

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE ZOOTECNIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ELEVAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO E SEUS EFEITOS
EM PLANTAS DO CICLO C₄ (GRAMÍNEAS): UM ESTUDO DE REVISÃO**

Aluna: Carla Costa Viegas
Orientadora: Dra. Rosane Cláudia Rodrigues

CHAPADINHA, MA
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE ZOOTECNIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ELEVAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO E SEUS EFEITOS
EM PLANTAS DO CICLO C₄ (GRAMÍNEAS): UM ESTUDO DE REVISÃO**

Monografia apresentada ao curso de Zootecnia da Universidade Federal do Maranhão como requisito indispensável para a obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia

CHAPADINHA, MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Costa Viegas, Carla.

ELEVAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO E SEUS EFEITOS EM PLANTAS DO CICLO C₄ GRAMÍNEAS: UM ESTUDO DE REVISÃO / Carla Costa Viegas. - 2022.
22 f.

Orientador(a): Rosane Cláudia Rodrigues.

Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2022.

1. Elevação CO₂. 2. Forragem. 3. Gases de efeito Estufa. 4. Plantas C₄. 5. Sequestro Carbono. I. Rodrigues, Rosane Cláudia. II. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, ao meu pai João Viegas, ao meu amigo e companheiro, Marlon Souza Jr. Aos meus amigos que tornaram essa jornada mais amena, em especial a Gilciane Mota, Barbara Carvalho, Maria Madalena, Luana Marques e Stefhany Oliveira.

Muito obrigada.

DEDICATÓRIA

Dedico esse projeto a minha maior fã, minha mãe. *In memoriam*, Margarete Cutrim Costa.

RESUMO

Os Gases de efeito estufa (GEE) estão presentes naturalmente na atmosfera, porém estudos apontam que estes vem aumentando devido a ações antropogênicas. Dentre os GEE está o gás carbônico (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). O último relatório divulgado pelo IPCC indica a constante evolução global nos níveis de emissão de gases de efeito estufa, em que a concentração de CO₂ na atmosfera atingiu 400 μmol mol⁻¹. O aumento da temperatura média terrestre no período de 2006 a 2015 foi de 1,53°C maior do que no período de 1850 a 1900, causando várias alterações como a mudança nos índices de precipitação, início e fim das épocas de cultivo, redução regional da produção agrícola, redução na disponibilidade de água doce e alteração na biodiversidade (IPCC, 2020). Estudos apontam que elevadas concentrações de CO₂ causa alterações fisiológicas nas plantas de forma a modificar a assimilação do mesmo e por consequência altera a taxa fotossintética, absorção e translocação de nutrientes, eficiência no uso da água, expressão gênica, quantidade enzimática, especialmente quando outros recursos como água, luz e nutrientes não são fatores limitantes do processo (Santos, et al., 2017).

O trabalho teve como objetivo uma revisão de literatura a respeito do tema, afim de apresentar de forma sucinta e comparativa os principais estudos já publicados e demonstrar a importância dos trabalhos que avaliam o impacto do incremento de CO₂ na produção e qualidade das gramíneas. Elevadas concentrações de CO₂ tem menor impacto em plantas C₄ que em plantas C₃ e os resultados encontrados sempre variam de acordo com a cultivar estudada, os fatores abióticos e disposição de nutrientes da região, sendo a temperatura o fator que mais intervém.

Palavras – Chaves: Elevação de CO₂; Forragem; Gases de Efeito Estufa; Sequestro Carbono; Plantas C₄

ABSTRACT

Greenhouse gases (GHGs) are naturally present in the atmosphere, but studies indicate that these have been increasing due to anthropogenic actions. The latest report released by the IPCC indicates the constant global evolution in the emission levels of greenhouse gases, in which the concentration of CO₂ in the atmosphere reached 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. The increase in the average terrestrial temperature in the period from 2006 to 2015 was 1.53°C higher than in the period from 1850 to 1900, causing several changes such as the change in precipitation rates, beginning and end of the growing seasons, regional reduction agricultural production, reduction in freshwater availability and change in biodiversity (IPCC, 2020). Studies indicate that high concentrations of CO₂ cause physiological changes in plants in order to modify its assimilation and consequently alter the photosynthetic rate, absorption and translocation of nutrients, water use efficiency, gene expression, enzymatic amount, especially when other resources as water, light and nutrients are not limiting factors of the process (Santos, et al., 2017). The objective of this work was to review the literature on the subject, in order to present, in a succinct and comparative way, the main studies already published and to demonstrate the importance of studies that evaluate the impact of increasing CO₂ on the production and quality of grasses. High concentrations of CO₂ have a lower impact on C₄ plants than on C₃ plants and the results found always vary according to the cultivar studied, the abiotic factors and nutrient availability in the region, with temperature being the most intervening factor.

Keywords: Elevated CO₂; Forage; Greenhouse gases; Carbon sequestration; Plants C₄;

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	13
2.1. Geral.....	13
2.2. Específicos	13
3. METODOLOGIA.....	14
4. Aumento de CO₂ na atmosfera e seus impactos.....	15
5. Pastagens e Mitigação das Emissões Derivadas da Pecuária	16
6. Aumento da concentração de CO₂ e plantas C₄.....	16
7. Conclusão	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Utilização da terra em hectares (ha).....	10
Figura 2. Figura 2. FACE – Free Air Carbon Dioxide Enrichment.....	17

1. INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial, no século XVIII, houve o aumento nas emissões de gás carbônico (CO₂) e outros gases como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Estes gases foram denominados de Gases do Efeito Estufa (GEE), por terem a capacidade de reter uma quantidade de energia em forma de calor e com isso alterar a temperatura atmosférica a níveis globais.

O último relatório divulgado pelo IPCC indica a constante evolução global nos níveis de emissão de gases de efeito estufa, em que a concentração de CO₂ na atmosfera atingiu 400 μmol mol⁻¹. O aumento da temperatura média terrestre no período de 2006 a 2015 foi de 1,53°C maior do que no período de 1850 a 1900, causando várias alterações como a mudança nos índices de precipitação, início e fim das épocas de cultivo, redução regional da produção agrícola, redução na disponibilidade de água doce e alteração na biodiversidade (IPCC, 2020)

Os elevados níveis de GEEs vem interferindo nos diversos setores, dentre eles os impactos nas plantas e na produtividade em geral de todos os ecossistemas, pois alteram as propriedades climáticas básicas globais. Os impactos podem chegar a alterar a fisiologia das plantas, a produção e biomassa assim como o rendimento das culturas de uma forma geral (Wang, et al., 2019).

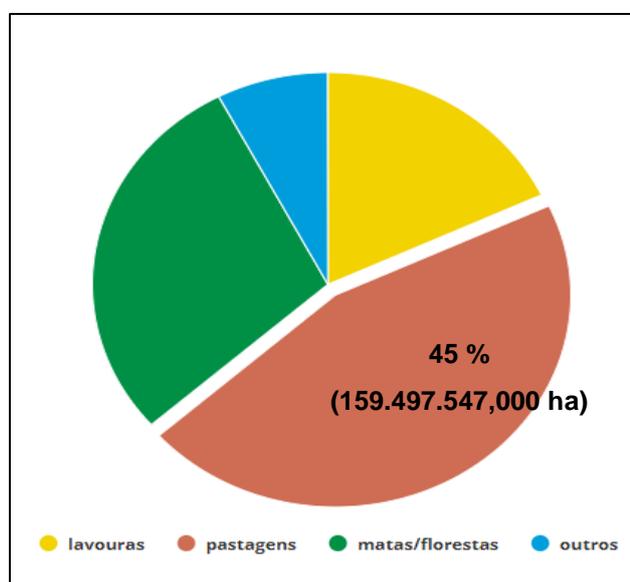
Alterações climáticas vêm sendo observadas nos últimos anos, de tal maneira que o Quarto Relatório de Avaliações das Mudanças Climáticas Globais (IPCC AR4) atribui tais mudanças às emissões de gases de efeito estufa como o principal agente causador do aumento da temperatura terrestre, modificando também a aptidão climática para as culturas agrícolas (Castro, et al., 2020).

As pastagens para produção pecuária são a principal fonte de alimento para animais em pastejo no mundo (Michalk et al., 2019) e a maior classe de uso da terra no planeta (~3,5 bilhões de ha) (Lambin & Meyfroidt, 2011). Diversos estudos com culturas diferentes apontam que o incremento de CO₂ causa alterações fisiológicas nas plantas de forma a modificar a assimilação do CO₂ e por consequência altera a taxa fotossintética, absorção e translocação de nutrientes, eficiência no uso da água, expressão gênica, quantidade enzimática, especialmente quando outros recursos como água, luz e nutrientes não são fatores limitantes do processo (Santos, et al., 2017).

O Brasil destaca-se por sua atividade pecuária, sendo maior parte do seu rebanho criado à pasto. De acordo com o USDA (2011), em 2011, o Brasil respondeu

por 16,6 % da produção mundial de carne bovina (9,41 milhões de toneladas de equivalente carcaça) e por 22,4 % das exportações (1,81 milhões de toneladas de equivalentes). Com isso é relevante o número de áreas cobertas por plantas de interesse forrageiro, do ciclo C4. Segundo dados do Monitoramento da cobertura e uso da Terra no Brasil, entre 2000 e 2018, observa-se uma expansão de 27% nas áreas destinadas às pastagens com manejo, sendo que a maior parte desse crescimento concentra-se no período de 2000-2010, especialmente na borda leste do bioma Amazônia, onde ocorre o avanço das pastagens com manejo sobre as florestas.

Figura 1. Utilização da terra em hectares (ha)



Fonte: IBGE/Agro/2017

Uma das Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMA) para permitir o desenvolvimento da pecuária brasileira com mitigação de gases de efeito estufa é a recuperação de pastagens (BRASIL, 2010)

A quantidade de C em áreas de pastagens bem manejadas é superior à de áreas degradadas quando comparados solos de mesma textura e estrutura. Portanto, áreas com pastagens são factíveis de mitigar os GEE. Após a mudança de uso na terra espera-se que o C do solo entre em novo equilíbrio, mas a maior eficiência de produção de carne e leite, e de outros produtos, implica em emissões de CH₄ relativamente menores (CERRI et al., 2010)

Existe uma forte tendência de que o aumento da concentração de CO₂ é capaz de provocar o aumento nas taxas de fotossíntese e redução da condutância estomática na fisiologia das plantas (Mackinder, 2018; Wang, et al., 2019) .Muitos

estudos tem avaliado a elevação de CO₂ atmosférico e seus impactos na fisiologia das plantas, no entanto poucos ainda avaliam isoladamente esse efeito em plantas do ciclo fotossintético C4 (gramíneas) . Este trabalho tem o objetivo de avaliar, através de um estudo de revisão, os efeitos resultantes do aumento da concentração de CO₂ atmosféricos em plantas do ciclo C4 (gramíneas), apresentando de forma sucinta e comparativa os principais estudos a respeito do tema.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

- Avaliar, através de um estudo de revisão, os efeitos resultantes do aumento da concentração de CO₂ atmosféricos em plantas do ciclo C4 (gramíneas).

2.2. Específicos

- Apresentar de forma sucinta e comparativa os principais estudos a respeito do tema.
- Demonstrar a importância de estudos que avaliam o impacto do incremento de CO₂ na produção e qualidade das gramíneas.

3. METODOLOGIA

3.1 Revisão Sistemática - Estratégia de busca

A pesquisa nas bases de dados, PubMed, Scopus, Google Acadêmico e Science Direct foram realizadas com a busca das seguintes palavras chaves: Elevação de CO₂, Elevated CO₂, Forragem, Forage, a pesquisa foi limitada a artigos publicados nos últimos 10 anos e foram descartados artigos de revisões, livros e projetos de monografias.

3.2 Revisão Sistemática - Referências recuperadas

Como os efeitos da elevação da concentração de CO₂ atmosférico na produtividade das gramíneas as C4 não são tão previsíveis quando avaliados em conjunto com plantas do ciclo C3 (DIJKSTRA et al., 2010), foram considerados apenas as referências avaliando exclusivamente plantas do ciclo fotossintético do tipo C4.

Do total de referências recuperadas, cerca de 23% se tratavam de trabalhos que não se enquadravam na busca (projetos de monografia, artigos de revisões, livros).

4. Aumento de CO₂ na atmosfera e seus impactos

Como já mencionado, desde a Revolução Industrial as emissões de CO₂ e de outros GEE aumentaram drasticamente. Vale lembrar que o efeito estufa ocorre naturalmente e é o que permite a existência da vida no planeta. Naturalmente já existem concentrações de GEE na atmosfera, a energia solar ultrapassa a camada da atmosfera sem interagir com os gases já presentes, quando atinge a superfície terrestre essa energia é refletida e volta para a atmosfera em um comprimento de onda mais longo, ocorrendo interação com os GEE nesta camada. Esse processo de irradiação será em parte absorvido na atmosfera, o que conseqüentemente aumenta a temperatura média do ar, permitindo que a temperatura média da atmosfera terrestre seja de 15° C. Caso não houvesse esse chamado “efeito estufa natural”, a temperatura média da Terra seria de -18° C, inviabilizando a vida de muitos organismos.

A medição dos gases atmosféricos que contribuem para o efeito estufa afirmam que a proporção de CO₂ aumentou em nível global de 280 μmol mol⁻¹ antes da era industrial para 379 μmol mol⁻¹ em 2005. A estimativa atual está em uma emissão de 412.88 μmol mol⁻¹ (NOAA, 2017)

O último relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) discorre sobre as especulações acerca do aumento previsto para a temperatura terrestre em que, além de alterar o volume e a distribuição das precipitações e concentração de CO₂, afetam o equilíbrio ecológico e faz com que aumente também os processos de respiração e decomposição, gerando um aumento nas perdas de carbono e nitrogênio para a atmosfera (Ambrizzi & Araujo, 2020)

Dentre as estratégias de se reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE), e aumentar a absorção de carbono, está o gerenciamento do uso das terras, que por consequência aumenta o crescimento das plantas, o microclima, o estado dos nutrientes no solo, entre outros, em que foi observado também que o aumento dos níveis de CO₂ provoca o crescimento de plantas e a cobertura das plantas lenhosas em pradarias e savanas (IPCC 2020).

A temperatura do planeta é o principal fator de risco associado ao aumento das concentrações de GEE na atmosfera, vale ressaltar que o Brasil tem um cenário agrícola muito forte, possui o maior rebanho comercial do mundo e tem em sua característica a criação de animais à pasto. Logo, o manejo adequado de pastagem, além de nutrir melhor o rebanho, pode contribuir em muito para a mitigação de GEE.

5. Pastagens e Mitigação das Emissões de CO₂

Para ajudar a mitigar o aquecimento global, a preservação de florestas é frequentemente citada como uma forma de atenuar os aumentos das concentrações de CO₂ na atmosfera. No entanto, pastagens que cobrem 26% da superfície terrestre, equivalendo cerca de 70% das áreas agrícolas mundiais são tão importantes quanto as florestas em termos de sequestro potencial de carbono. (BIACONI, M.E., 2013).

Segundo o censo agropecuário de 2017, o rebanho bovino brasileiro foi efetivado em mais de 200 milhões de cabeça, sendo a pecuária em sua maioria pautada em sistemas de pastejo. O cenário do agronegócio brasileiro coloca o Brasil entre os países com maiores desafios para mitigação de GEE, principalmente os oriundos do mau uso da terra.

As gramíneas tropicais são a principal fonte de alimento para a produção pecuária brasileira, que apresenta um dos maiores rebanhos de ruminantes e é responsável por 15% da produção mundial de carne com aproximadamente 211 milhões de cabeças, ocupando 170 milhões de hectares de pastagem, em sua maioria cultivada com espécies de gramíneas do gênero de origem africana *Brachiaria spp.* (ABDALLA FILHO, 2018)

Sistemas de produção pautados em pastagens recuperadas e adequadamente manejadas possuem reconhecidos potenciais de sequestro de carbono e mitigação dos GEE, devido à elevada produção de forragem, maior eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados e ao acúmulo de matéria orgânica no solo (SOLLENBERGER et al., 2019).

Contudo a estocagem de C pelas plantas está relacionada a diversos fatores que precisam ser mapeados, entre eles: condições abióticas (temperatura, água e nutrientes do solo), diversidade de espécies, manejo da produção, dimensão da área, idade das plantas e povoamento (SILVA et al., 2014).

6. Aumento da concentração de CO₂ e plantas C4

Todos os trabalhos estudados que avaliam o aumento dos GEE, projetam que as plantas de metabolismo C4 serão mais influenciadas nas regiões da África e América Central, pois são as regiões do mundo em que maior parte da sua agricultura estão concentradas nessas culturas.

Os cenários atuais indicam que a produção de alimentos e biocombustível serão dependentes de culturas C4 no futuro, com uma tendência de que a demanda

global pelo milho como suprimento alimentício ultrapasse a de trigo e arroz, se tornando a principal colheita do mundo (Leakey,2012).

Assim como a temperatura, o CO₂ é essencial pois é o substrato primário da fotossíntese, logo as mudanças de concentrações deste serão primeiramente observados através de mudanças fisiológicas nas plantas. De acordo com Leakey, (2012) as principais espécies comerciais cujo metabolismo fotossintético se enquadra em C₄ são o milho (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench), painço (principalmente *Pennisetum glaucum* [L.] r. Br., *Setaria italica* [L.] P. Beauvois, *Panicum miliaceum* L., *Eleusine coracana* L.), e cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Sendo o *Sorghum* ssp. a cultura mais avaliada em trabalhos científicos.

A metodologia mais utilizada, nos trabalhos avaliados, para a elevação da concentração de CO₂, é a de enriquecimento de CO₂ ao ar livre (FACE – Free Air Carbon Dioxide Enrichment) (Figura 2), que aumenta a concentração de CO₂ em uma área especificada e permite que a resposta do crescimento da planta seja medida. A produção de matéria seca (MS) e área foliar foram as variáveis mais avaliadas.

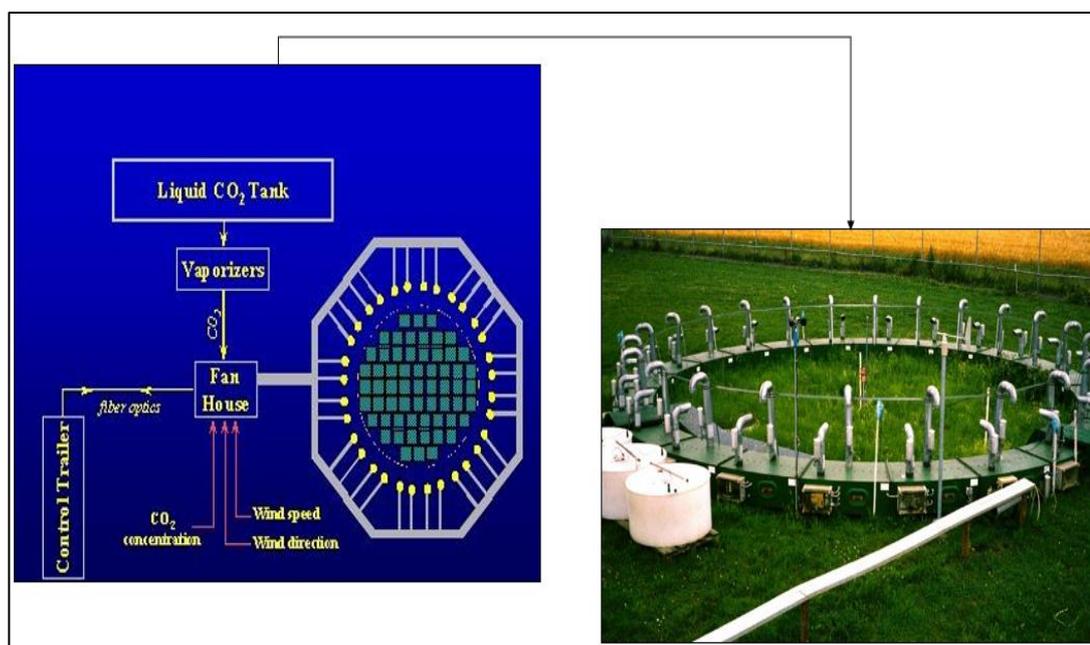
O aumento de CO₂ atmosférico na maioria dos casos tem provocado uma estimulação direta da fotossíntese e do crescimento da planta sendo até três vezes maiores em espécies C₃ do que C₄ (SAGE E KUBIEN, 2013). O aumento da fotossíntese indica aumento de biomassa e ganho de carbono, enquanto que a redução da condutância estomática acarreta em menores taxas respiratórias e, portanto, menos perdas na umidade do solo, logo redução das perdas por estresse hídrico. Portanto, os altos níveis de CO₂ ambiente tem relação positivas em plantas de metabolismo C₄ apenas sob condições de estresse hídrico.

A explicação fisiológica para justificar o aumento da fotossíntese em plantas C₄ se apoia em uma base bioquímica de que aumentando os níveis de CO₂ em torno da RUBISCO, gera o aumento imediato da carboxilação que captura o CO₂ e inibe competição com a oxigenação realizada por esta enzima, que por sua vez acarreta na fotorrespiração e conseqüente perda de carbono (Ainsworth & Rogers, 2012)

A alta variabilidade encontrada na literatura com relação a resposta da fotossíntese ao incremento do CO₂ pode estar ligado a diversos fatores como a taxa máxima de carboxilação da RUBISCO e o transporte de elétrons, além de serem também levados em conta a temperatura e condição de crescimento das plantas e as estimativas corretas de condutância estomática e em especial a variação de cada

espécie estudada (Busch & Sage, 2016; Mackinder, 2018). Além disto, a resposta das plantas à elevação da concentração de CO₂ atmosférico podem variar de acordo com a espécie avaliada (HAGER et. Al., 2016)

Figura 2. FACE – Free Air Carbon Dioxide Enrichment



Fonte: <https://www.uni-giessen.de/faculties/f08/departments/plantecology>

Liquid CO₂ Tank: Tanque de CO₂ líquido; **Vaporizers:** vaporizadores; **Fan House:** Casa de distribuição; **Control Trailer:** “Trailer” de controle; **CO₂ concentration:** CO₂ concentrado; **Wind speed:** velocidade do vento; **Wind Direction:** direção do vento
O CO₂ líquido, no tanque, através de vaporizadores passa para a casa de controle, está é controlada para que distribua CO₂ concentrado em uma velocidade e direção específica para a área de experimento.

7. Conclusão

O incremento de CO₂ atmosférico favorece o crescimento em plantas C4, porém em menores proporções quando comparado a plantas C3. Os resultados encontrados sempre variam de acordo com a cultivar estudada, os fatores abióticos e disposição de nutrientes da região, sendo a temperatura o fator que mais intervém. Em elevada temperatura, o aumento da [CO₂] diminui a condutância estomática e a transpiração, e assim a perda de calor latente é menor (Bernacchi et al. 2012), ocasionando além do eficiente uso da luz, o uso eficiente da água.

Os resultados do incremento de CO₂ e plantas C4 ainda são inconclusivos, sendo necessários mais estudos experimentais para melhor entendimento a respeito das mudanças climáticas e seu impacto na agropecuária, para que se desenvolva melhores estratégias e adaptação dos setores de produção a essas mudanças.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA FILHO, Adibe Luiz. **Quantificação e caracterização da biomassa produzida em condições de simulação de aumento da concentração de CO₂ atmosférico no sistema agropastoril**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo
- AMBRIZZI, T. & ARAÚJO, M. (2020). **Base científica das Mudanças Climáticas - PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf
- BERNACCHI, C.J., KIMBALL, B.A., QUARLES, D.R., LONG, S.P. & ORT, D.R. 2012. **Decreases in stomatal conductance of soybean under open-air elevation of CO₂ are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration**. *Plant Physiology* 143: 134–144.
- BIACONI, M.E. 2013. **Trocas gasosas foliares e crescimento de uma forrageira c4 tropical no contexto das mudanças climáticas**. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 110p
- BRASIL. **Nationally Appropriate Mitigation Actions**. 2010. Disponível em: www.casacivil.gov.br. Acesso em: 26/12/2021
- BUSCH, F. & SAGE, A. R. (2017). **The sensitivity of photosynthesis to O₂ and CO₂ concentration identifies strong Rubisco control above the thermal optimum**. *New Phytologist*, 213(3), 1036-1051
- CASTRO, F. S., XAVIER, A. C., PIMENTA, L. R., ELESBON, A. & ALEXANDRE, A. (2020) **Brazilian Journal**. of Development., 6(5), 28410-28427.
- CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; MAIA, S. M. F.; CERRI., C. E. P.; JUNIOR, C. C.; FEILG, B. J.; FRAZÃO, L. A.; MELLO, F. F. De C.; GALDOS, M. V.; MOREIRA, C. S.; CARVALHO, J. L. N. **Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture**. *Sci. Agric. Piracicaba*, v. 67, n. 1, p. 102-116, 2010.
- HAGER, H.A; RYAN, G.D; KOVAES, H.M.; NEWHAN, J.A. **Effects of Elevated CO₂ on photosynthetic traits of native and invasive C₃ and C₄**. *BCM Ecology*, London, v.16, p.28, 2016. Doi:10.1186/s12898-016-0082-z
- IBGE 2017 **Utilização da terra em hectares**. Disponível em: https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/estabelecimentos.html

IBGE - **Censo Agro 2017**. Disponível em: https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/pdf/producao.pdf . Acesso em 26/01/2022

IPCC - **The Intergovernmental Panel on Climate Change**. (2020). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-1/> / Acesso em:26/12/2021

SANTOS, D, HAERBAERT, F. M., LUCIO, A. D., LINDOLFO, S. & CARGNELUTTI FILHO, A. (2012). **Tamanho ótimo de parcela para a cultura do feijão-vagem**. Rev. Ciênc. Agron, 43(1) 119-128.

LAMBIN, E.F., AND P. MEYFROIDT. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. Proc. Natl. Acad. Sci. 108(9): 3465–3472. doi: 10.1073/pnas.1100480108.

LEAKEY, A.D. (2012). **Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C4 crops for food and fuel**. Proceedings of The Royal Society B, 276(1666) 2333-2343

MACKINDER, L. C. M. (2018). **The Chlamydomonas CO2: concentrating mechanism and its potential for engineering photosynthesis in plants**. New Phytologist, 217(1), .54-61.

MICHALK, D.L., D.R. Kemp, W.B. Badgery, J. Wu, Y. Zhang, et al. 2019. **Sustainability and future food security—A global perspective for livestock production**. L. Degrad. Dev. 30(5): 561–573. doi: 10.1002/ldr.3217.

Monitoramento da cobertura e uso da Terra no Brasil 2000-2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/

NOAA. 2017. **National Climatic Data Center, State of the Climate**. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/> . Acesso em: 26/12/2021

SILVA, Laís Batista Carmo. **Efeitos do aquecimento e da elevada concentração atmosférica de CO2 na dinâmica de carbono e nitrogênio do solo e de duas forrageiras tropicais (Panicum maximum e Stylosanthes capitata)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Biologia Comparada) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2014. doi:10.11606/D.59.2014.tde-06102014-170623. Acesso em: 21-01-2022

SOLLENBERGER, L.E., M.M. Kohmann, J.C.B. Dubeux, and M.L. Silveira. 2019. **Grassland management affects delivery of regulating and supporting ecosystem services**. *Crop Sci.* 59: 1–19. doi: 10.2135/cropsci2018.09.0594.

USDA, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 2011. **United States Department of Agriculture. National Agricultural Statistics Service. Statistical Relatories**. Disponível em <http://www.usda.gov> Acesso em: 22/12/2021.

WANG, J., HASEGAWA, T., Li, L., LAM, S. K., ZHANG, X., LIU, X. & GENXING, P. (2019). **Changes in grain protein and amino acids composition of wheat and rice under short term increased [CO₂] and temperature of canopy air in a paddy from East China**, *New Phytologist*, 222(2),726-734