúmulo de material fibroso, pode diminuir a emissão de metano. Em sistemas extensivos, deve-se aumentar a qualidade da forragem para atingir uma maior média de conteúdo de energia metabolizável (EM). Ao alcançar níveis elevados de EM na forragem, o requerimento de alimento pelo animal é diminuído, possibilitando um menor consumo e menores índices de emissão de CH₄ na atmosfera (Lopes et al., 2013).

O potencial das gramíneas forrageiras em manter aportes da ordem de 20 t a 30 t de matéria seca por hectare ao ano de resíduos aéreos e, em grandeza semelhante, de resíduos subterrâneos, justifica a capacidade das pastagens produtivas, com reservas estáveis de N, em manter estoques de C no solo em níveis superiores ou semelhantes aos observados em solos sob vegetação nativa. Rosa et al. (2014), em estudo sobre o estoque de C nos solos sob pastagens cultivadas em diferentes profundidades, verificaram que a pastagem melhorada apresenta valor mais elevado de C do solo do que a pastagem degradada. Os dados comprovam, segundo os autores, que uma pastagem bem manejada consegue reter no solo (na profundidade de 0–30 cm) 15% a mais de C do que uma pastagem degradada, ressaltando a importância do manejo das pastagens como forma de retirar C da atmosfera e armazenar no solo.

Uma *Poaceae* que desperta o interesse de pesquisadores é o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*). Isso se deve ao fato de ser uma planta C4 e, por isso, ser altamente eficiente na fixação de CO₂ atmosférico durante o processo de fotossíntese, possuindo grande capacidade de acumulação de matéria seca, alto teor de lignina, rápido crescimento e alta produção de biomassa, menor ciclo produtivo, possibilidade de mecanização total, além de ser amplamente adaptado às condições edafoclimáticas do Brasil (Xie et al., 2011).

Uma importante medida de adaptação é o melhoramento de genótipos locais e a seleção visando à eficiência de uso de água e nutrientes e a incorporação de indicadores relacionados às alterações futuras no clima, nos programas de melhoramento genético animal. A avaliação e o melhoramento genético de genótipos locais podem se constituir em uma medida útil para os sistemas de produção pecuários, sobretudo nas regiões áridas e semiáridas; sendo assim, deve-se efetuar a conservação de recursos genéticos visando a futuros programas de melhoramento genético. McManus et al. (2012) destacam a possibilidade de transferência de genes que promovam características adaptativas. As raças locais podem conter alelos em seu genótipo com capacidade para conferir resistência a doenças ou a sobrevivência em condições adversas.

Os genótipos locais em manejo tradicional são geralmente mais resilientes a alterações ambientais que as raças melhoradas. Hoffmann (2010) relata que muitas espécies e genótipos locais são adaptados a altas temperaturas, com muitas raças adaptadas a áreas áridas. Contudo, grande parte dos genótipos locais tem em sua adaptação não apenas a tolerância à elevada temperatura, mas a habilidade de crescer e reproduzir em condições de déficit nutricional, incidência de parasitas, em que esses recursos genéticos de áreas áridas poderão ser mais afetados pelo efeito alteração climática nos recursos naturais do que pela temperatura e precipitação, reiterando a atenção ao ambiente de seleção onde o animal vai ser criado para poder selecionar ou suprimir a expressão de genes.

Considerações finais

Os sistemas produtivos pecuários do Semiárido brasileiro poderão ser afetados pelas alterações futuras no clima, com impactos na disponibilidade de alimentos e água, bem como no desempenho produtivo e na saúde do animal. A adequação do teor de N nas dietas e o manejo adequado dos dejetos dos animais podem reduzir a emissão de N₂O. As práticas de manejo do pastejo e a recuperação dos pastos degradados são importantes medidas mitigadoras da

emissão de CO₂, enquanto a melhoria dos alimentos e da alimentação dos animais, os taninos e as fontes lipídicas na alimentação podem contribuir na redução da emissão de CH₄. Assim, a melhoria na eficiência produtiva e intensificação das áreas de produção proporcionam balanços positivos de GEE.

Em regiões como o Semiárido brasileiro, que já apresentam baixa disponibilidade hídrica e elevadas temperaturas, a alteração climática irá acentuar essas condições, sendo necessário expandir e aprimorar os sistemas de coleta e armazenamento de água de chuva e o uso de alimentos suculentos. Além disso, serão necessárias medidas que promovam o bem-estar e amenizem as situações de estresse calórico aos animais, como a adequação das instalações, a maior presença de sombreamento artificial e, sobretudo o natural, nas áreas de criação e nas pastagens, que deverão ser ampliadas. O uso de recursos forrageiros nativos, assim como a melhoria na eficiência de produção e utilização de recursos forrageiros exóticos, associados às técnicas de conservação de alimentos, podem aumentar a oferta de alimentos aos animais. O melhoramento genético é uma ferramenta importante para disponibilização de plantas e animais com maior tolerância aos estresses hídrico e térmico.

Referências

ALCOCK, D. J.; HEGARTY, R. S. Potential effects of animal management and genetic improvement on enteric methane emissions, emissions intensity and productivity of sheep enterprises at Cowra, Australia. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166, p. 749-760, June 2011. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2011.04.053](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.053).

ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; TAVARES, F. M.; SCHULZ, K.; PEREIRA, R. C. A.; CIERJACKS, A. Floristic survey of the caatinga in areas with different grazing intensities, Pernambuco, Northeast Brazil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 1, p. 43-51, 2016. DOI: [10.24221/jeap.1.1.2016.986.43-51](https://doi.org/10.24221/jeap.1.1.2016.986.43-51).

ANGELOTTI, F.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; SÁ, I. B. Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1097-1111, 2011.

ANJOS, J. B. dos; CAVALCANTI, N. B.; BRITO, L. T. L.; SILVA, M. S. L. Captação "in situ": água de chuva para produção de alimentos. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. (ed.). **Potencialidades da água de chuva no**

Semiárido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. p. 141-155.

ANTUNES, G. R. **Diversidade e eficiência na promoção do crescimento vegetal por bactérias isoladas de plantas forrageiras do Semiárido**. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina.

ARAÚJO, G. G. L. Os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e a produção animal em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 598-609, 2015.

ARAÚJO FILHO, J. A.; SOUZA NETO, M.; NEIVA, J. N. M.; CAVALCANTE, A. C. R. Desempenho produtivo de ovinos da raça Morada Nova em caatinga raleada sob três taxas de lotação. **Ciência Agrônômica**, v. 33, p. 51-57, jan./jun. 2002.

BARBOSA, A. L.; VOLTOLINI, T. V.; MENEZES, D. R.; MORAES S. A. de; NASCIMENTO, J. C. S.; RODRIGUES, R. T. de S. Intake, digestibility, growth performance, and enteric methane emission of Brazilian semiarid non-descript breed goats fed diets with different forage to concentrate ratios. **Tropical Animal Health and Production**, v. 50, p. 283-289, Feb. 2018. DOI: [10.1007/s11250-017-1427-0](https://doi.org/10.1007/s11250-017-1427-0).

BASARAB, J. A.; BEAUCHEMIN, K. A.; BARON, V. S.; OMINSKI, K. H.; GUAN, L. L.; MILLER, S. P.; CROWLEY, J. J. Reducing GHG emissions through genetic improvement for feed efficiency: effects on economically important traits and enteric methane production. **Animal**, v. 7, p. 303-315, June 2013. DOI: [10.1017/S1751731113000888](https://doi.org/10.1017/S1751731113000888).

BEAUCHEMIN, K. A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.; MCALLISTER, T. A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p. 21-27, Jan. 2008. DOI: [10.1071/EA07199](https://doi.org/10.1071/EA07199).

BELEOSOFF, B. S. **Potencial de produção de gases totais e metano in vitro de pastagens de Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia submetida a diferentes manejos de pastejo**. 2013. 145 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

BENKO-ISEPPON, A. M.; CAVALCANTI, N. M. S.; BERLARMINO, L. C.; BEZERRA NETO, J. P.; AMORIM, L. L. B.; FERREIRA NETO, J. R. C.; PANDOLFI, V.; AZEVEDO, H. M. A.; SILVA, R. L. O.; SANTOS, M. G.; ALVES, M. V. S.; KIDO, E. A. Prospecção de genes de resistência à seca e à salinidade em plantas nativas e cultivadas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 1112-1134, 2012.

bispo, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 954-968, out./dez. 2012. DOI: [10.1590/S1519-99402012000400010](https://doi.org/10.1590/S1519-99402012000400010).

BISPO, S. V.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C.; BATISTA, A. M. V.; PESSOA, R. A. S.; BLEUEL, M. P. Palma forrageira em substituição ao feno de capim-elefante: Efeito sobre consumo, digestibilidade e características de fermentação ruminal em ovinos. **Revista Brasileira de**

- Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1902-1909, nov./dez. 2007. DOI: [10.1590/S1516-35982007000800026](https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000800026).
- BOETTCHER, P. J.; HOFFMANN, I.; BAUMUNG, R.; DRUCKER, A. G.; MCMANUS, C.; BERG, P.; STELLA, A.; NILSEN, L. B.; MORAN, D.; NAVES, M.; THOMPSON, M. C. Genetic resources and genomics for adaptation of livestock to climate change. **Frontiers in Genetics**, v. 5, p. 461, Jan. 2015. DOI: [10.3389/fgene.2014.00461](https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00461).
- BRANDÃO, S. S.; PIRES, W. N.; GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; SILVA, D. J. Produção de fitomassa aérea de coquetéis vegetais cultivados nas entrelinhas de mangueiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU: Iciag, 2011. 1 CD-ROM.
- BRASIL. **Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações** – MCTIC, 2014. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/textogeral/sirene.html>. Acesso em: 3 jul. 2020.
- BRITO, L. T. L.; PORTO, E. R.; SILVA, A. de S.; CAVALCANTI, N. B. Cisterna rural: água para o consumo animal. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. (ed.). **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. cap. 5, 105-116.
- BRITO, L. T. L.; SILVA, A. de S.; SILVA, M. S. L.; PORTO, E. R.; PEREIRA, L. A. Tecnologias para o aumento da oferta de água no Semiárido brasileiro. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 9, p. 317-351.
- CARDOSO, A. S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B. J. R.; CARVALHO, I. N. O.; SOARES, L. H. B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86-96, Mar. 2016. DOI: [10.1016/j.agry.2015.12.007](https://doi.org/10.1016/j.agry.2015.12.007).
- CASTRO NETO, F.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA NETO, S. N.; CASTRO, M. M.; VILLANOVA, P. H.; FERREIRA, G. L. Balanço de carbono: viabilidade econômica de dois sistemas agroflorestais em Viçosa, MG. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 2-9, Aug. 2017. DOI: [10.1590/2179-8087.092114](https://doi.org/10.1590/2179-8087.092114).
- CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 831-843, Nov./Dec. 2009. DOI: [10.1590/S0103-90162009000600017](https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600017).
- CHIZZOTTI, M. L.; LADEIRA, M. M.; MACHADO NETO, O. R.; LOPES, L. S. Eficiência da produção de bovinos e o impacto ambiental da atividade pecuária. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE, 7.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PECUÁRIA DE CORTE, 2., 2011, Lavras. **Anais [...]** Lavras: Simpec, 2011. p. 37-60.
- CORRÊA, R. S.; MADARI, B. E.; CARVALHO, G. D.; COSTA, A. R.; PEREIRA, A. C. C.; MEDEIROS, J. C. Fluxos de óxido nítrico e suas relações com atributos físicos e químicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, Sept. p. 1148-1155, 2016. DOI: [10.1590/s0100-204x2016000900014](https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900014).
- COSTA, H. H. A. **Caracterização florística da pastagem nativa da caatinga e efeitos aditivos sobre o consumo, emissão de metano e desempenho de ovinos**. 2016. 109 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- DERESSA, T. T.; HASSAN, R. M.; RINGLER, C. Perception of and adaptation to climate change by farmers in the Nile basin of Ethiopia. **Journal of Agricultural Science**, v. 149, p. 23-31, Aug. 2011. DOI: [10.1017/S0021859610000687](https://doi.org/10.1017/S0021859610000687).
- FERNANDES, M. S.; FINCO, M. V. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária e políticas de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 182-190, Apr./June 2014. DOI: [10.1590/S1983-40632014000200004](https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000200004).
- FIGUEIREDO, E. B.; JAYASUNDARA, S.; BORDONAL, R. O.; BERCHIELLI, T. T.; REIS, R. A.; WAGNER-RIDDLE, C.; SCALA JÚNIOR, N. L. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, Parte 1, p. 420-431, Jan. 2017. DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.03.132](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132).
- FONTE, S. J.; NESPER, M.; HEGGLIN, D.; VELÁSQUEZ, J. E.; RAMIREZ, B.; RAO, I. M.; BERNASCONI, S. M.; BÜNEMANN, E. K.; FROSSARD, E.; OBERSON, A. Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 150-157, Jan. 2014. DOI: [10.1016/j.soilbio.2013.09.025](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.025).
- GERBER, P. J.; HRISTOV, A. N.; HENDERSON, B.; MAKAR, H.; OH, J.; LEE, C.; MEINEN, R.; MONTES, F.; OTT, T.; FIRKINS, J.; ROTZ, A.; DELL, C.; ADESOGAN, A. T.; YANG, W. Z.; TRICARICO, J. M.; KEBREAB, E.; WAGHORN, G.; DIJKSTRA, J.; OOSTING, S. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. **Animal**, v. 7, Supplement 2, p. 220-234, 2013. DOI: [10.1017/S1751731113000876](https://doi.org/10.1017/S1751731113000876).
- GORDIANO, L. A. **Emissão de metano por caprinos em pastejo na Caatinga nos períodos seco e chuvoso**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina.
- GUIMARÃES FILHO, C.; SOARES, J. G. G. Desenvolvimento de bezerros desmamados pastejando Caatinga e capim buffel e suplementados com feno de leucena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 8, p. 861-864, ago. 1997.
- HOFFMANN, I. Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. **Animal Genetics**, v. 41, p. 32-46, Apr. 2010. DOI: [10.1111/j.1365-2052.2010.02043.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02043.x).
- HOU, Y.; VELTHOF, G. L.; OENEMA, O. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions from manure management chains: a meta-analysis and

- integrated assessment. **Global Change Biology**, v. 21, n. 3, p. 1293-1312, 2015. DOI: [10.1111/gcb.12767](https://doi.org/10.1111/gcb.12767).
- HRISTOV, A. N.; HARPER, M.; MEINEN, R.; DAY, R.; LOPES, J.; OTT, T.; VENKATESH, A.; RANGLES, C. A. Discrepancies and uncertainties in bottom-up gridded inventories of livestock methane emissions for the contiguous United States. **Environmental Science & Technology**, v. 51, p. 13668-13677, 2017. DOI: [10.1021/acs.est.7b03332](https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03332).
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environmentfriendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125-131, Apr. 2016. DOI: [10.1016/j.agee.2016.01.024](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024).
- IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal 2017**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2014: mitigation of climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 1419 p.
- IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012. DOI: [10.1590/S1415-43662012000700005](https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000700005).
- JAYANEGARA, A.; LEIBER, F.; KREUZER, M. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 96, p. 365-375, June 2012. DOI: [10.1111/j.1439-0396.2011.01172.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01172.x).
- JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 8, p. 2483-2492, Aug. 1995. DOI: [10.2527/1995.7382483x](https://doi.org/10.2527/1995.7382483x).
- KLEIN, C. A. M.; LEDGARD, S. F. Nitrous oxide emissions from New Zealand agriculture—key sources and mitigation strategies. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 72, p. 77-85, 2005. DOI: [10.1007/s10705-004-7357-z](https://doi.org/10.1007/s10705-004-7357-z).
- LASCANO, C. E.; CARDENAS, E. Alternativas para mitigação de emissão de metano em sistemas de criação de animais domésticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 175-182, 2010. DOI: [10.1590/S1516-35982010001300020](https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300020).
- LIMA, A. R. C.; FERNANDES, M. H. M. R.; TEIXEIRA, I. A. M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; BOMPADRE, T. F. V.; BIAGIOLI, B.; MEISTER, N. C.; RESENDE, K. T. Effects of feed restriction and forage:concentrate ratio on digestibility, methane emission, and energy utilization by goats. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 12, p. 781-787, Dec. 2016. DOI: [10.1590/s1806-92902016001200008](https://doi.org/10.1590/s1806-92902016001200008).
- LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L. A.; PINHEIRO, R. S. B. Sistemas de produção de bovinos e a emissão de metano. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, p. 153-158, 2013. DOI: [10.17271/19800827972013543](https://doi.org/10.17271/19800827972013543).
- LORENZ, K.; LAL, R. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, p. 443-454, 2014. DOI: [10.1007/s13593-014-0212-y](https://doi.org/10.1007/s13593-014-0212-y).
- LUCAS, R. C. **Características nutricionais e fatores antinutricionais na fermentação ruminal in vitro de espécies arbóreo-arbustivas nativas e exóticas em área de Caatinga no Sertão de Pernambuco**. 2012. 88 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MAGALHÃES, Y.; GALVANI, D. B.; MACHADO, H. C.; SANTOS, S. F.; SANTOS, V. O.; SOUSA, Y. H. L. Produção de metano decorrente da fermentação in vitro de leguminosas nativas do Bioma Caatinga. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA CAPRINOS E OVINOS, 4., 2015, Sobral. **Anais [...]** Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2015. p. 36-37.
- MANGABEIRA, J. A. C.; TÔSTO, S. G.; ROMEIRO, A. R. **Valoração de serviços ecossistêmicos: estado da arte dos sistemas agroflorestais (SAFs)**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2011. 47 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 91).
- MARENCO, J. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; CAMARGO, H.; RIVEROS, M. P.; PABLÓ, A. D. Two contrasting seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 26, p. 9137-9154, 2013. DOI: [10.1175/JCLI-D-12-00642.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00642.1).
- MARQUES, E. A. T.; OLIVEIRA, L. J. Mudanças climáticas no Nordeste brasileiro e refugiados ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 4, p. 965-984, 2016.
- MARTIN, C.; MORGAVI, D. P.; DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: from microbes to the farm scale. **Animal Science**, v. 4, n. 3, p. 351-365, 2009. DOI: [10.1017/S1751731109990620](https://doi.org/10.1017/S1751731109990620).
- MAZZETTO, A. M.; BARNEZE, A. S.; FEIGL, B. J.; GROENIGEN, J. W. van; OENEMA, O.; KLEIN, C. A. M. de; CERRI, C. C. Use of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) does not mitigate N₂O emission from bovine urine patches under Oxisol in Northwest Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 101, p. 83-92, 2015. DOI: [10.1007/s10705-014-9663-4](https://doi.org/10.1007/s10705-014-9663-4).
- MCMANUS, C.; CANOZZI, M. E.; BRACELLOS, J.; PAIVA, S. R. Pecuária e mudanças climáticas. **Revista UFG**, v. 13, p. 73-82, 2012.
- MCSWEENEY, C. S.; PALMER, B.; MCNEILL, D. M.; OKRAUSE, D. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 91, n. 1-2, p. 83-93, May 2001. DOI: [10.1016/S0377-8401\(01\)00232-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00232-2).

- MOTA, C. M. **Fluxo de emissão de metano entérico de ovinos de corte mantidos em sistema agrossilvipastoril e Caatinga degradada**. 2014. 67 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Vale do Aracá, Sobral.
- NATIVIDADE, U. A.; GARCIA, S. R.; TORRES, R. R. Tendência dos índices de extremos climáticos observados e projetados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 600-614, out./dez. 2017. DOI: [10.1590/0102-7786324008](https://doi.org/10.1590/0102-7786324008).
- OLIVEIRA, O. **Caracterização da vegetação espontânea, atividade biológica de taninos condensados e seletividade de ovinos em pastagens nativas**. 2016. 136 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- OLIVEIRA, R. G.; VOLTOLINI, T. V.; MISTURA, C.; MORAES, S. A.; SOUZA, R. A.; SANTOS, B. R. C. Productive performance and carcass characteristics of lambs grazing on pastures of two cultivars of buffel grass and three forage allowance. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, p. 374-384, 2016.
- OLIVEIRA, V. S.; SANTANA NETO, J. A.; VALENÇA, R. L.; SANTOS, A. C. P. Estratégias para mitigar a produção de metano entérico. **Veterinária Notícias**, v. 23, p. 39-70, 2017.
- PATRA, A. K. The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: a meta-analysis. **Livestock Science**, v. 155, n. 2-3, p. 244-254, Aug. 2013. DOI: [10.1016/j.livsci.2013.05.023](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.05.023).
- PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; HUNT, H. W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, v. 48, p. 147-163, 2000. DOI: [10.1023/A:1006271331703](https://doi.org/10.1023/A:1006271331703).
- ROJAS-DOWNING, M. M.; NEJADHASHEMI, A. P.; HARRIGAN, T.; WOZNICKI, S. A. Climate change and livestock: impacts, adaptation, and mitigation. **Climate Risk Management**, v. 16, p. 145-163, 2017. DOI: [10.1016/j.crm.2017.02.001](https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001).
- ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Sociedade & Natureza**, v. 26, p. 333-351, maio/ago. 2014. DOI: [10.1590/1982-451320140210](https://doi.org/10.1590/1982-451320140210).
- ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, n. 24, n. 2, p. 359-376, 2012. DOI: [10.1590/S1982-45132012000200014](https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000200014).
- SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no Semi-Árido Nordeste: estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1275-1291, 2012.
- SANTANA, S. R. A. **Respostas morfofisiológicas de plantasforrageiras submetidas ao déficit hídrico com inoculação de bactérias diazotróficas**. 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina.
- SANTOS, P. M.; VOLTOLINI, T. V.; CAVALCANTE, A. C. R.; PEZZOPANE, J. R. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; BETTIOL, G. M.; CRUZ, P. G. Mudanças climáticas globais e a pecuária: cenários futuros para o Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1176-1196, 2011.
- SEGNINI, A.; OLIVEIRA, P. P. A.; OTAVIANI JUNIOR, P. L.; XAVIER, A. A. P.; PEZZOPANE, J. R. M.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; FERREIRA, E. J.; SPERANÇA, M. A.; RICARDO, J. Assessing soil carbon stocks and accumulation rates in Brazilian livestock production systems. **Advances in Animal Biosciences**, v. 4, p. 339, 2013.
- SILVA, D. S.; ANDRADE, A. P.; MEDEIROS, A. N. Caatinga: produção de pequenos ruminantes à pasto no contexto das mudanças climáticas. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 10., 2015, Teresina. **Anais [...]** Teresina: SNPA, 2015. p. 77-92.
- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1829-1836, 2009. DOI: [10.1590/S0100-06832009000600031](https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600031).
- TAVENDALE, M. H.; MEAGHER, L. P.; PACHECO, D.; WALKER, N.; ATTWOOD, G. T.; SIVAKUMARAN, S. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. **Animal Feed Science and Technology**, v. 123, Part 1, p. 403-419, Sept. 2005. DOI: [10.1016/j.anifeeds.2005.04.037](https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2005.04.037).
- WATERS, C. M.; ORGILL, S. E.; MELVILLE, G. J.; TOOLE, I. D.; SMITH, W. J. Management of grazing intensity in the Semi-Arid Rangelands of Southern Australia: Effects on soil and biodiversity. **Land Degradation & Development**, v. 28, p. 1363-1375, 2017. DOI: [10.1002/ldr.2602](https://doi.org/10.1002/ldr.2602).
- XIE, X. M.; ZHANG, X. Q.; DONG, Z. X.; GUO, H. R. Dynamic changes of lignin contents of MT-1 elephant grass and its closely related cultivars. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1732-1738, May 2011. DOI: [10.1016/j.biombioe.2011.01.018](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.018).
- YDOYAGA, D. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SILVA, M. C.; SANTOS, V. F.; FERNANDES, A. P. M. Métodos de recuperação de pastagens de *Brachiaria decumbens* Stapf. no agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 699-705, May/June 2006. DOI: [10.1590/S1516-35982006000300010](https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000300010).
- ZOTTI, C. A.; PAULINO, V. T. **Metano na produção animal: emissão e minimização de seu impacto**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2009. 24 p.