

**VIABILIDADE TÉCNICA DA SEMEADURA DE NUVENS COMO ALTERNATIVA
PARA MINIMIZAR IMPACTOS DA SECA NA AGRICULTURA DO CENTRO-
OESTE****Lincoln Baptista Gonzaga Filho¹****Tammyse Araújo da Silva²****RESUMO**

Os períodos de estiagem são os que menos produzem chuvas e, no Centro-Oeste brasileiro, a falta de água é uma das responsáveis por eventuais prejuízos nas 2^a safras (também chamada de entressafra ou safrinha), principalmente a do milho. Diante desse problema, a pesquisa tem como objetivo analisar a possibilidade de praticar a semeadura de nuvens no Centro-Oeste, realizada por aviões de médio porte, a fim de mitigar os danos causados à produção agrícola durante a seca. Para atingir o objetivo proposto, adotou-se uma metodologia de natureza básica, com procedimentos bibliográficos e documentais. Entre os documentos, cartas SIGWX PROG brasileiras das 18 UTC, de 2019 a 2023 foram consultadas para registrar as nuvens com potencial de serem semeadas (espessura mínima de 6.500 pés) e os Quadrantes com maior frequência de nuvens. Além delas, o manual do avião Sêneca III serviu de base para os cálculos de custo da técnica. Assim, os resultados demonstraram que as áreas cultivadas pertencentes ao Quadrante 6 estão mais propícias à formação de nuvens médias e grandes cumulus durante a estiagem, e que estas nuvens, em sua maioria, podem ser semeadas com água e precipitar na região. Por outro lado, observou-se que o custo para essa operação leva em conta diferentes variáveis, desde o tamanho da área até o número de dias para produzir chuva suficiente. Considerando os resultados, a pesquisa conclui que a prática pode ser viável, principalmente para as lavouras do Quadrante 6, desde que a tendência de nuvens permaneça e o custo considere todas as variáveis.

Palavras-chave: Semeadura de nuvens. Estiagem. Centro-Oeste. Produção agrícola.

¹Graduado em Ciências Aeronáuticas pela PUC/GO. Piloto privado em instrução prática; tem curso de conscientização AVSEC pela ANAC; curso de Basicmed And Aeromedical Questions & Answers (ABS), pela FAA. Técnico em administração pelo Instituto Tecnológico do Estado de Goiás (ITEGO). E-mail: lincolnfilho85@hotmail.com

²Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Graduada em Ciências Aeronáuticas pela UnisulVirtual. Professora da Escola Politécnica e de Artes no curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. EC-PREV pelo CENIPA. Credenciada no SGSO pela ANAC e pela INFRAERO. Treinamento de CRM e alta performance pela FCT. E-mail: tammyse@hotmail.com / tammyse@pucgoias.edu.br

FEASIBILITY STUDY OF CLOUD SEEDING TO MITIGATE AGRICULTURAL LOSSES DURING DROUGHT IN THE MIDWEST

ABSTRACT

Drought periods are the ones that rain the least, and in the Brazilian Midwest, water scarcity is one of the factors responsible for potential losses in the 2nd crops (also called interseason or safrinha), especially corn. Considering this issue, the research aims to analyze the feasibility of cloud seeding in the Midwest, carried out by medium-sized planes, in order to mitigate the damage caused to agricultural production during the dry season. To achieve the proposed objective, a basic nature methodology was adopted, using bibliographical and documentary procedures. Among the documents, Brazilian 18 UTC SIGWX PROG charts from 2019 to 2023 were consulted to record clouds with the potential to be seeded (minimum thickness of 6,500 feet) and quadrants with the highest frequency of clouds. Additionally, the Seneca III aircraft manual served as the basis for cost calculations of the technique. The results had demonstrated that cultivated areas in Quadrant 6 are more conducive to the formation of medium and tower cumulus clouds during the drought, and that these clouds, for the most part, can be seeded with water and precipitate in the region. On the other side, it was observed that the cost for this operation consider account different variables, from the area size to the number of days to produce sufficient rainfall. Considering the results, the research concludes that the practice may be feasible, especially for crops in Quadrant 6, as long as the cloud trend persists, and the cost consider all variables.

Keywords: *Cloud seeding. Drought. Midwest. Agricultural production.*

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Aliança Agroeconômica (2023), em 2022 a região Centro-Oeste brasileira foi responsável por 71,61% das exportações nacionais de milho. Por outro lado, em anos anteriores, a colheita de milho não teve o mesmo índice. A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2021) ressaltou que, nas safras de 2020 e de 2021, a segunda colheita de milho enfrentou danos causados pela seca em estados produtores essenciais para a economia, o que impactou significativamente na produção e no lucro regionais.

Assim, as estiagens trazem problemas para a produção agrícola e, conseqüentemente, à economia do país. Por esta razão, ações com potencial para resolver questões relacionadas à estiagem são essenciais e precisam ser discutidas e fomentadas, como é o caso da semeadura de nuvens. Com base nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da técnica de semeadura de nuvens no Centro-Oeste brasileiro durante a estiagem, de modo a mitigar prováveis prejuízos. Deve-se ter em mente que a região, vital para o agronegócio brasileiro, enfrenta desafios em suas produções durante períodos de escassez de chuvas.

Para alcançar este objetivo, o estudo tem como referência uma metodologia de natureza básica, abordagem qualitativa, com procedimentos bibliográfico e documental. Os ambientes de pesquisa selecionados estão centrados em livros e artigos hospedados no Google Acadêmico, sites do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e da Rede de Meteorologia (REDEMET), bem como o Manual de Voo da aeronave Sêneca III.

A estrutura do texto está dividida em quatro seções, além desta introdutória. A primeira consiste na revisão teórica que aborda o panorama agrícola brasileiro, caracterizando safras importantes, a diversificação da produção e o regime de chuvas no Brasil, com ênfase na importância para o Centro-Oeste e na semeadura de nuvens. A segunda descreve os procedimentos metodológicos, seguida da

terceira, que discute os resultados e a aplicabilidade da técnica. Por fim, as considerações finais são tecidas.

A partir do levantamento do estudo, é provável que o Centro-Oeste brasileiro possa ter nuvens capazes de gerar chuva a partir da semeadura de nuvens no período de estiagem.

2 REVISÃO TEÓRICA

O Brasil é um dos maiores produtores agrícola do mundo e sua comercialização representa mais de 1/4 do Produto Interno Bruto (PIB). Com essa importância, é recorrente a busca por diferentes formas de alavancar a produtividade na lavoura em todo país (Cepea¹, 2023). Todavia, as condições climáticas interferem no cultivo, especialmente na sazonalidade das chuvas, fundamental para determinar o ciclo de plantio (Monteiro, 2009). O Centro-Oeste, especialmente afetado pela estiagem, enfrenta, assim, desafios na produção devido à falta de chuvas na época característica local.

A semeadura de nuvens se apresenta, então, segundo estudos, como alternativa para minimizar os efeitos da estiagem. Compreender essa técnica é essencial para avaliar sua aplicabilidade em regiões com demandas hídricas, como o período de estiagem no Centro-Oeste.

2.1 PANORAMA SOBRE A PRODUÇÃO AGRÍCOLA BRASILEIRA

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a soja liderou a produção agrícola no Brasil em 2021, seguida pelo milho. Estas *commodities*² têm colocado o país em destaque, com ênfase para a soja, líder mundial desde 2019 (Ministério da Agricultura e Pecuária, 2022). De acordo com Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (ANEC, 2023), a exportação para o exterior de soja e milho somou mais de 120,9 milhões de toneladas em 2022,

¹ Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada.

² Mercadorias em estado bruto ou de simples industrialização e negociadas em escala mundial (Dicionário Financeiro, 2016).

destinadas ao consumo humano e à produção de rações animais e de biocombustível (Perreira; de Castro, 2022).

Em 2022, o agronegócio brasileiro contribuiu com 24,8% do PIB, impulsionado por incentivos governamentais e pela redução nos preços de fertilizantes e defensivos agrícolas (Cepea, 2023). O país classificou-se como o 4º maior produtor mundial de alimentos. O clima tropical/equatorial e as condições climáticas locais favorecem a diversidade de culturas adaptadas ao solo brasileiro (Agrofy News, 2023). Entre os estados proeminentes, destacam-se Mato Grosso (18,1%)³, São Paulo (14,9%), Rio Grande do Sul (14,3%) e Paraná (10,5%) como as maiores áreas agrícolas do país (IBGE, 2022).

No Centro-Oeste, área de interesse deste estudo, apesar do solo altamente ácido, a revolução verde⁴ impulsionou a mecanização, permitindo o cultivo de soja, milho e arroz (Syngenta Digital, 2019). Destaca-se, ainda, a segmentação do escoamento de milho e soja, com o Mato Grosso liderando como principal exportador, representando 35% das exportações brasileiras (Dassan *et al.*, s.d.).

De modo geral, a expressiva contribuição da agricultura brasileira para a comercialização mundial de grãos resultou em substanciais modificações no processo produtivo. Nesse sentido, segundo o Boletim Regional, Urbano e Ambiental publicado em 2021 pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), nos últimos 30 anos nenhum dos maiores produtores agrícolas do planeta passaram por transformações produtivas, mudanças nos usos da terra e alcance de mercados externos tão significativos quanto o Brasil (IPEA, 2021).

Diante dessa realidade, o conhecimento sobre o manejo da terra torna-se essencial para o sucesso da produção agrícola. Por conseguinte, tendo em vista que a fenologia⁵ de uma espécie cultivada constitui uma ferramenta eficaz de manejo, o que possibilita bons rendimentos à cultura, deve-se entender que cada

³ Percentuais de terras nessa classe, em relação ao total de território brasileiro.

⁴ Modernização da agricultura iniciada na década de 1960, caracterizada pela adoção de tecnologias na produção agrícola, tais como: uso de fertilizantes químicos, irrigação, mecanização e mutação genética dos grãos, permitindo o cultivo em áreas que antes eram imprestáveis à produção agropecuária (Dutra; Souza, 2018).

⁵ Fenologia refere-se à parte da botânica que estuda as diferentes fases do crescimento e desenvolvimento das plantas (Câmara, 2006).

planta passa por fases de desenvolvimento tanto vegetativo⁶ quanto reprodutivo⁷ (Câmara, 2006).

Portanto, é importante que se identifique a melhor época para o plantio, considerando a temperatura e o ciclo pluviométrico da região, para que cada uma dessas etapas seja mais bem aproveitada. No Brasil, é comum as culturas anuais, também conhecidas como culturas de ciclo curto ou 1ª safra, as quais finalizam seu ciclo produtivo em um ano ou em até menos tempo, como soja⁸, milho, feijão, arroz, algodão, trigo e sorgo. Também deve-se observar o período compreendido entre o fim da colheita até o início do novo plantio, conhecido como entressafra, safrinha ou 2ª safra (Pedrosa, 2014). O cultivo da safrinha no Brasil muitas vezes coincide com períodos de estiagem.

Sobre a entressafra, esta melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo e auxilia no controle de plantas daninhas, doenças e pragas, protegendo o solo da erosão para safra seguinte (Umburanas, s. d). Importante acrescentar que a produção na entressafra vem recentemente ganhando destaque, inclusive no Cerrado brasileiro, com desempenho produtivo bastante favorável (Agrishow Digital, 2022).

Um exemplo do potencial desse manejo da terra no Centro-Oeste é o cultivo da soja (de 1ª safra) e do milho (2ª safra). Nesta região, o plantio da soja ocorre entre o fim do inverno até o fim da primavera, essa etapa é finalizada ao término do mês de dezembro e seu ciclo, desde a germinação até a colheita, varia em até 120 dias ou 4 meses (CONAB, 2022). Uma vez que a colheita constitui uma etapa importante no processo produtivo, é necessário que o teor de umidade dos grãos esteja entre 13% e 15% a fim de minimizar os problemas mecânicos e perdas na colheita (Portugal; Silveira, 2021). Logo após a 1ª safra da soja, ocorre o cultivo de milho 2ª safra, entre os meses de maio a setembro, concentrado principalmente em área que teve a soja. Em 2020, por exemplo, o milho 2ª safra foi semeado em

⁶ São elas: germinação, emergência, crescimento da parte aérea e das raízes.

⁷ São elas: florescimento, frutificação e maturação.

⁸ A soja foi a cultura que mais contribuiu para o recorde da safra em 2020, com crescimento de 6,5% em comparação com 2019 (Ministério da Agricultura e Pecuária, 2022).

aproximadamente 33% da área cultivada com soja no Brasil (Magalhães *et al.*, 2020).

Do exposto, fica evidente a busca pelo aproveitamento da terra para a produção agrícola, ainda que no período de estiagem. Por outro lado, observa-se também que o setor agrícola é um dos mais sensíveis ao clima, em razão da dependência entre fatores climáticos e recursos naturais (Oliveira, Prado e Monteiro, 2022). Nesse sentido, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021) constatou que, durante a safra 2020/2021, o milho, ainda que tenha utilizado uma área de plantio 8,6% maior do que a área do ano anterior (2019/2020), teve sua produtividade reduzida em cerca de 27% se comparada à anterior. Esse resultado, segundo a CONAB, decorreu do clima seco e das massas de ar frio presentes no Centro-Oeste no período.

A partir dessa perspectiva, é relevante traçar um paralelo entre meteorologia, clima e produção agrícola, tema a ser discutido no próximo tópico.

2.2 SAZONALIDADE PLUVIOMÉTRICA: AGRICULTURA E CHUVAS NO BRASIL E CENTRO-OESTE

Em 2022, só a área Centro-Oeste brasileira foi responsável por 71,61% das exportações de milho em relação ao total do país (Aliança Agroeconômica, 2023). Apesar do destaque no plantio da soja e do milho nessa região, durante a safra de 2020/21, a 2ª safra de milho enfrentou danos causados pelo clima nas principais regiões produtoras, inclusive as do planalto central. Além da seca ocorrida em fases cruciais das lavouras, houve a incidência de massas de ar frio, que produziram geadas para algumas dessas regiões, o que trouxe forte revés à produção do grão (CONAB, 2021).

Ainda sobre a safra de 2020/2021, a produção total estimada desse grão foi de 85,7 milhões de toneladas, 16,4% inferior a safra anterior (2019/2020). No Mato Grosso, a escassez de chuvas prejudicou o desenvolvimento do milho e em algumas regiões as perdas foram estimadas em até 50% da área (MAPA, 2022). Na safra de 2021/22, percebeu-se o mesmo fator: os resultados só não foram melhores devido à escassez de água na região (CONAB, 2022).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) publicou, no ano de 2022, informativos, alertando os produtores da 2ª safra do milho para possibilidade de perda da produtividade desse cereal devido ao período de estiagem⁹ iniciado no mês de maio, advertindo sobre a importância de serem consideradas as previsões meteorológicas a fim de reduzir o risco de quebra de safra (CONAFER, 2022).

Cabe acrescentar que, durante o desenvolvimento das plantas, estas respondem diretamente às condições meteorológicas que irão favorecer ou desfavorecer seu crescimento e sua produtividade (Monteiro, 2009). À vista disso, a agrometeorologia¹⁰ tem por finalidade entender e buscar a solução de vários problemas que permeiam a agricultura. As informações agrometeorológicas são utilizadas na tomada de decisão quanto ao melhor momento para executar as diferentes práticas agrícolas, além de capacitar os produtores para o enfrentamento das condições meteorológicas adversas, tornando-os mais resilientes (Mavi; Tupper, 2004 *apud* Monteiro, 2009).

Assim, o monitoramento climático das regiões brasileiras deve ser realizado de forma contínua e, para atender a essa demanda, o INMET tem, entre outras funções, a de produzir mensalmente os boletins agroclimáticos nacionais (INMET, 2022). Parte do conteúdo desses boletins pode ser acompanhada pelo Quadro 1, que resume dados extraídos dos estudos do INMET para 2022. Estes dados referem-se a dois documentos, um publicado em 2022 (indicado pelo número 1) e outro lançado em 2023 (indicado pelo número 2).

Quadro 1 – Resumo dos boletins agroclimatológicos de 2022

Região(ões)	Mês	Fenômeno/ Consequências
(2). Brasil	jan.	(1). Os altos volumes chuva foram favoráveis ao desenvolvimento dos cultivos de verão. (2). Alto índice de chuvas intensas e volumosas devido ZCAS ¹¹

⁹ Tal fenômeno ocorre quando as massas de ar seco impedem a formação de nuvens de chuva, causando a seca e aumento das temperaturas (CONAFER, 2022).

¹⁰ Ciência que estuda a influência do tempo e do clima no cultivo de alimentos.

¹¹ Zona de Convergência do Atlântico Sul (abrange desde o sul da Região Amazônica até o Oceano Atlântico, passando pela faixa central do País).

(1). Sul, sul de Mato Grosso do Sul, São Paulo e leste da região Nordeste	fev.	(1) Chuvas abaixo da média impactaram na cultura de verão que se encontravam na fase de floração e enchimento dos grãos
(2). Sul, Centro-Oeste, leste da Bahia, Nordeste	mar.	(2). Chuva devido ZCIT ¹²
(1). Brasil Central (2). Sudeste	abr.	(1). Baixo acumulado de chuva (abaixo da média) impactou negativamente no desenvolvimento das safras de verão, com destaque para o milho segunda safra (2). Queda na temperatura devido à frente fria
(1). Centro-Oeste (2). Centro-Sul	maio	(1). Além da falta de chuva em grande parte da região, as baixas temperaturas também impactaram o desenvolvimento das culturas na região (2). Tempestade subtropical Yakecan favoreceu a intensificação de uma forte massa de ar frio no continente que avançou ocasionando queda nas temperaturas
(1). Centro-Oeste (2). Sul	jun.	(1). A redução dos níveis de água no solo impactaram o desenvolvimento das lavouras que se encontravam em estágios reprodutivos. (2). Geadas
(1). Sul do Centro-Oeste (2). Nordeste	jul.	(1). Acumulados de chuva foram superiores a 30 mm, chegando a 67 mm contribuindo para os cultivos de milho segunda safra em estágio reprodutivo e de trigo em desenvolvimento. (2). 2º mês mais chuvoso
(2). Sul	ago.	(2). Queda da temperatura em razão das ondas de frio.
(1). Centro-Oeste (2). Sul	set.	(1). Depois de mais de 100 dias sem chuva, foram observados volumes de chuva acima de 30 mm. (2). Baixas temperaturas por ação de ondas de frio combinado com um ciclone extratropical
(2). Centro-Oeste e Sudeste	out.	(2). Queda da umidade relativa do ar
(2). Brasil (2). Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte	nov.	(2). Chuvas por efeito das ZCAS ¹³ (2). Ondas de Frio
(1). Brasil	dez.	(1). Chuvas volumosas

Fonte: (1). INMET, 2022; (2). INMET, 2023.

¹² Zona de Confluência Intertropical (próxima ao Equador).

¹³ Zona de Convergência do Atlântico Sul

De forma geral, o levantamento do INMET para 2022 constatou que o aumento gradual e contínuo de diversos eventos extremos, como chuvas intensas ou ondas de frio e calor, assim como secas severas, apontam para um cenário atual climatológico diferente do que se observara há cerca de quatro décadas. Já ao analisar o resumo dos boletins agroclimatológicos para 2022 (Quadro 1), observa-se que o regime de chuvas foi maior na região Nordeste e escasso no Sul do país, resultado, em parte, do fenômeno La Niña (resfriamento das águas do Pacífico Equatorial), que afetou de forma significativa as safras de grãos 2021/2022, com prejuízos estimados entre 40 e 50% só no estado do Rio Grande do Sul (INMET, 2023).

Regionalmente, o Quadro 1 demonstra para a área do Centro-Oeste¹⁴ que, a partir do mês de abril de 2022, o nível acumulado de chuva na parte central do Brasil ficou abaixo da média, e isso, somado às elevadas temperaturas, ocasionou a redução da umidade do solo, o que impactou a 2ª safra do milho. Nos meses seguintes, registrou-se este padrão de redução da umidade do solo, o que levou à interferência direta no desenvolvimento das culturas de inverno da região, muitas delas em fases sensíveis. Só então, a partir do mês de novembro, o acumulado de chuvas tornou a aumentar, elevando o armazenamento de água no solo e beneficiando o início da safra de grãos do ano seguinte (INMET, 2022).

Constata-se, portanto, que a diminuição das chuvas no Centro-Oeste interfere na produção de grãos da região. Por esta razão, é imprescindível buscar formas de atenuar os efeitos climáticos regionais em época de estiagem. Uma dessas técnicas é a de semear nuvens para produzir chuvas.

2.3 PRÁTICAS DE SEMEADURA DE NUVENS EM ESCALA GLOBAL E NACIONAL

A semeadura de nuvens ou *cloud seeding*¹⁵ é uma técnica de modificação meteorológica, cujos primeiros experimentos ocorreram por volta de 1940 e foram

¹⁴ Ela é a maior em extensão territorial e compreende os estados do Mato Grosso (MT), Goiás (GO), Mato Grosso do Sul (MS) e Distrito Federal (DF). O clima tropical úmido se faz predominante, caracterizado por um inverno frio e seco, entre os meses de maio a setembro, e um verão quente e chuvoso, de outubro a abril (Arbocontrol, 2016).

¹⁵ Palavra original da língua inglesa.

realizados pelo físico norte-americano Vincent Schaefer. No experimento, o cientista, na tentativa de resfriar uma câmara, utilizou certa quantidade de gelo seco no ambiente e, com a diminuição da temperatura, cristais de gelo microscópicos foram se formando até constituírem uma massa de ar densa e suspensa desses cristais (Viñas, 2022).

Após outros testes, Schaefer descobriu que o gelo seco poderia induzir a formação de núcleos de condensação nas nuvens, pois os cristais formados atuavam como núcleos artificiais, os quais atrairiam a umidade presente nas nuvens, pesando-as, até que precipitassem (Lee, 2014 *apud* Gomes; Reis, 2021). Outras substâncias mostraram-se eficientes para que ocorresse essa precipitação, como o cloreto de sódio, água, e carvão ativado (Azevedo, 2022).

Basicamente a técnica de semear nuvens consiste na introdução de materiais (químicos ou naturais) no seu interior, com o objetivo de aumentar a chance de precipitação por meio da coalescência¹⁶ das gotículas presentes nas nuvens. A introdução de substâncias como o iodeto de prata possibilita um melhor aproveitamento da técnica, pois possui uma estrutura cristalina similar à do gelo presente nas nuvens (AOML, 2013). Além disso, o iodeto de prata está presente na atmosfera em baixas quantidades e é conhecido por não ser prejudicial aos seres vivos (DRI, 2022).

Embora existam controvérsias sobre a eficácia e os efeitos ambientais da semeadura de nuvens, a técnica já é utilizada em diversas regiões para suprir demandas hídricas e evitar prejuízos causados pela falta de chuva, principalmente na atividade agrícola (Haupt *et al.*, 2018). Mais de 50 países já a empregaram a fim de induzir a produção de chuvas sazonais, evitar granizos e neve acumulada, como também diminuir a poluição do ar e nevoeiros. Um exemplo expressivo é o que ocorreu na União Soviética em 1986, dois dias após a explosão em Chernobyl. Naquela ocasião, massas de ar empurravam nuvens contaminadas com radiação para a capital Moscow. Estas nuvens, então, foram semeadas para induzir chuvas antes que pudessem alcançar a cidade e causar maiores danos (Gray, 2007).

¹⁶ Aumento do tamanho das gotículas d'água.

Os Emirados Árabes Unidos (EAU) adotaram a técnica a partir de 2002 por intermédio do Centro Nacional de Meteorologia (NCM) para tratar de questões de segurança hídrica (Wam, 2021). Assim como a experiência soviética e a dos EAU, a China igualmente semeou nuvens antes das Olimpíadas de 2008 a fim de amenizar a poluição da cidade e induzir as chuvas, antecipando-as ao evento (Lee, 2014). Em 2022, o mesmo país utilizou a técnica a fim de reabastecer o rio Yangtze, importante para a agricultura e pecuária local, que foi afetado pela pior onda de calor já registrada no país. Na província de Hubei, no centro da China, nuvens foram bombardeadas por meio de canhões carregados com iodeto de prata (CNN, 2022).

Nos Estados Unidos da América, na bacia superior do Rio Colorado, os estados de Utah e do Colorado têm utilizado da sementeira de nuvens por décadas: Wyoming tem quase uma década de experiência e o Novo México começou a aprovar licenças para indução de chuvas (Voa News, 2023).

No Brasil, as experiências com sementeira de nuvens alcançaram poucos estados, como a Bahia, em 2012. Em meio à seca histórica daquele ano, a Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente do estado baiano e os produtores da região contrataram a ModClima¹⁷ para utilizar a técnica e criar chuvas pontuais, com vistas a auxiliar as produções agrícolas. Apesar do sucesso, a técnica não teve continuidade devido ao alto custo¹⁸ (Barbosa, 2014). Outra aplicação com a mesma empresa deu-se com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que utiliza a técnica desde 2011 para induzir chuvas nos reservatórios dos sistemas Cantareira e Alto Tietê, que abastecem a região metropolitana de São Paulo (ModClima, 2023).

Por outro lado, cabe ressaltar que a técnica não é muito bem vista por parte de alguns estudiosos da área de meteorologia, pois, segundo eles, poderá afetar o ciclo hidrológico local e alterar a região que receberia a chuva, antes de ela

¹⁷ Empresa nacional especialista em sementeira de nuvens com o uso de água potável. Em sua técnica ela utiliza um higroscópio capaz de controlar o tamanho da gota dispersada nas nuvens (ModClima, 2014).

¹⁸ Segundo dados do G1 no ano de 2010, a ModClima cobrava 12.200 reais para produzir chuva em uma área de no mínimo 250km² (G1, 2010). Após consulta informal à ModClima, não há como precisar valores atuais, já que estes irão depender do tamanho da área envolvida e das condições de pagamento.

precipitar em uma nova região. Isto ocorreu em Israel, quando algumas vezes a chuva ali semeada precipitou na Jordânia ou na Palestina (Veiga, 2020).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objetivo desta pesquisa é descrever e analisar criticamente a viabilidade do processo de semeadura de nuvens no Centro-Oeste no período de estiagem, já que não há registros para a região. O estudo, de natureza básica, busca apresentar as complexidades do tema estudado por meio de uma abordagem qualitativa, cujos procedimentos bibliográficos e documentais se fazem presentes. Os sujeitos da pesquisa foram definidos como: nuvens com pelo menos 2km de espessura (distância entre a base e o topo), potenciais áreas do Centro-Oeste para a semeadura de nuvens, custo operacional com a aeronave Sêneca III e viabilidade dessa técnica para a região. Os ambientes de pesquisa utilizados foram livros e artigos hospedados no Google Acadêmico, sites do DECEA e da REDEMET, assim como o Manual de Voo da aeronave Sêneca III.

Da REDEMET, foram selecionadas as cartas SIGWX PROG nacionais, disponibilizadas para o horário das 18 horas UTC¹⁹, consultadas no período compreendido entre 1º de maio a 30 setembro dos anos (5 meses) de 2019 até o ano de 2023. Esta seleção busca averiguar as nuvens²⁰ (com pelo menos 2km de espessura, ou 6.500 pés) com potencial para o uso da técnica de semeadura em parte da região Centro-Oeste brasileira. Assim, a aérea de estudo pode ser identificada pelos Quadrantes 1, 2, 3, 4, 5, 6²¹ e 7, conforme demonstrado na Figura

1:

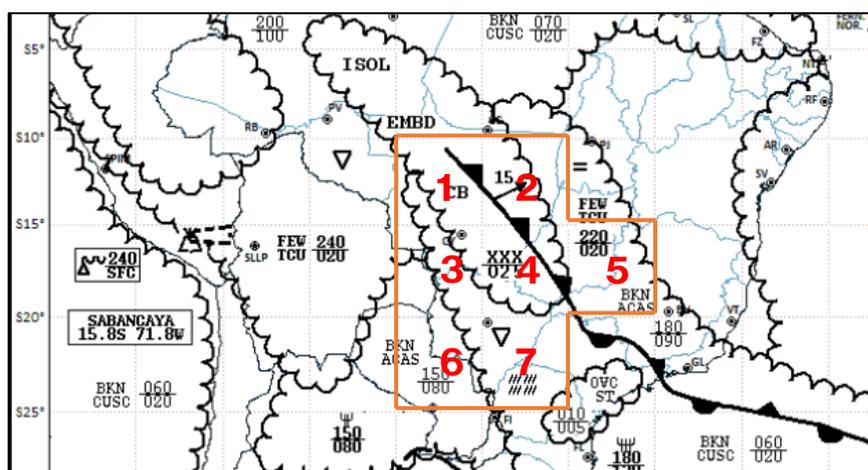


¹⁹ Tempo Universal Coordenado (UTC), que corresponde a hora do meridiano de Greenwich.

²⁰ O mapeamento buscou por nuvens que apresentem base baixa (base formada até 2km), capazes de produzir precipitação (stratus – ST, stratocumulos – SC e nimbostratus – NS); por nuvens de desenvolvimento vertical de base baixa (cumulus – CU, grandes cumulus –TCU); e por nuvens médias (base acima de 2km), também férteis à precipitação (altostratus – AS). É comum que AS se formem associadas a outras nuvens, como a altocumulus (AC), porém a AC não precipita.

²¹ Como exemplo o quadrante 6 abrange de 20°S a 25°S de latitude e de 55°W a 60°W de longitude.

Figura 1 – Quadrantes de seleção do estudo



Fonte: adaptado de REDMET, 2023.

Além de verificar as áreas, é pertinente analisar as características da aeronave que irá realizar a técnica, um Sêneca III, bem como de seus pilotos.

4 RESULTADOS

Os resultados apontam para a viabilidade do uso de sementeira de nuvens no Centro-Oeste brasileiro, principalmente para as produções agrícolas pertencentes ao Quadrante 6.

4.1 MAPEAMENTO DO NÍVEL DA BASE E DO TOPO DAS NUVENS NO CENTRO-OESTE DURANTE O PERÍODO DE ESTIAGEM DE 2019 A 2023

A escolha e a análise das cartas SIGWX PROG para o período e horário selecionados permitiram registrar as nuvens com espessura suficiente para provocar chuvas, a partir de sua sementeira. Os registros foram expostos em tabelas estruturadas (Tabelas 1 e 2), a seguir caracterizadas.

A Tabela 1, a seguir, apresenta os dados catalogados para o mês de maio de 2019, os quais identificam o tipo de nuvem, os FLs (base e topo) e os quadrantes.

Tabela 1 – Panorama de nuvens formadas no Centro-Oeste em maio de 2019

Dias	Tipo de Nuvem	Nível (FL) base	Nível (FL) topo	Quadrante
1	FEW ²² TCU	020	220	1/2/3/4/5/6/7
4	BKN ²³ ACAS	100	140	1/2/3/4/5/6/7
5	FEW TCU	020	220	3/4/5
6	BKN CUSC	025	060	1/2
	FEW TCU	036	230	4/5/7
7	BKN ACAS	080	140	1/2/3/4/5/6/7
8	FEW TCU	020	210	1/2/3/4/5/6/7
9	FEW TCU	020	220	6/7
10	BKN CUSC	020	080	1/2/3/6/7
	FEW TCU	040	220	4/5
	BKN CUSC	025	080	3/4
11	BKN ACAS	080	130	6/7
	FEW TCU	030	XXX ²⁴	1/2
12	FEW TCU	020	210	2/3/4/5/6/7
13	FEW TCU	025	230	1/3
	FEW TCU	020	220	4/6/7
14	FEW TCU	035	230	5
15	FEW TCU	030	230	2/5
16	BKN CUSC	017	060	2/4/5/7
	FEW TCU	020	220	5/7
18	BKN ACAS	070	130	6
19	FEW TCU	025	XXX	6
	BKN ACAS	090	150	1/2
	FEW TCU	020	210	1/2/6
21	FEW TCU	025	230	1
	BKN ACAS	080	130	6/7
	FEW TCU	025	220	6/7
22	FEW TCU	030	230	1
	BKN CUSC	040	060	5
23	FEW TCU	030	XXX	2/5
24	BKN CUSC	017	060	5/7
25	BKN CUSC	025	080	1/2
26	FEW TCU	020	220	6
28	BKN ACAS	070	170	6/7
29	BKN CUSC	017	060	1
	BKN ACAS	100	140	6/7
30	BKN CUSC	025	080	1
31	FEW TCU	020	230	6/7
Freq.	FEW TCU	020	-	5/6
	BKN ACAS	070	170	6/7

Fonte: elaborada pelos autores, 2023, com dados da REDEMET, 2019.

²² Significa poucas nuvens, entre 1 e 2/8 de nuvens dispostas na abóboda celeste.

²³ Do inglês Broken, significa céu nublado com 5 a 7/8 de nuvens dispostas na abóboda celeste.

²⁴ Acima do FL250.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, é possível verificar que em maio de 2019 (período de estiagem), apenas no dia 28, as nuvens médias (AS e AC) apresentaram espessura mínima (6.500 pés) necessária para sua semeadura; porém, apenas a AS é nuvem precipitante. Também foram verificadas as nuvens TCU com maior frequência para os Quadrantes 5 e 6. As nuvens baixas não demonstraram espessura suficiente para a aplicação da técnica. Em síntese, para o mês analisado, as nuvens com maior potencial de semeadura são as altostratus, que se formaram nos Quadrantes 6 e 7, e as grandes cumulus, para os Quadrantes 5 e 6.

Seguindo essa linha, o mesmo procedimento foi adotado para todos os meses, compilando-se os dados mensais para o ano. A Tabela 2 resume as ocorrências durante os cinco meses (maio a setembro) dos cinco anos mapeados e identifica os quadrantes das nuvens médias e das TCU com potencial para serem semeadas:

Tabela 2 – Nuvens médias e TCU com viabilidade de pulverização para os anos de 2019 a 2023 (de maio a setembro de cada ano)

Nuvens médias			
Ano (de maio a setembro)	Maior frequência base	Maior frequência topo	Quadrante
2019	70	140	6/7
2020	100	170	1
2021	-	-	-
2022	90	160	6
2023	-	-	-
Frequência	-	-	6
TCU			
Ano (de maio a setembro)	Maior frequência base	Maior frequência topo	Quadrante
2019	20	220	1
2020	20	210	6
2021	25	230	6
2022	25	220	7
2023	25	230	7
Frequência	25	220/230	6/7

Fonte: elaborada pelos autores, 2023, com dados da REDEMET, 2019; 2020; 2021; 2022; 2023.

Conforme se verifica na Tabela 2, no período de estiagem de 2019, 2020 e 2022, a maior parte das nuvens médias formaram-se com uma espessura superior a 6.500 pés e no Quadrante 6. Porém, em 2021 e 2023 não houve formação de nuvens médias com essa espessura, somente inferior. Já os dados para os TCU demonstraram que em todos os anos estas nuvens mantiveram-se com grande extensão vertical e frequentemente foram observadas nos Quadrantes 6 e 7.

A análise dos resultados permite constatar que nuvens médias se formaram em três dos cinco anos investigados no período da estiagem. Elas apresentaram espessura suficiente para a utilização da técnica, sobretudo no Quadrante 6. No caso das nuvens TCU, estas mostraram mais possibilidades, porque se formaram no período de seca em todos os anos estudados, com projeção vertical que comporta a sementeira de nuvem, e abrangeram uma aérea maior, recorrentes para os Quadrantes 6 e 7.

Em síntese, o Quadrante 6 é o mais promissor, pois nos últimos 5 anos, durante a seca no Centro-Oeste brasileiro, nuvens médias e TCU se desenvolveram e, caso essa tendência permaneça para os próximos anos, a sua existência na região viabilizará a sementeira de nuvens. Para verificar essa tendência, sugere-se o acompanhamento do produtor agrícola dos boletins agroclimatológicos mensais.

4.2 OPERAÇÃO COM AERONAVE SÊNeca III E SEUS PILOTOS: CUSTOS RELACIONADOS À SEMEADURA DE NUVENS

De acordo com a ModClima (2014), a aeronave bimotora Sêneca III é um dos aviões ideais para a sementeira de nuvens, pois pode acoplar um galão de 300 litros carregado de água potável, conectado ao higroscópio instalado em dois pontos na parte traseira da asa, um perto da raiz e outro na ponta.

Sobre os dados operacionais, vale destacar que esta aeronave tem peso máximo de decolagem de 1999kg e teto de serviço de 25.000 pés, isto é, consegue subir até 25.000 pés. A respeito de sua *performance*, quando o Sêneca III voa a uma distância vertical de 4.000 pés (altitude propícia para pulverizar

nuvens) com a temperatura externa do ar de 7 graus Celsius, o avião consegue voar a uma velocidade de 172KAS²⁵ e consumir, em média, 18,7 US GAL²⁶ por hora, utilizando 55% da potência do motor (Piper, 1981).

A partir destas características, e com base nas informações extraídas do manual da aeronave e em cálculos relacionados ao tempo de voo²⁷ e consumo²⁸ (convertido em litros por hora), para semear uma área de nuvens médias e FEW TCU com esse avião, este estudo considerou o custo com combustível de aviação (tomando por base o valor para o mês de outubro – R\$ 6,48 por litro – e dois pilotos freelancer²⁹. Os cálculos envolvem o perfil de subida da aeronave, cruzeiro e descida, totalizando 1 hora e meia de operação. A Tabela 3 apresenta os resultados e considera custo médio para a operação:

Tabela 3 – Custo médio operacional de uma aeronave Sêneca III para pulverizar uma área de nuvens médias e FEW TCU

Operação	Tempo de voo (min)	Gasto total (l/h)	Custo (R\$)
Voo	90	95,87	931,82
Piloto	-	-	600,00
Copiloto	-	-	600,00
Total	90	Valor	R\$ 2.131.82

Fonte: elaborada pelos autores, 2023.

Se considerarmos que esta aeronave irá pulverizar as nuvens com água potável e que cada unidade com 10 litros custa, em média, R\$ 12,00 (valores

²⁵ *Knots air speed.*

²⁶ Galões americanos. Convertendo esse valor em litros por hora, obtêm-se cerca de 70,7872 (Piper, 1981).

²⁷ O tempo de voo é calculado multiplicando a distância percorrida por 60 e dividindo este resultado pela velocidade.

²⁸ O consumo é calculado multiplicando o tempo de voo pelo consumo/h e dividindo o resultado por 60.

²⁹ De acordo com o Sindicato Nacional dos Aeronautas (SNA), no ano de 2022 o piso salarial (salário base e compensação orgânica) pago a um comandante de qualquer outro tipo de aeronave utilizada na aviação regular, excluindo-se aeronaves a jato e turbo-hélice, é de R\$ 5.760,53. No entanto, os tripulantes dessa técnica são *freelancer* e, por isso, a partir de uma pesquisa informal realizada pelos autores, tendo como referências pilotos atuais freelances apurou-se que a média da hora de voo paga ao piloto de Sêneca III é de R\$ 400,00.

referentes a outubro de 2023), para utilizar um tanque de 300 litros seriam gastos mais R\$ 360,00, a serem somados ao total da Tabela 3.

Deve-se considerar, ainda, o valor do imposto sobre esse tipo de serviço, que será cobrado conforme a Lei Complementar nº 116, de 31 de julho de 2003, que normatizou o imposto sobre serviços de qualquer natureza, de competência dos municípios e do Distrito Federal. Assim, o item “7.22 – Nucleação e bombardeamento de nuvens e congêneres” – da lista de serviços anexa à citada Lei Complementar, inclui essa atividade como serviço tributável (Brasil, 2003).

Vale ressaltar, ainda, que os voos de aeronave carregada com água a ser pulverizada em nuvens está sob regimento do Comando da Aeronáutica brasileiro e da Agência Nacional de Aviação Civil, por meio da Instrução Suplementar (IS) nº 91-007, que prevê a certificação de empresas aéreas com objetivo de comercialização de serviços aéreos especializados, aos quais a semeadura de nuvens se amolda, uma vez que é um serviço aéreo especializado de provocação artificial de chuva ou modificação de clima (ANAC, 2023).

Por fim, o custo operacional para semear nuvens aparentemente não requer grandes investimentos se comparados aos possíveis prejuízos relacionados à seca e à perda de safra. Todavia, isto irá depender, segundo a ModClima (2014), de quantas vezes e dias serão necessários para que a técnica surta efeito na lavoura e, ainda, envolverá o tamanho da área. Ademais, a quantidade de pilotos necessários, o valor dos impostos e outras variáveis são relevantes para o cálculo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa investigou a semeadura de nuvens como uma alternativa para conter os danos causados nas produções agrícolas do Centro-Oeste brasileiro durante o período de estiagem, entre maio e setembro, com o objetivo de verificar a possível implementação da técnica no Centro-Oeste e, conseqüentemente, minimizar os efeitos da seca nos cultivos.

O estudo verificou que, na região, as safras de 2020/2021 e de 2021/2022, especialmente a 2ª safra de milho, passou por desafios provocados pela estiagem,

que resultaram na diminuição da produção. Esse problema regional, contudo, pode ser minimizado com o auxílio da sementeira de nuvens, uma prática empregada em diferentes países com algumas finalidades, como segurança hídrica, reabastecimento de água, entre outras. No entanto, para utilizar da técnica é necessário pulverizar nuvens com espessuras iguais ou superiores a 6.500 pés.

Considerando este fator, a pesquisa realizou um mapeamento, entre 2019 e 2023, para os meses de maio a setembro, de nuvens com potencial para a sementeira na região Centro-Oeste, dividindo-a em sete quadrantes. Os resultados demonstraram que três anos (2019, 2020 e 2022) foram propícios para a formação de nuvens médias e que em todos os anos nuvens TCU se desenvolveram no período da seca. Em ambos os casos, estas formações estiveram presentes no Quadrante 6. Também foi realizado o levantamento sobre o custo da operação, o qual sugere que o investimento na técnica é melhor do que a possibilidade da diminuição ou perda da safra, cujos prejuízos são mais substanciais.

Com base nos achados, o estudo conclui que, mantendo-se a tendência de formação de nuvens médias e de TCU, especialmente no Quadrante 6, durante a estiagem, semear essas nuvens para produzir chuvas é viável aos agricultores, desde que se atinja o melhor custo-benefício com a operação. Por fim, sugere-se como pesquisa futura um estudo experimental no qual uma aeronave Sêneca III pulverize nuvens médias e TCU durante a estiagem do Centro-Oeste, para verificar na prática a eficácia e o custo-benefício da técnica.

REFERÊNCIAS

AGRISHOW DIGITAL. **Culturas de inverno: o que plantar na entressafra?** 2022. Disponível em: <https://digital.agrishow.com.br/culturas/culturas-de-inverno-o-que-plantar-na-entressafra>. Acesso em: 26 ago. 2023.

AGROFY NEWS. **Quem são os maiores produtores agrícolas do mundo?** 2023. Disponível em: <https://news.agrofy.com.br/noticia/201932/quem-sao-os-maiores-produtores-agricolas-do-mundo>. Acesso em: 26 ago. 2023.

ALIANÇA AGROECONÔMICA. **Relatório agroeconômico do centro-oeste**. 2023. Acesso em: https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/Relatorio-Alianca_4_tri.pdf. Disponível em: 10 set. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Instrução Suplementar - IS Nº 91-007 – Revisão D**. 2023. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-91-007>. Acesso em: 29 nov. 2023.

ARBOCONTROL. **Região Centro-oeste**. 2016. Disponível em: https://arbocontrol.unb.br/?page_id=1185#:~:text=Sua%20extens%C3%A3o%20territorial%20%C3%A9%202.543,para%202019%20de%2089.918%20habitantes. Acesso em: 10 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE CEREAIS (ANEC). **ANEC – Statistics 2022 Brazilian exports of soybeans, soybean meal, maize and wheat week 53/2022 statistics**. 2023. Disponível em: <https://anec.com.br/uploads/clchnd75d00bvbjtx779l43uj.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2023.

ATLANTIC OCEANOGRAPHIC E METEOROLOGICAL LABORATORY (AOML). Hurricane Reeserch Division. **Seeding**. 2013. Disponível em: https://www.aoml.noaa.gov/hrd/hrd_sub/cseed.html. Acesso em: 16 set. 2023.

AZEVEDO, J. **Semeadura de nuvens: o que é e riscos**. 2022. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/semeadura-de-nuvens/>. Acesso em: 21 set. 2023.

BARBOSA, V. **Chuva artificial? Veja polêmica da técnica já usada no país**. EXAME. 2014. Disponível em: <https://exame.com/tecnologia/como-se-faz-chuva-artificial-e-por-que-ela-e-tao-polemica/>. Acesso em: 24 set. 2023.

BRASIL. **Lei complementar nº 116, de 31 de julho de 2003**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp116.htm. Acesso em: 23 set. 2023.

CÂMARA, G. M. S. **Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção**. 2006. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-planta-e-ambiente01.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2023.

CASTRO, C. N. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). **A agropecuária na Região Norte: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. 2013. https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1836.pdf. Acesso em: 2 set. 2023.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA) – Esalq/USP. **PIB do agronegócio brasileiro**. 2023. Disponível em:

<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 26 ago. 2023.

CABLE NEWS NETWORK (CNN). **China is seeding clouds to replenish its shrinking Yangtze River**. 2022. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2022/08/17/asia/china-heat-drought-climate-yangtze-intl/index.html>. Acesso em: 23 set. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 8 – Safra 2020/21, n. 12 - décimo segundo levantamento. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/16736-12-levantamento-safra-2020-21>. Acesso em: 2 set. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Calendário de plantio e colheita de grãos no Brasil 2022**. 2022. Disponível em: https://www.conab.gov.br/outras-publicacoes/item/download/45710_77f0a5ee35e765e2248999f4c61e70c8. Acesso em: 2 set. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB⁴). **Produção de grãos atinge recorde na safra 2021/22 e chega a 271,2 milhões de toneladas**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4744-producao-de-graos-atinge-recorde-na-safra-2021-22-e-chega-a-271-2-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 10 set. 2023.

CONAFER. **Risco na lavoura**: INMET emite alerta para prejuízos da estiagem sobre a segunda safra do milho na região central do Brasil. 2022. Disponível em: <https://conifer.org.br/risco-na-lavoura-inmet-emite-alerta-para-prejuizos-da-estiagem-sobre-a-segunda-safra-do-milho-na-regiao-central-do-brasil/>. Acesso em: 01 out. 2023.

DASSAN, M. A. A.; CASTRO, G. S. A.; CARVALHO, C. A. de; MAGALHÃES, L. A. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Análise territorial preliminar da macrologística agropecuária**: da produção à exportação. s.d. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355154/32186845/Estudo1-analise-territorial_web.pdf/62228bf9-362b-1ec9-58c1-96d94831e05b. Acesso em: 19 set. 2023.

DESERT RESEARCH INSTITUTE (DRI). **What is Cloud Seeding?** 2022. Disponível em: <https://www.dri.edu/cloud-seeding-program/what-is-cloud-seeding/#:~:text=Cloud%20seeding%20is%20a%20weather,base%20for%20snowflakes%20to%20form>. Acesso em: 16 set. 2023.

DICIONÁRIO FINANCEIRO. **Commodity**: o que é, significado, tipos, exemplos e como investir. 2016. Disponível em: <https://www.dicionariofinanceiro.com/commodities/>. Acesso em: 3 set. 2023.

DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. de. **Cerrado, revolução verde e evolução do consumo de agrotóxicos**. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/TBHxkV4MshvP3Sd4K7tJ5mG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 set. 2023.

G1. **Prêmio da mega paga até 5 mil horas de 'chuva artificial' em áreas de seca**. 2010. Disponível em: <https://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/09/premio-da-mega-paga-ate-5-mil-horas-de-chuva-artificial-em-areas-de-seca.html>. Acesso em: 24 set. 2023.

GRAY, R. **How we made the Chernobyl rain**. The telegraph. 2007. Disponível em: <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/1549366/How-we-made-the-Chernobyl-rain.html>. Acesso em: 23 set. 2023.

HAUPT, S. E.; RAUBER, R. M.; CARMICHAEL, B.; KNIEVEL, J. C.; COGAN, J. L. **100 years of progress in applied meteorology**. Part i: basic applications. 2018. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/amsm/59/1/amsmonographs-d-18-0004.1.xml>. Acesso em: 16 abr. 2023. <https://www.ecycle.com.br/semeadura-de-nuvens/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Entre 2000 e 2020, a área agrícola do país cresceu 230 mil km² e a vegetação natural diminuiu 513 mil km²**. 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35145-entre-2000-e-2020-a-area-agricola-do-pais-cresceu-230-mil-km-e-a-vegetacao-natural-diminuiu-513-mil-km#:~:text=As%20%C3%81reas%20agr%C3%Adcolas%20tem%20destaque,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20total%20Brasil>. Acesso em: 2 set. 2023

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agropecuária**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/br>. Acesso em: 26 ago. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Agropecuária brasileira evolução, resiliência e oportunidades**. São Paulo. 2023. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/publicacao-item?id=d623fb0c-1ed1-4c15-bcc6-b785180fc3d8>. Acesso em: 8 set. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**. 2021. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/boletim_regional/210218_brua_23.pdf. Acesso em: 9 set. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Boletins agroclimatológicos**. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro#>. Acesso em: 10 set. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estado do clima no Brasil em 2022**. 2023 Brasília. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Estado-do-clima-no-Brasil-em-2022-OFICIAL.pdf>. Acesso em: 2 set. 2023.

LEE, J. R. The rainmakers: The Geo-Politics of Climate Change and Cloud Seeding. 2014. Disponível em: <http://www.mandalaprojects.com/rainmaking.pdf>. In: GOMES, M. F.; REIS, E. S. **Indução de chuvas: desregulação e conflitos de interesse**. Disponível em: https://fdcl.edu.br/revista/pixels/wp-content/uploads/2021/07/fdcl_pixels_ano3_vol1_2021-1_artigo11.pdf. Acesso em: 15 set. 2023.

MAGALHÃES, P. C.; BORGHI, E.; KARAM, D.; FILHO, I. A. P.; RIOS, S. A.; ABREU, S. C.; LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; DURÃES, F. O. M. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Desenvolvimento do milho segunda safra: fatores genético-fisiológicos, plataforma de conhecimento e práticas de manejo de cultivo e uso, visando sustentabilidade de produção e produtividade no binômio soja/milho**. 2020.– Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/221453/1/Documentos-258.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Produção de grãos atinge recorde na safra 2021/22 e chega a 271,2 milhões de toneladas**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias-2022/producao-de-graos-atinge-recorde-na-safra-2021-22-e-chega-a-271-2-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 26 ago. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Valor da produção agrícola nacional tem recorde em 2020 com R\$ 470,5 bilhões**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/09/valor-da-producao-agricola-nacional-tem-recorde-em-2020-com-r-470-5-bilhoes>. Acesso em: 26 ago. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Histórico de perdas na agricultura brasileira 2000-2021**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/seguro-rural/publicacoes-seguro-rural/historico-de-perdas-na-agricultura-brasileira-2000-2021.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

MODCLIMA. **Modclima**. Matéria exibida na Rede Globo, Fantástico, Jan 2014. 2014. [vídeo]. Disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=PM5T_gWRFoA&ab_channel=modclima. Acesso em: 24 set. 2023.

MODCLIMA. **Indução de chuvas localizadas**. 2023. Disponível em: <https://modclima.com.br/>. Acesso em: 25 set. 2023.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos**. Brasília: INMET, 2009. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/publicacoesDigitais/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf. Acesso em: 2 set. 2023.

OLIVEIRA, S. F.; PRADO, R. B.; MONTEIRO, J. M. G. Impactos das mudanças climáticas na produção agrícola e medidas de adaptação sob a percepção de atores e produtores rurais de Nova Friburgo, RJ. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 23, n. 4, p. 1179-1201, out./dez. 2022. Disponível em: <https://www.interacoes.ucdb.br/interacoes/article/view/3548/2770>. Acesso em: 20 ago. 2023.

PEDROSA, M. G. **Culturas anuais**. NT Editora. Brasília: 2014. Disponível em: https://avant.grupont.com.br/dirVirtualLMS/portais/livros/pdfs_demo/Culturas_Anuais_demo.pdf. Acesso em: 26 ago. 2023.

PERREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. de C. **Expansão da produção agrícola, novas tecnologias de produção, aumento de produtividade e o desnível tecnológico no meio rural**. Econstor: 2022. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/265284>. Acesso em: 24 ago. 2023.

PIPER AIRCRAFT DEPARTMENT. **Pilot's Operating Handbook Seneca III**. 20 fev. 1981.

PORTUGAL, F. A. F.; SILVEIRA, J. M. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Colheita Soja**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/colheita>. Acesso em: 9 set. 2023.

REDEMET. **Cartas Meteorológicas**. Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br/>. Acesso em: 11 out. 2023.

SINDICATO NACIONAL DOS AERONAUTAS (SNA). **Convenção coletiva de trabalho 2022/2023 – SNA/SNEA**. 2022. Disponível em: https://aeronautas.org.br/wp-content/uploads/2023/01/Complete_com_a_DocuSign_CCT_20222023_-_AERO-1.pdf. Acesso em: 2 dez. 2023.

SYNGENTA DIGITAL. **Regiões agrícolas do Brasil**: descubra quais são as principais. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/regioes-agricolas-brasil/>. Acesso em: 9 set. 2023.

UMBURANAS, R. **Soja:** o manejo adequado na entressafra pode aumentar a produtividade na lavoura de verão. s.d. Disponível em: <https://agriculture.basf.com/br/pt/conteudos/cultivos-e-sementes/soja/manejo-adequado-na-entressafra-pode-aumentar-a-produtividade-na-lavoura-de-verao.html#:~:text=Existem%20muitas%20esp%C3%A9cies%20de%20culturas,deixar%20o%20solo%20em%20pousio>. Acesso em: 26 ago. 2023.

VEIGA, Edison. **A controversa técnica de semear chuvas que falhou em SP.** 2020. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/a-controversa-t%C3%A9cnica-de-semear-chuvas-que-falhou-em-s%C3%A3o-paulo/a-52539593>. Acesso em: 23 nov. 2023.

VIÑAS, J. M. **Semeadura na nuvem:** um experimento com consequências imprevisíveis. 2022. Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/semeadura-na-nuvem-um-experimento-com-consequencias-imprevisiveis.html>. Acesso em: 10 abr. 2023.

VOA NEWS. **US government spends \$2.4m on cloud seeding for Colorado river.** 2023. Disponível em: <https://www.voanews.com/a/us-government-spends-2-4m-on-cloud-seeding-for-colorado-river/7010437.html>. Acesso em: 2 out. 2023.

WAM. **Os Emirados Árabes Unidos aproveitam a semeadura de nuvens para lidar com a escassez de água local, regional e globalmente.** Disponível em: <https://www.wam.ae/pt/details/1395302985744>. Acesso em: 2 out. 2023.

BRAC&CIA
Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas
ISSN 2763-7697

