



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA –  
FAV**

**ANÁLISE DO FLUXO DE GASES EM UM SISTEMA DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO CERRADO  
UTILIZANDO O MÉTODO DE COVARIÂNCIA DE TURBILHÕES –  
2019/2020**

**José Victor Fernandes Franco**

**Brasília, DF  
Novembro de 2021**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA –**  
**FAV**

**José Victor Fernandes Franco**

**ANÁLISE DO FLUXO DE GASES EM UM SISTEMA DE**  
**INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO CERRADO**  
**UTILIZANDO O MÉTODO DE COVARIÂNCIA DE TURBILHÕES –**  
**2019/2020**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador (a): João José da Silva Júnior

**Brasília, DF**

**Novembro de 2021**

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAV

Termo de Aprovação

Autor: José Victor Fernandes Franco

Título: Análise do fluxo de gases em um sistema de integração lavoura-pecuária no cerrado utilizando o método de covariância de turbilhões – 2019/2020

Aprovado em: Brasília, 17 de novembro de 2021

Banca examinadora:

---

Professora Dr. João José da Silva Júnior  
Universidade de Brasília – UnB  
Orientador

---

Professora Dra. Selma Regina Maggiotto  
Universidade de Brasília – UnB  
Examinadora

---

Professora Dra. Lurdineide de Araújo Barbosa Borges  
Examinadora

## FICHA CATALOGRÁFICA

Franco, J.V.F.  
**Análise do Fluxo de Gases em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado Utilizando o Método de Covariância de Turbilhões – 2019/2020.** / José Victor Fernandes Franco; orientador: João José da Silva Júnior

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Franco, J.V.F. **Análise do Fluxo de Gases em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado Utilizando o Método de Covariância de Turbilhões – 2019/2020.** 2021. 46. Monografia (Curso de Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

**Nome do Autor:** José Victor Fernandes Franco

**Título da Monografia de Conclusão de Curso:** Análise do Fluxo de Gases em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado Utilizando o Método de Covariância de Turbilhões – 2019/2020.

**Ano:** 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

*À toda a minha família e amigos, pois sei que sempre tenho um lar para voltar, um ombro próximo para chorar e um conforto eterno de saber que sou amado. Sua afeição e carinho me enchem de coragem e me permitem fazer tudo aquilo que sei que não conseguiria sem a sua presença, por isso dedico este trabalho a vocês.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que nos criou, por me proporcionar a oportunidade de experimentar este mundo, e de estar ao meu lado me ajudando a passar por todos os obstáculos do caminho que segui.

Aos meus pais e irmão, pois sempre me apoiaram e me deram recursos e segurança para trilhar meu caminho.

Aos professores com quem tive o prazer de trocar conhecimento em todas as etapas da minha vida, pois não seria ninguém sem a sua instrução.

A todos os profissionais da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB, pois a sua paciência e dedicação me permitiram crescer como pessoa e profissional.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | 8  |
| ÍNDICE DE TABELAS .....  | 9  |
| RESUMO.....  | 10 |
| ABSTRACT .....   | 11 |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 12 |
| 2. OBJETIVO.....   | 14 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 15 |
| 3.1. Importância dos gases de efeito estufa .....  | 15 |
| 3.1.1. Metano .....  | 15 |
| 3.1.2 Gás Carbônico .....  | 16 |
| 3.1.3. Vapor de Água .....   | 16 |
| 3.2 Sistema de Integração Lavoura-Pecuária .....   | 17 |
| 3.3. Método micrometeorológico de covariância de turbilhões ( <i>Eddy Covariance</i> ) ..... | 19 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 20 |
| 4.1. Descrição da área de estudo.....  | 20 |
| 4.1.2. Sistema de Produção - Creche 5.....   | 22 |
| 4.2. Equipamentos utilizados.....  | 23 |
| 4.3. Análises.....   | 25 |
| 4.3.1. Cálculos dos Fluxos de Gases de Efeito Estufa.....                                    | 25 |
| 4.3.2. Controle de qualidade, preenchimento dos dados, partição dos fluxos..                 | 25 |
| 4.3.3. Obtenção dos dados meteorológicos da área .....                                       | 26 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 26 |
| 5.1. Precipitação.....   | 26 |
| 5.2. Temperatura do Solo.....  | 28 |
| 5.3. Conteúdo de Água no Solo .....  | 30 |
| 5.4. Fluxo de Calor no Solo .....  | 31 |
| 5.5. Saldo de Radiação, Radiação Fotossinteticamente Ativa e Radiação Global .....           | 32 |
| 5.6. Temperatura do ar.....  | 36 |
| 5.7. Umidade relativa.....   | 38 |
| 5.8. Análise dos fluxos de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e H <sub>2</sub> O.....         | 39 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÕES .....   | 42 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 43 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Esquema demonstrando o método da covariância de turbilhões por Hu, et al., 2014.  | 19 |
| <b>Figura 2.</b> Croqui das áreas experimentais com as posições de suas respectivas estações de <i>Eddy Covariance</i> , onde estão instalados os sensores utilizados no experimento.            | 22 |
| <b>Figura 3.</b> Imagem de satélite da área experimental contendo as creches 4 e 5 da Fazenda Capivara, Embrapa Arroz e Feijão, 2021.  | 22 |
| <b>Figura 4.</b> Equipamentos instalados na área da Creche 4, com foco nos sensores de fluxo de gás metano, anemômetro sônico e fluxo de gás carbônico e água, à direita na imagem (21/10/2021). | 25 |
| <b>FIGURA 5.</b> Precipitação diária e fluxo de vapor d'água durante o período estudado  | 27 |
| <b>FIGURA 6.</b> Temperatura do solo entre 01/10/2019 a 30/09/2020   | 29 |
| <b>FIGURA 7.</b> Conteúdo de água no solo e fluxo de H <sub>2</sub> O ao longo do período estudado   | 30 |
| <b>FIGURA 8.</b> Fluxo de calor no solo na creche 5, Dados provenientes de 3 sensores em profundidades diferentes  | 32 |
| <b>FIGURA 9.</b> Saldo de radiação entre 01/10/2019 e 30/09/2020   | 33 |
| <b>FIGURA 10.</b> Radiação Fotossinteticamente Ativa e Radiação Global no período de 01/10/2019 a 30/09/2020   | 34 |
| <b>Figura 11.</b> Fluxo de CO <sub>2</sub> e Radiação Fotossinteticamente Ativa entre 01/10/2019 a 30/09/2020 na Creche 5  | 36 |
| <b>FIGURA 12.</b> Temperatura do ar durante o período estudado na creche 5   | 37 |
| <b>FIGURA 13.</b> Umidade relativa durante o período estudado na creche 5  | 38 |
| <b>FIGURA 14.</b> Fluxo de metano durante o período estudado na creche 5   | 39 |
| <b>FIGURA 15.</b> Fluxo de gás carbônico durante o período estudado na creche 5  | 40 |
| <b>FIGURA 16.</b> Fluxo de vapor de água durante o período estudado na creche 5  | 41 |



**ÍNDICE DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| <b>TABELA 1.</b> Distribuição das classes de volume de precipitação diários na creche 5     | 28 |
| <b>TABELA 2.</b> Distribuição das classes de temperatura do solo na creche 5                | 29 |
| <b>TABELA 3.</b> Distribuição das classes de conteúdo de água no solo na creche 5           | 31 |
| <b>TABELA 4.</b> Distribuição das classes de saldo de radiação na creche 5                  | 33 |
| <b>TABELA 5.</b> Distribuição das classes de Radiação Fotossinteticamente Ativa na creche 5 | 35 |
| <b>TABELA 6.</b> Distribuição das classes de radiação global na creche 5                    | 35 |
| <b>TABELA 7.</b> Distribuição das classes de temperatura média na creche 5                  | 37 |
| <b>TABELA 8.</b> Distribuição das classes de umidade relativa média diária                  | 38 |

Franco, J.V.F. Análise do Fluxo de Gases em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado Utilizando o Método de Covariância de Turbilhões – 2019/2020. 46. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2021.

## RESUMO

Os sistemas produtivos precisam se adequar ao modelo sustentável de produção, em que os manejos e atividades produtivas não produzam danos ao meio ambiente que possam comprometer o futuro. O sistema de integração lavoura-pecuária é sabidamente efetivo na produção mais sustentável, ao mesmo tempo que permite trabalhos de recuperação de áreas degradadas. Nesse sentido, este trabalho compila e analisa dados de fluxo de gás carbônico, metano e vapor de água em área experimental da EMBRAPA Arroz e Feijão, referentes ao período que se estende de 01/10/2019 a 30/09/2020 em uma área destinada a produção de integração lavoura-pecuária. Também avalia outros índices meteorológicos provenientes de estação de covariância de turbilhões montada no local, mais precisamente os dados de precipitação, temperatura do ar, temperatura do solo, fluxo de calor no solo, conteúdo de água no solo, saldo de radiação, radiação fotossinteticamente ativa, radiação global e umidade do ar, com o objetivo de utilizar esses dados posteriormente para análise pelo método de covariância de turbilhões. Durante todo o período estudado, a área estava ocupada por capim braquiária, o que permitiu observar os efeitos dessa forrageira nos fluxos dos gases estudados, além da influência da precipitação e da radiação solar sobre o pasto e sobre os fluxos de gases estudados.

**Palavras-chave:** eddy covariance; metano; gás carbônico; vapor de água.

## **ABSTRACT**

The productive systems need to adequate themselves to a more sustainable production model, where the productive activities won't damage the environment and compromise the future. The integrated crop-livestock system is a known effective and sustainable production model, and, at the same time, allows for recuperation of damaged areas. In this line of thought, this work compiles and analyzes data from carbonic gas, methane and water vapor fluxes in an experimental farm from EMBRAPA Rice and Beans, regarding the period that extends from 01/10/2019 to 30/09/2020. Also evaluates other meteorological indexes from the eddy covariance station built at the location, more precisely the precipitation, air temperature, soil temperature, soil heat flux, soil water content, radiation net, photosynthetically active radiation, global radiation and air humidity data, aiming to use the data in the future for analysis using the eddy covariance method. During the whole study, the area was occupied by brachiaria grass, allowing observations of the effect of this grass on the studied gas fluxes, together with the rain and solar radiation influence over the pasture and the gas fluxes.

**Keywords:** eddy covariance; methane; carbonic gas; water vapor.

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura global é um problema crescente e cada vez mais sério, ameaçando modificar todos os aspectos da vida humana se medidas não forem tomadas. A agricultura, em especial, está em uma situação mais complicada em relação às mudanças globais, pois é um dos setores que mais tem a perder com a situação, além de ser um dos ramos que tem influência direta sobre o clima. Para estudar a influência das culturas no clima, é necessário compreender a dinâmica dos gases e contabilizar o balanço de gases retirados da atmosfera e gases liberados para a atmosfera durante o ciclo da cultura, principalmente os gases poluentes ou causadores de efeito estufa. Além disso, é importante analisar as práticas agropecuárias comuns, os tipos de manejo e sempre procurar melhorar os processos, buscar produzir mais sem aumentar a área plantada e sem degradar o meio ambiente, produzir com menos emissões, garantindo um futuro melhor.

Para o Brasil, em especial, existe uma pressão dos mercados exteriores para manter uma agricultura limpa, com baixas emissões e preservação ambiental. Uma exigência válida, já que são mercados que pagam bem pelas exportações e são importantes para a força do setor agropecuário. A proteção do setor agropecuário nacional é muito importante para um desenvolvimento sustentável, pois a população precisa dessa renda e desses empregos. Buscar apenas uma melhoria ambiental, mas em detrimento da qualidade de vida da população local não é solução.

As ações antrópicas são as principais responsáveis pelo aumento da emissão de gases do efeito estufa, sendo que uma parcela dessa emissão ocorre através das práticas de agricultura e pecuária. A contribuição da agricultura para a emissão de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) é de 25% do total de emissões, enquanto para a emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ), a contribuição é de 65% (Duxbury, 1994). Para a avaliação dos fluxos de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  o sistema utilizado neste estudo foi a Covariância de Turbilhões (*Eddy Covariance*), uma técnica micrometeorológica.

O efeito estufa em si é um fenômeno necessário para a vida no planeta, já que sem a ocorrência desse fenômeno, a temperatura global seria negativa, o

que é insustentável para boa parte dos seres vivos, incluindo os humanos. Mas se os gases responsáveis pelo efeito estufa tiverem um aumento muito grande e significativo de suas concentrações na atmosfera, a intensificação do efeito estufa vai gerar um aumento na temperatura global que pode provocar a extinção de muitas espécies do planeta. É ainda mais alarmante quando se considera o fato de que a temperatura não precisa aumentar muito para desencadear uma série de eventos catastróficos para a vida no planeta. É com base nessa situação que muitas questões ambientais têm sido colocadas em pauta, o que acaba colocando o Brasil em primeiro plano em todas essas questões, com grandes preocupações quanto à preservação ambiental e no controle das emissões da agricultura. Dessa forma, é necessário mostrar esforços e buscar alternativas para proteger o agronegócio nacional.

## **2. OBJETIVO**

Avaliar o comportamento do fluxo dos gases metano, dióxido de carbono e vapor de água em um sistema de integração lavoura-pecuária, em conjunto com análises de índices meteorológicos, a fim de buscar explicações para os comportamentos dos fluxos de gases e verificar o impacto do sistema de produção nesses fluxos.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Importância dos gases de efeito estufa**

##### **3.1.1. Metano**

O metano é um dos principais gases influenciadores do clima, estando em destaque por causa do aumento de sua concentração na atmosfera desde a revolução industrial. Por causa dos processos biológicos do solo, áreas e cultivos inundados são uma grande fonte de emissão de metano, aliado à produção de bovinos por meio da fermentação no rúmen e a queima de culturas (VIEIRA, 2009). Esses fatores tornam o estudo de como as práticas e culturas mais comuns do país afetam a dinâmica climática e liberam metano na atmosfera.

Um dos problemas do metano é a sua grande capacidade de aumentar a temperatura do ambiente como causador do efeito estufa, sendo mais forte que o gás carbônico nesse sentido, uma vez que ele possui uma alta capacidade de absorção de radiação infravermelha (PEARCE, 1989), e a sua relativamente longa vida na atmosfera, chegando a 10 anos (STEUDLER et al., 1989). Outro problema está na interação do metano com os outros gases da atmosfera, em que o metano pode formar moléculas de gás carbônico (WATSON et al., 1992), que possui tempo de vida na atmosfera muito maior do que o metano. Embora o metano possua tempo de vida na atmosfera limitado a uma década, o aumento rápido da concentração de metano na atmosfera é problemático a curto e médio prazo, principalmente com o ritmo da mudança climática atual.

O aumento do metano atmosférico, aliado ao aumento dos outros gases do efeito estufa estão alertando a população humana, gerando uma situação em que as fontes de metano precisam diminuir. Embora as fontes de metano tenham aumentado de acordo com a ação humana, o processo de retirada desse gás da atmosfera é dependente de poucos processos, com destaque para as interações com o radical OH (VIEIRA, 2009) e as oxidações microbiológicas (STEUDLER et al., 1989). Por esses motivos, verificar as emissões, aprimorar os sistemas de

produção, eliminar o excesso e minimizar as emissões são importantes para o futuro do agronegócio brasileiro.

### **3.1.2 Gás Carbônico**

O gás carbônico, assim como o metano, também é um gás de efeito estufa, tendo sua presença na atmosfera aumentando desde a revolução industrial. O aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera é mais associado a outras atividades humanas, mas a agricultura pode ser contribuinte dependendo da cultura e do manejo, sendo o desflorestamento e a queima de combustíveis fósseis suas principais fontes (LIMA, 2000).

Apesar de ser associado à poluição, o CO<sub>2</sub> é um gás essencial para a vida no planeta, pois faz parte do efeito estufa e contribui para a manutenção da temperatura global. As plantas utilizam desse gás para realizar o processo de fotossíntese, fazendo a conversão de energia solar para energia disponível no planeta, que é distribuída para os outros animais por meio das cadeias alimentares. Os animais, por sua vez, liberam gás carbônico na atmosfera por meio da respiração, formando um ciclo sustentável.

A agricultura contribui para a liberação de gás carbônico para atmosfera, além de outros gases do efeito estufa por meio de queimadas, desmatamento e expansão agrícola (PELLEGRINO, 2007). A coleta de dados de emissão ou captação de gás carbônico atmosférico é importante para fins de pesquisa e documentação de dados, principalmente na criação de uma base de dados de vários anos.

### **3.1.3. Vapor de Água**

O H<sub>2</sub>O é um gás com capacidade de aumentar a temperatura do planeta, como o gás carbônico e o metano, e as suas interações com o ambiente podem ser problemáticas para o clima. Quanto maior a temperatura da atmosfera, maior a capacidade de retenção de vapor d'água da atmosfera (DA SILVA DIAS, 2006), criando uma situação em que o vapor d'água é capaz de intensificar o efeito estufa. Aumentos na concentração de nuvens e chuvas são capazes de



influenciar o balanço energético (DA SILVA DIAS, 2006), salientando a importância do estudo desse gás.

### **3.2 Sistema de Integração Lavoura-Pecuária**

O Sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) é um método de produção onde em uma mesma área se faz o cultivo de lavouras, e de pastagens para a alimentação animal, com as duas atividades sendo alternadas ao longo do tempo, consorciadas ou rotacionadas. Os objetivos da Integração Lavoura pecuária são a recuperação ou reforma de pastagens degradadas, melhorar as condições físicas e biológicas do solo com a pastagem na área de lavoura, produzir pasto, forragem conservada e grãos para alimentação animal na estação seca, diminuir a dependência por insumos externos, e reduzir os custos, tanto da atividade agrícola quanto da pecuária (ALVARENGA, 2005).

Os sistemas de monocultura, principalmente as pastagens, acabaram por agredir muito o solo ao longo dos anos, e, em muitas localidades, as fontes de água também foram altamente prejudicadas. Nesse sentido, a integração lavoura-pecuária foi bem-sucedida em recuperar algumas áreas degradadas e servir de alternativa de manejo para produtores que buscam uma forma mais sustentável de produção.

O ponto forte desse sistema é a possibilidade de produzir em áreas degradadas, ao mesmo tempo que se faz um processo de recuperação dessas áreas, um aspecto muito importante quando se leva em conta a dificuldade de abertura de novas áreas agrícolas no país, visto que as áreas ainda não exploradas pela agricultura no Brasil são áreas de grande importância ambiental em âmbito nacional e global. Também serve para mitigar alguns riscos através da diversificação de renda (AMBROSI et al., 2001), sendo assim ainda mais importante para propriedades com a proposta de recuperação de áreas degradadas. Pode-se citar alguns outros benefícios para o produtor que implementa esse sistema, tais como, maior biodiversidade (TRACY & ZHANG, 2008), aumento da qualidade do solo (RAO et al., 2003), melhor rendimento da área e diminuição dos custos de produção (JUNIOR, 2009). Estudos indicam ainda que o sistema ILP tem potencial para manutenção dos estoques de

carbono no solo, bem como de ampliar esses estoques, devido às práticas de rotação de culturas e de conservação da palhada advinda das culturas de cobertura na superfície do solo (COSTA et al., 2015).

Nesse contexto, um ponto chave dos sistemas de integração é a promessa de que se trata de um sistema mais sustentável e que então promove menos liberação de gases poluentes, quando comparado aos sistemas convencionais e de monocultura. O princípio básico do funcionamento da integração lavoura-pecuária é o uso eficiente dos recursos disponíveis, de forma que as atividades na mesma área são compatíveis o suficiente para se complementar, utilizando o máximo dos recursos disponíveis sem agredir o meio ambiente e sem comprometer a produção.

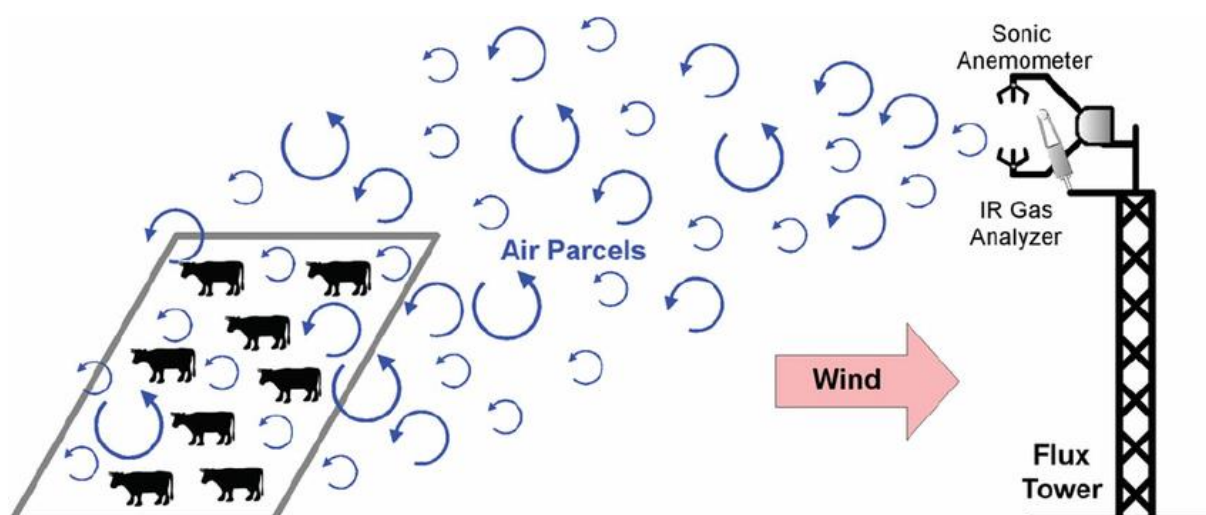
A criação de animais ruminantes é uma fonte conhecida de liberação de metano na atmosfera (VIEIRA, 2009), portanto o estudo de seu comportamento em diferentes sistemas de produção é uma necessidade.

É necessário salientar que para que a implantação e manutenção do sistema tenha êxito, o produtor deve seguir algumas recomendações, tais como: uso do Sistema Plantio Direto, rotação de culturas, utilização de espécies animais e culturas adaptados à região, correção e fertilidade do solo e fazer o manejo adequado das pastagens (JUNIOR, 2009). Caso ocorra o manejo inadequado das pastagens, corre-se o risco de gerar uma compactação superficial do solo (JUNIOR, 2009).

Conforme a população mundial cresce, a demanda por carne e outros alimentos também cresce, mas, como citado anteriormente, não é interessante desmatar novas áreas agrícolas, então a produção deve se tornar mais eficiente e planejada. O Brasil é um dos maiores exportadores de carne bovina no mundo, exportando 2.012.973 toneladas de carne bovina no ano de 2020, de acordo com a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC), sendo bastante relevante no cenário mundial nesse setor.

### 3.3. Método micrometeorológico de covariância de turbilhões (*Eddy Covariance*)

A covariância de turbilhões é uma técnica micrometeorológica que realiza as medidas em alta frequência e é utilizada para a medição dos fluxos de Gases de Efeito Estufa (GEE), por exemplo,  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , bem como dos fluxos de calor latente e sensível. Para tal, utiliza-se a determinação da covariância entre as flutuações na velocidade e direção do vento e a taxa de mistura de GEE, como ilustrado na Figura 1 (HU et al., 2014). Esse método é mais vantajoso quando comparado com outros métodos de medida, tais como métodos de câmara, em razão dos seguintes fatores: as técnicas micrometeorológicas não geram perturbações nem modificações no ambiente da parte aérea das plantas no local em estudo, permitindo então uma amostragem mais concordante com a realidade. Além disso, possibilitam que sejam feitas medidas contínuas ao longo do tempo, para análise de quaisquer alterações sofridas na área. Por último, fornecem uma média do que está ocorrendo na área e do conjunto das taxas de câmbio de gases entre a superfície e a atmosfera (BALDOCCHI, et al., 1988). Assim, pode-se gerar aprimoramento dos modelos que estudam os GEE.



**Figura 1.** Esquema demonstrando o método da covariância de turbilhões por Hu, et al., 2014.

O sistema da covariância de turbilhões é considerado o método micrometeorológico mais direto para a medição dos fluxos de gases entre a superfície e a atmosfera (BALDOCCHI, 2003; DABBERDT et al., 1993). Utilizando esse sistema, assume-se que as medições são feitas abrangendo uma área extensa e homogênea, sem obstáculos para os fluxos de ar (JONES, et al., 2011).

A teoria micrometeorológica se baseia em uma equação de conservação, que afirma que a taxa de tempo de alteração da concentração de um constituinte químico atmosférico em um certo ponto é equilibrada pela convecção e advecção médias, pela convergência ou divergência média do fluxo turbulento, pela difusão molecular e por qualquer outra fonte ou sumidouro (BALDOCCHI et al., 1988).

Para a utilização desse método, é necessária a instalação de uma torre, que possua uma altura tal que permita a avaliação dos fluxos de forma precisa, estando os sensores próximos o suficiente para captar os gases liberados no ambiente em estudo (lavoura, pastagem, vegetação nativa) mas sem adentrar a camada mais próxima ao dossel da vegetação, devido a probabilidade de ocorrerem medições incorretas, com valores desconexos dos que ocorrem na realidade (BURBA, 2013). Outro ponto importante, ainda segundo BURBA (2013) é o *footprint*, ou seja, a área abrangida pela torre de medição. O tamanho dessa área é estimado em função das seguintes variáveis: altura de medição, distúrbios na superfície e direção, velocidade e estabilidade do vento. É necessário que o *footprint* seja adequado, para que o fluxo mensurado seja precisamente da área de interesse.

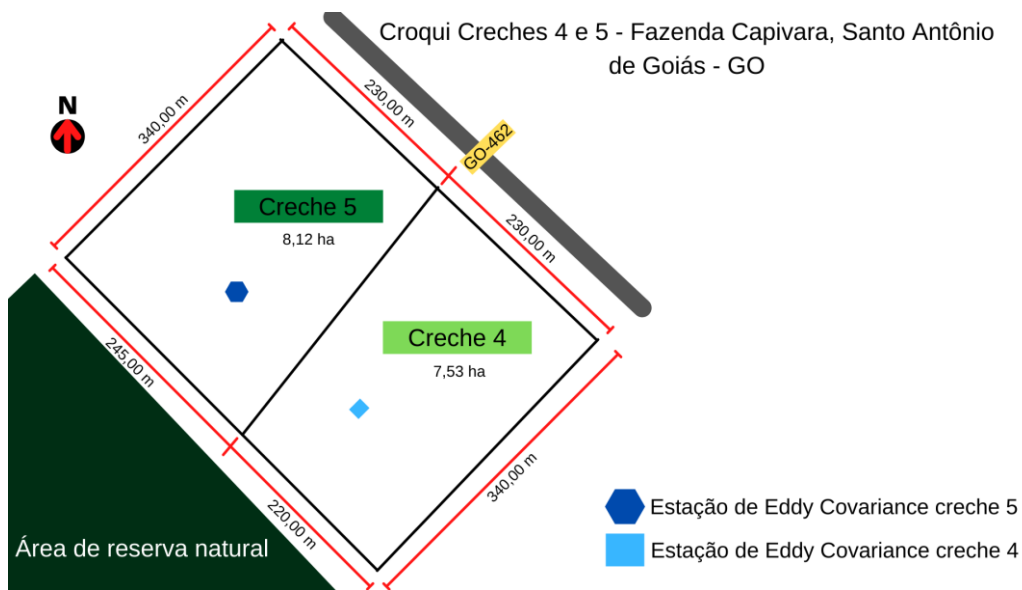
## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Descrição da área de estudo**

O experimento está sendo realizado em duas áreas, denominadas Creche 4 (7,53 ha) e Creche 5 (8,12 ha) em integração lavoura-pecuária na Fazenda Capivara (área experimental), Embrapa Arroz e Feijão, Zona Rural, Santo Antônio de Goiás – GO. Neste estudo, serão apresentadas as informações obtidas na Creche 4. O tipo de clima da região é o Aw (clima tropical com estação seca no inverno), de acordo com a Classificação Climática de Köppen-Geiger (CARDOSO et al., 2014). O local tem duas estações bem definidas, sendo a seca nos meses de maio até setembro e a chuvosa de outubro a abril, com precipitação pluvial média anual de aproximadamente 1.472,8 mm (SILVA, 2000). Ainda segundo SILVA (2000), a umidade relativa média anual no local é de 70%. No mês de agosto ocorrem os ventos mais fortes (1,3 m/s) e a umidade relativa média mais baixa (51%).

O município possui latitude de 16°28'00" S, longitude de 49°17'00" W e altitude de 823 m. A área da Embrapa Arroz e Feijão possui predominância de solo argiloso, de classificação Latossolo vermelho-escuro (SILVA, 2000) e tem uma declividade aproximada de 0,3%. A vegetação nativa era de floresta tropical subcaducifólia, pertencente ao bioma do Cerrado, do tipo cerradão, segundo SILVEIRA et al. (2010).

As creches ficam posicionadas entre a rodovia GO-462, à nordeste, e uma área de preservação, à sudoeste, como observado nas Figuras 2 e 3.



**Figura 2.** Croqui das áreas experimentais com as posições de suas respectivas estações de *Eddy Covariance*, onde estão instalados os sensores utilizados no experimento.



**Figura 3.** Imagem de satélite da área experimental contendo as creches 4 e 5 da Fazenda Capivara, Embrapa Arroz e Feijão, 2021.

#### 4.1.2. Sistema de Produção - Creche 5

Durante o período de estudo, a área da Creche 5 sempre esteve ocupada por *Brachiaria* sp. Bovinos ocuparam a área entre os dias 01/12/2019 e

23/12/2019, entre 29/01/2020 e 21/02/2020, entre 02/06/2020 e 19/06/2020, e no dia 20/08/2020, os animais arrebentaram a cerca e entraram na Creche 5.

## 4.2. Equipamentos utilizados

Os equipamentos analisadores de gases utilizados são dispositivos ópticos, de forma que avaliam o comportamento da luz na presença de determinado gás, gerando informações sobre a densidade do mesmo (BURBA, 2013).

São usados dois sensores baseados na radiação infra vermelha (*Infra Red Gas Analyser* – IRGA) diferentes para a mensuração dos gases, sendo um para CO<sub>2</sub> e água e outro para CH<sub>4</sub>. O sensor para o gás metano possui uma dimensão maior do que o sensor do gás carbônico, devido à baixa concentração do gás metano no ambiente, quando comparada com a concentração de gás carbônico. Para a utilização do método da Covariância de turbilhões, os sensores precisam medir o fluxo de gases em alta resolução e alta frequência (10 Hz), para capturar a maior parte do transporte de gases, em diversas condições (BURBA, 2013).

O sensor utilizado para análise de CO<sub>2</sub> e vapor d'água é o LI-7500A, da LICOR®, um dispositivo NDIR (infravermelho não dispersivo) de banda larga que funciona medindo a luz absorvida em uma ampla faixa do espectro eletromagnético. Um feixe de banda larga infravermelho é transmitido da base do aparelho até o detector, localizado na outra extremidade. Para medir o CO<sub>2</sub> usa-se uma banda de absorção centralizada em 4,46 µm, e para o vapor d'água, uma em 2,59 µm (LI-COR Biosciences, 2009).

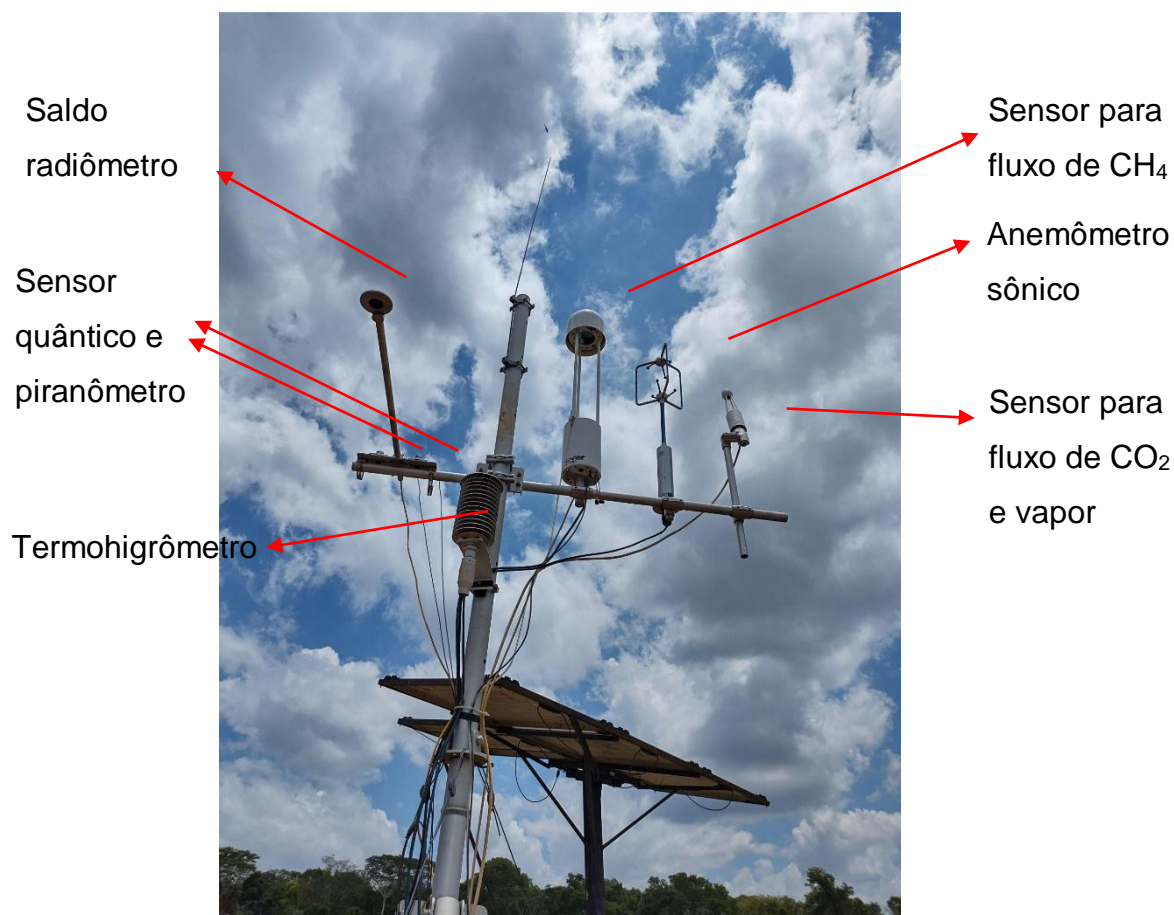
No caso do sensor para medição do gás metano, o LI-7700 (LICOR®), trata-se de um dispositivo de banda estreita, que utiliza várias técnicas de espectroscopia a laser, para medir a luz absorvida em uma única faixa ou banda estreita do espectro eletromagnético. A diferença para um dispositivo de banda larga é que neste caso, a luz está em uma banda muito estreita (banda do gás de interesse), que é fornecida geralmente por um laser. O método que esse sensor utiliza é o Wave-length Modulation Spectroscopy (WMS) -

“Espectroscopia de Modulação de Comprimento de Onda”, onde o raio laser é emitido da fonte, passando pela célula aberta, é refletido múltiplas vezes por dois espelhos e então chega ao detector. Ele não usa a absorção direta para a medição, mas analisa as mudanças na luz que ocorrem na presença do CH<sub>4</sub> (LI-COR Biosciences, 2010).

Juntamente com os sensores analisadores dos gases, também está instalado um anemômetro sônico tridimensional modelo GILL-WMP (LI-COR®) para medição da velocidade vertical do vento.

Além dos equipamentos citados acima, outros sensores utilizados para o experimento estão conectados à torre, sendo eles: sonda HMP 155 (LI-COR®) para a medição da umidade relativa e temperatura do ar; sonda Stevens Hydra Probe II para a medição do conteúdo de água e temperatura do solo (instalada a 10 cm de profundidade no solo); Pluviômetro TR 525 M para pluviosidade; HFP 01 para fluxo de calor do solo (3 sensores instalados a 5, 10 e 15 cm de profundidade no solo); sensor quântico LI-190R (LI-COR®) para radiação fotossinteticamente ativa; Piranômetro LI-200R (LI-COR®) para radiação solar; saldo radiômetro modelo NR-Lite2 (Kipp-Zonen) para saldo de radiação. Todas as informações foram armazenadas utilizando um coletor de dados da marca Sutron, modelo 9210B. Na Figura 4 é possível observar alguns destes equipamentos instalados em campo.





**Figura 4.** Equipamentos instalados na área da Creche 4, com foco nos sensores de fluxo de gás metano, anemômetro sônico e fluxo de gás carbônico e água, à direita na imagem (21/10/2021).

### 4.3. Análises

#### 4.3.1. Cálculos dos Fluxos de Gases de Efeito Estufa

Para a avaliação dos fluxos de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  o sistema utilizado neste estudo foi a Covariância de Turbilhões (Eddy Covariance), uma técnica micrometeorológica. O cálculo dos fluxos de gases foi feito através do software EddyPro (LICOR®). O programa calcula as flutuações turbulentas de 30 em 30 minutos, realizando as correções necessárias para a estimativa dos fluxos, utilizando-se a metodologia sugerida por AUBINET et al. (2012).

#### 4.3.2. Controle de qualidade, preenchimento dos dados, partição dos fluxos

O primeiro controle de qualidade dos dados brutos coletados no método da covariância de turbilhões é feito com a eliminação de dados considerados de baixa qualidade pelo próprio software Eddy Pro<sup>®</sup>, segundo parâmetros indicados por MAUDER & FOKEN (2006) e FOKEN et al. (2012). Os dados considerados de baixa qualidade foram aqueles que estão fora dos limites aceitáveis nos padrões de medidas e também aqueles que possuem problemas de continuidade ao longo do tempo.

O controle de qualidade secundário dos dados obtidos foi realizado a partir de uma filtragem, fazendo-se a eliminação daqueles com comportamento anormal ou fora das máximas e mínimas esperadas para o ambiente em que o experimento se encontra. Essa filtragem é feita de forma manual, com os dados de fluxo obtidos em intervalos de 30 min. É indispensável fazer essa limpeza, para que os dados mantidos sejam apenas aqueles com boa qualidade.

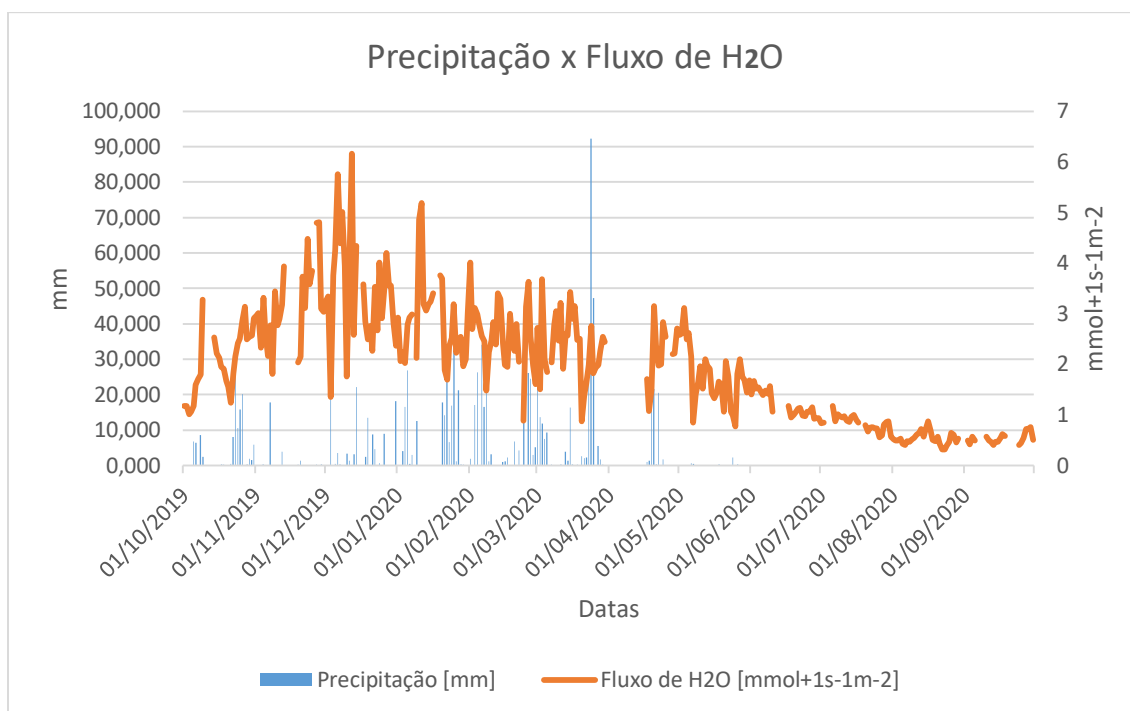
#### **4.3.3. Obtenção dos dados meteorológicos da área**

Os dados meteorológicos médios da área, tais como temperatura do ar, umidade relativa, radiação global, saldo de radiação, radiação fotossinteticamente ativa e pluviosidade foram obtidos em períodos de 30 minutos. A filtragem desses dados foi feita de forma manual com a eliminação de dados considerados de baixa qualidade, sendo eles: dados repetidos em sequência, que expressam travamento do sistema; dados com valor “-9999”, que simboliza erro. Para os valores de radiação global foi necessário realizar também uma filtragem dos dados negativos, que configuram erro de leitura do sensor. Após essa limpeza, fez-se a média dessas medidas, para se obter os valores meteorológicos diários da área.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Precipitação**

As Chuvas na área seguem o regime chuvoso da região, com os períodos de seca e de chuvas bem distintos, conforme observado na figura 5, que apresenta a precipitação diária na área da creche 5 e o fluxo de vapor d'água para o período de 01/10/2019 a 30/09/2020.



**FIGURA 5.** Precipitação diária e fluxo de vapor d'água durante o período estudado

O regime de chuvas e o fluxo de vapor d'água estão ligados, de forma que as precipitações são um dos maiores fatores que influenciam o fluxo de H<sub>2</sub>O. Em épocas com menos disponibilidade de água pela ausência de chuvas, o fluxo fica menos intenso.

A tabela 1 mostra o volume diário de precipitação em categorias, demonstrando que a maior parte do ano permanece seca, com 105 dias com algum volume de chuva registrado, de forma que a estação chuvosa apresenta a maioria das chuvas na faixa de 0,1 a 10 mm por dia chuvoso.

**TABELA 1.** Distribuição das classes de volume de precipitação diários na creche 5

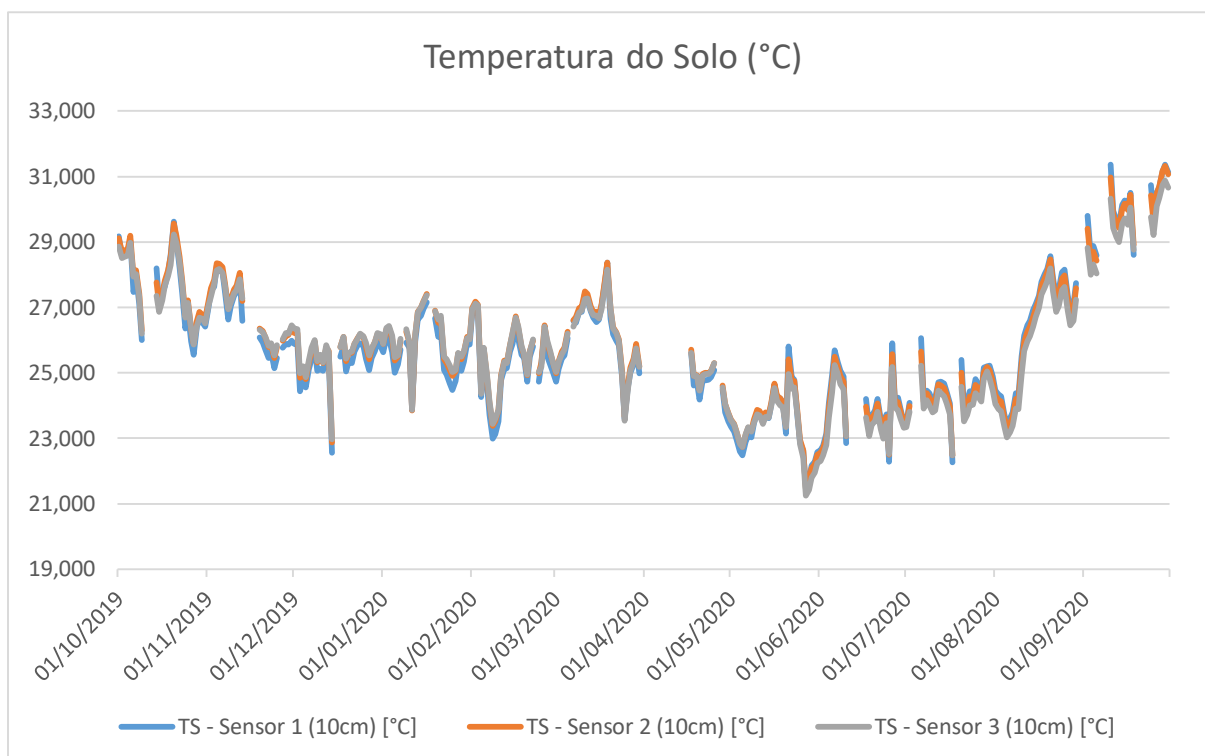
| Precipitação (mm) | Total de ocorrência diária | Porcentagem das Ocorrências |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 0                 | 202                        | 65,8%                       |
| 0,1 a 0,9         | 26                         | 8,5%                        |
| 1,0 a 9,9         | 43                         | 14%                         |
| 10,0 a 19,9       | 16                         | 5,2%                        |
| 20,0 a 29,9       | 14                         | 4,6%                        |
| 30,0 a 50,0       | 5                          | 1,6%                        |
| Mais que 50       | 1                          | 0,3%                        |

Também mostra que chuvas muito intensas são pouco documentadas, mas que ocorrem com certa frequência no ano, com menções notáveis para os dias 23, 24 e 25 de março de 2020, com registros de 36,4mm, 92,3mm e 47,3mm respectivamente.

Entre os 105 dias chuvosos documentados, a precipitação média foi de 9,935 mm por dia. Para o período estudado, houve estação chuvosa entre 01/10/2019 e 24/04/2020 (dia do ano 274 ao dia 115 do ano seguinte) e estação seca entre 25/04/2020 e 30/09/2020 (dia 116 ao dia 273 do ano). Essa divisão entre período chuvoso e período seco é importante para a análise dos outros índices estudados e tem influência direta sobre os resultados obtidos e valores observados.

## 5.2. Temperatura do Solo

Não houve registros de temperatura do solo abaixo de 21°C, sendo que a menor temperatura registrada foi de 21,239°C, no dia 27/05/2020 enquanto a maior temperatura registrada foi de 31,364°C, no dia 10/09/2020. A temperatura do solo na creche 5 durante o período de 01/10/2019 a 30/09/2020 está na Figura 6 a seguir:



**FIGURA 6.** Temperatura do solo entre 01/10/2019 a 30/09/2020

Os maiores picos de temperatura são registrados na estação seca e mais quente do ano, enquanto as menores temperaturas são registradas no período que coincide com o fim da época chuvosa e início da seca. Na maior parte do ano as temperaturas do solo ficam entre 23 a 28°C, sendo que essa faixa de temperatura é registrada em 82,5% dos dias, como mostra a tabela 2.

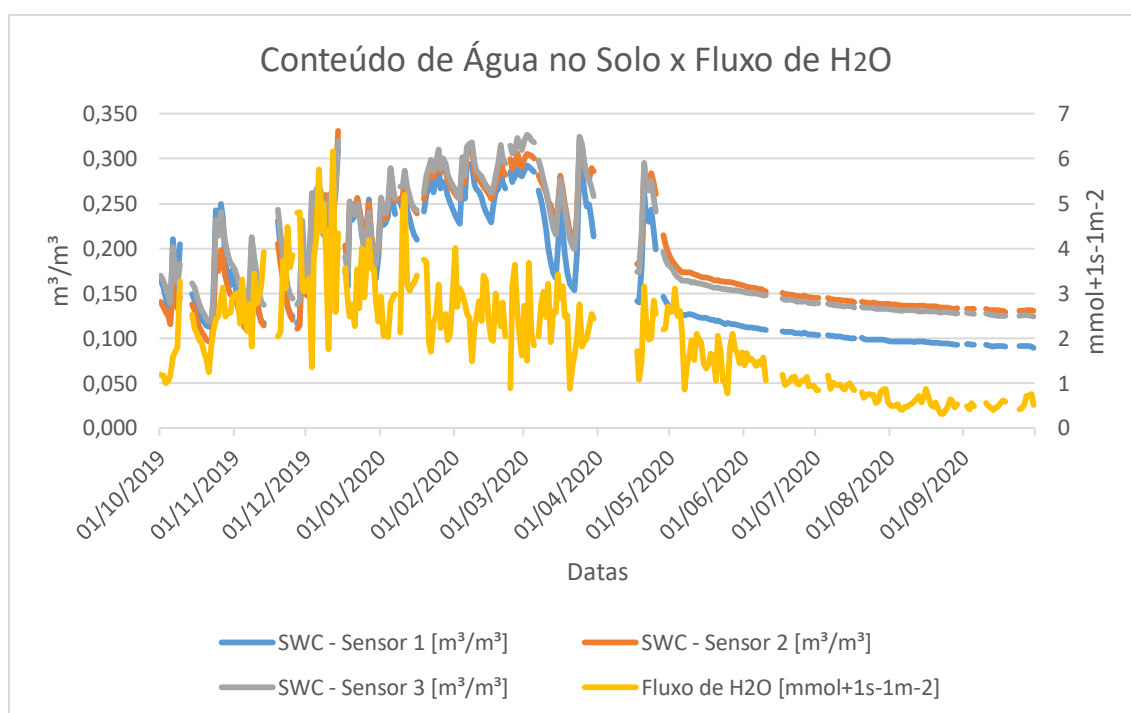
**TABELA 2.** Distribuição das classes de temperatura do solo na creche 5

| Temperatura do solo (°C) | Total de entradas do sensor 1 | Total de entradas do sensor 2 | Total de entradas do sensor 3 | Total de entradas nos 3 sensores | Total de entradas em porcentagem do total |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---|
| 20 a 22,9°C              | 18                            | 14                            | 16                            | 48                               | 5,2%                                      |
| 23 a 24,9°C              | 96                            | 93                            | 95                            | 284                              | 30,8%                                     |
| 25 a 27,9°C              | 153                           | 162                           | 161                           | 476                              | 51,7%                                     |
| 28 a 29,9°C              | 29                            | 29                            | 28                            | 86                               | 9,3%                                      |
| ≥ 30°C                   | 11                            | 9                             | 7                             | 27                               | 3%  |

A temperatura média registrada pelo primeiro sensor foi de 25,72°C, a média do segundo sensor foi de 25,82°C, e a média do terceiro sensor foi de 25,69°C.

### 5.3. Conteúdo de Água no Solo

Durante o período, o menor valor registrado foi de 0,089 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, pelo sensor 1 no dia 30/09/2020, enquanto o maior valor registrado foi de 0,331 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, pelo sensor 2 no dia 14/12/2019. A figura 7 representa o conteúdo de água no solo e fluxo de H<sub>2</sub>O ao longo do período estudado:



**FIGURA 7.** Conteúdo de água no solo e fluxo de H<sub>2</sub>O ao longo do período estudado

Assim como observado na precipitação, o fluxo de H<sub>2</sub>O diminui durante os períodos de menor disponibilidade de água, sendo assim limitado pela precipitação e volume de água disponível na área.

A média registrada entre os 3 sensores foi de 0,184 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. A tabela 3 mostra que a faixa entre 0,1 a 0,199 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> compreende mais da metade das

mensurações, e se essa faixa for estendida para até  $0,299 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , representaria quase 90% das mensurações.

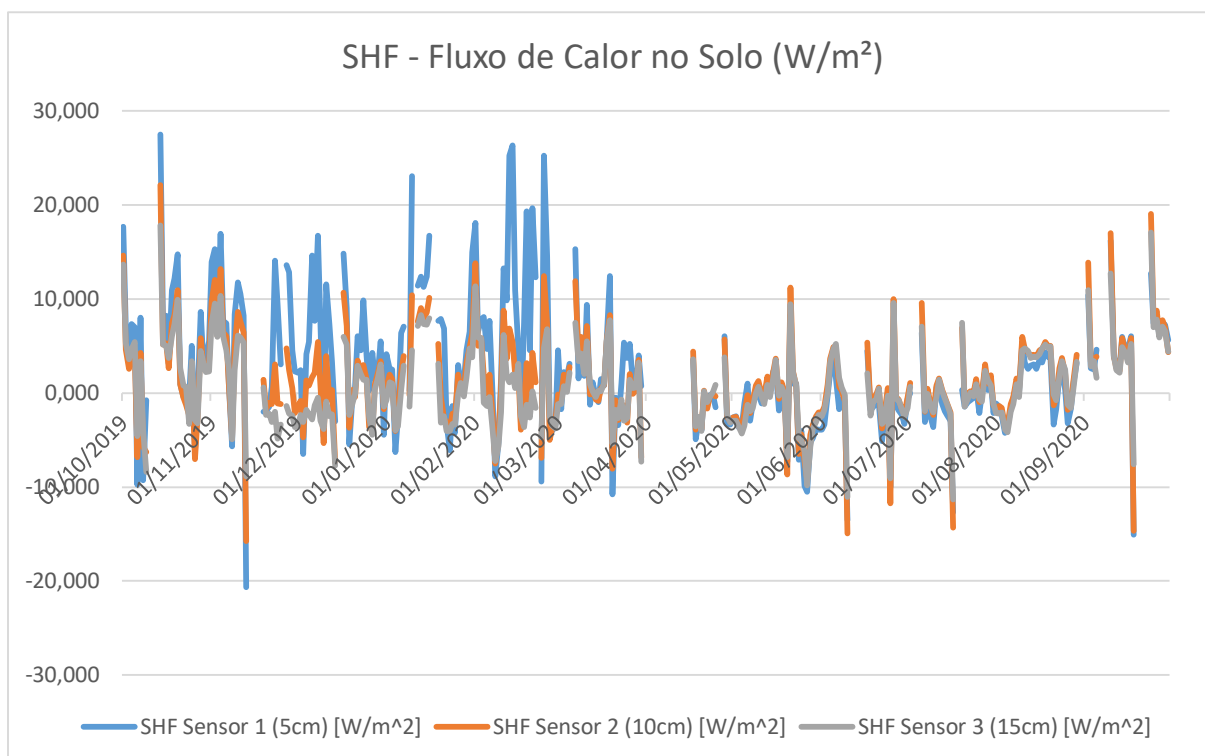
**TABELA 3.** Distribuição das classes de conteúdo de água no solo na creche 5

| Conteúdo de água no solo ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) | Total de entradas no sensor 1 | Total de entradas no sensor 2 | Total de entradas no sensor 3 | Total de entradas nos 3 sensores | Total de entradas em porcentagem do total |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---|
| 0,08 a 0,99  | 61                            | 3                             | 0                             | 64                               | 6,96%                                     |
| 0,1 a 0,199  | 134                           | 185                           | 185                           | 504                              | 54,72%                                    |
| 0,2 a 0,299  | 111                           | 105                           | 100                           | 316                              | 34,31%                                    |
| $\geq 0,3$   | 1                             | 14                            | 22                            | 37                               | 4,02%                                     |

Como esperado, a estação chuvosa apresenta maior variação do conteúdo de água no solo, enquanto apresenta uma média maior do que a da estação seca. Durante a época das águas (01/10/2019 a 25/04/2020), a média do conteúdo de água no solo foi de  $0,225 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , e durante a seca foi de  $0,132 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

#### 5.4. Fluxo de Calor no Solo

Durante o período analisado, o fluxo de calor no solo se manteve constante, na maior parte do tempo, seguindo o comportamento esperado em relação ao número de horas com luz solar durante o dia. O maior pico registrado ocorreu no dia 14/10/2019, com um fluxo de  $27,544 \text{ W}/\text{m}^2$  registrado pelo sensor 1. O menor valor também foi registrado pelo sensor 1, no dia 13/11/2019, com o registro de  $20,645 \text{ W}/\text{m}^2$  negativos, como pode ser observado na figura 8.

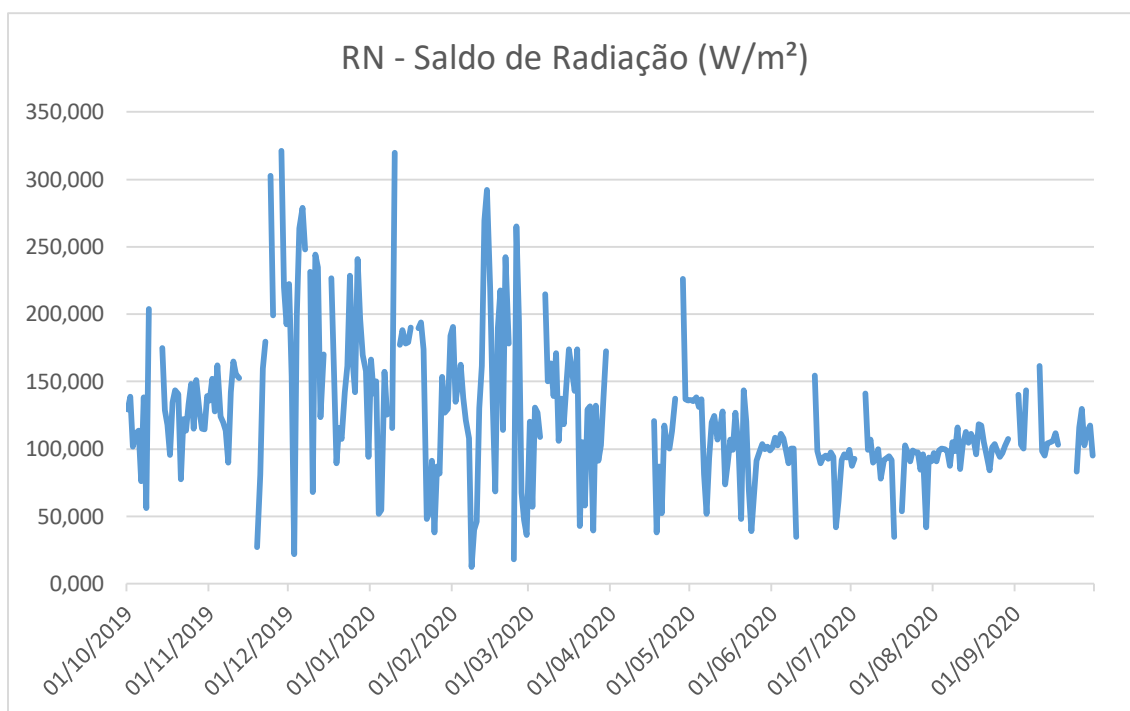


**FIGURA 8.** Fluxo de calor no solo na creche 5, Dados provenientes de 3 sensores em profundidades diferentes

### 5.5. Saldo de Radiação, Radiação Fotossinteticamente Ativa e Radiação Global

Na figura 9 observa-se os valores de saldo de radiação, mostrando que o saldo segue o mesmo padrão dos índices anteriores, com uma maior variação na época da chuva, e um perfil mais estabilizado na época da seca, o que condiz com a situação das nuvens e incidência solar nos períodos. O menor valor ocorreu no dia 08/02/2020, com saldo de  $12,424W/m^2$ , enquanto que o maior valor ocorreu no dia 28/11/2019, com o valor de  $321,372W/m^2$ .





**FIGURA 9.** Saldo de radiação entre 01/10/2019 e 30/09/2020

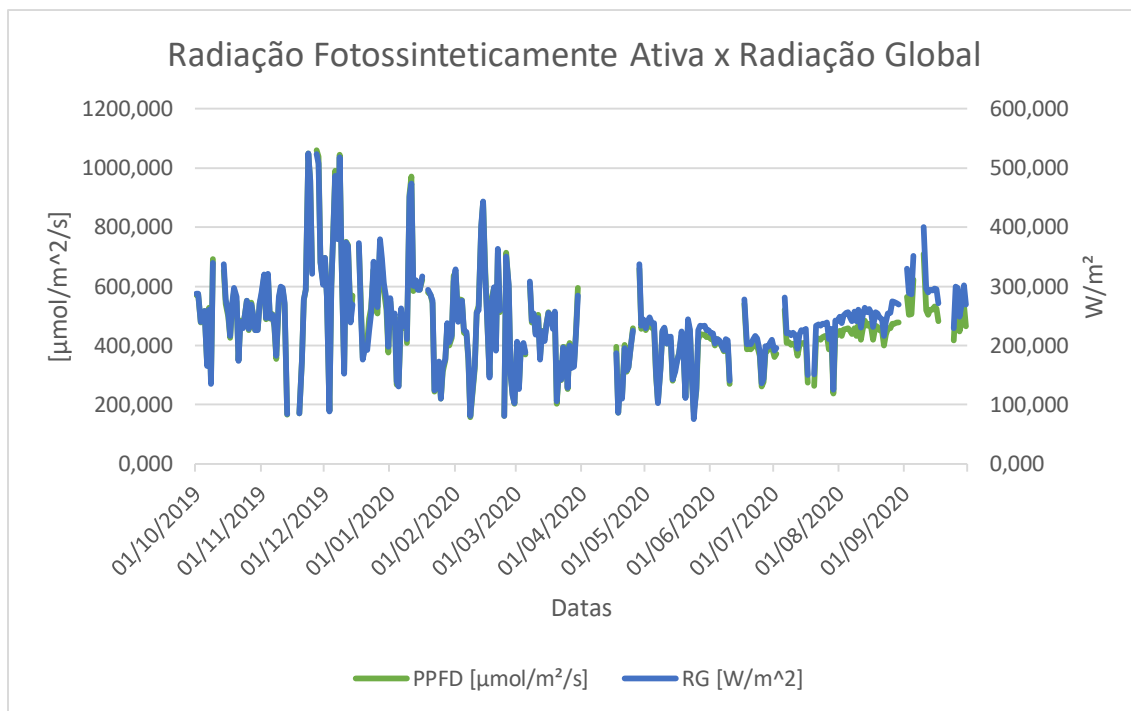
O Saldo de Radiação é um dos índices estudados que mais sofre distorção com os problemas do equipamento, pois o comportamento esperado do saldo é de números negativos durante a noite e números positivos durante o dia, caracterizando assim o saldo do dia. Qualquer problema que ocorra em alguma parte do dia vai favorecer o saldo da parte contrária, ou seja, problemas durante a noite resultam em saldos superestimados e problemas durante o dia resultam em saldos subestimados. A tabela 4 demonstra a distribuição do saldo de radiação.

**TABELA 4.** Distribuição das classes de saldo de radiação na creche 5

| Saldo de Radiação (W/m <sup>2</sup> ) | Total de entradas | Média (W/m <sup>2</sup> ) | Total de entradas em porcentagem do total |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------------|---|
| 0 a 149,9                             | 230               | 100,74                    | 76,4%                                     |
| 150 a 224,9                           | 54                | 176,13                    | 17,9%                                     |
| 225 a 299,9                           | 14                | 249,47                    | 4,7%                                      |
| ≥300                                  | 3                 | 314,60                    | 1%  |

A média do saldo de radiação para o período é de 123,32W/m<sup>2</sup> por dia.

A Radiação Fotossinteticamente Ativa e a Radiação Global sofrem do mesmo problema que o saldo de radiação, pois a hora do dia também afeta o comportamento desses índices. Na figura 10 são apresentados os valores de Radiação Fotossinteticamente Ativa e Radiação Global para o período estudado.



**FIGURA 10.** Radiação Fotossinteticamente Ativa e Radiação Global no período de 01/10/2019 a 30/09/2020

A Radiação Global e a Radiação Fotossinteticamente Ativa apresentam valores muito parecidos, conforme ilustrado na figura 10.

O menor valor de Radiação Fotossinteticamente Ativa foi de 158,248  $\hat{\mu}$ mol/m<sup>2</sup>/s no dia 08/02/2020, enquanto que o maior valor foi de 1060,746  $\hat{\mu}$ mol/m<sup>2</sup>/s no dia 27/11/2019, enquanto que a média dos dados diários é de 467,95  $\hat{\mu}$ mol/m<sup>2</sup>/s, conforme mostra a tabela 5.

**TABELA 5.** Distribuição das classes de Radiação Fotossinteticamente Ativa na creche 5

| PPFD<br>( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) | Total de entradas | Média<br>( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) | Dados em<br>porcentagem do<br>total |
|---|-------------------|--|-------------------------------------|
| 100 a 249,9                                     | 17                | 201,92   | 5,6%                                |
| 250 a 499,9                                     | 188               | 407,82   | 61,4%                               |
| 500 a 749,9                                     | 89                | 582,42   | 29%                                 |
| $\geq 750$                                      | 12                | 937,71   | 4%                                  |

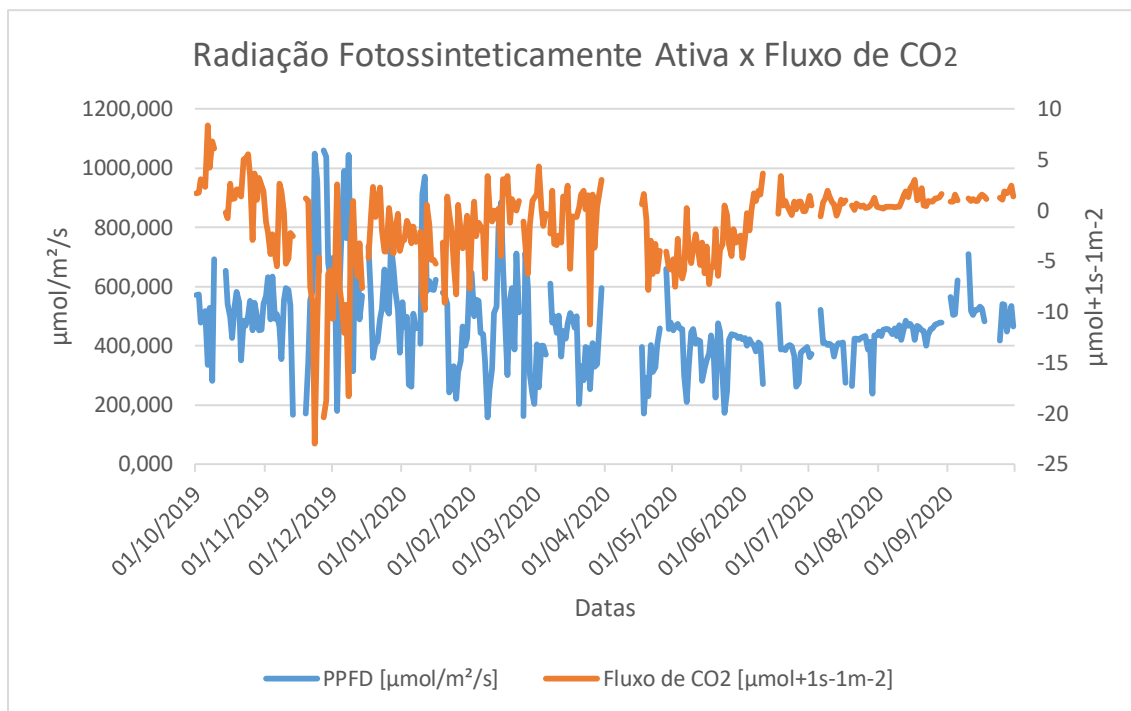
A radiação global também apresenta números positivos ou negativos de acordo com a hora do dia, sofrendo do mesmo problema dos demais índices de radiação. A menor radiação global foi registrada no dia 24/05/2020, com valor de 75,076 W/m<sup>2</sup>, enquanto que o maior registro ocorreu no dia 23/11/2019, com valor de 524,759 W/m<sup>2</sup>, conforme apresentado na figura 10.

Por ser um indicador direto da ação do sol, pode ser observado uma tendência de acordo com a duração do dia, principalmente na época seca, quando há menos interferência de nuvens e chuva. A tabela 6 mostra que em mais de 85% do ano, a radiação global está na faixa entre 150 a 449,9W/m<sup>2</sup>.

**TABELA 6.** Distribuição das classes de radiação global na creche

| Radiação global<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Total de entradas | Média (W/m <sup>2</sup> ) | Dados em<br>porcentagem do<br>total |
|--|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 0 a 149,9                              | 32                | 117,80                    | 10,5%                               |
| 150 a 299,9                            | 230               | 233,77                    | 75,1%                               |
| 300 a 449,9                            | 36                | 342,09                    | 11,8%                               |
| $\geq 450$                             | 8                 | 495,44                    | 2,6%                                |

Os índices de radiação afetam a fotossíntese do pasto, de forma que, na presença de água disponível na área, o fator limitante para o fluxo de CO<sub>2</sub> é a disponibilidade de luz solar, o que pode ser observado na figura 11.

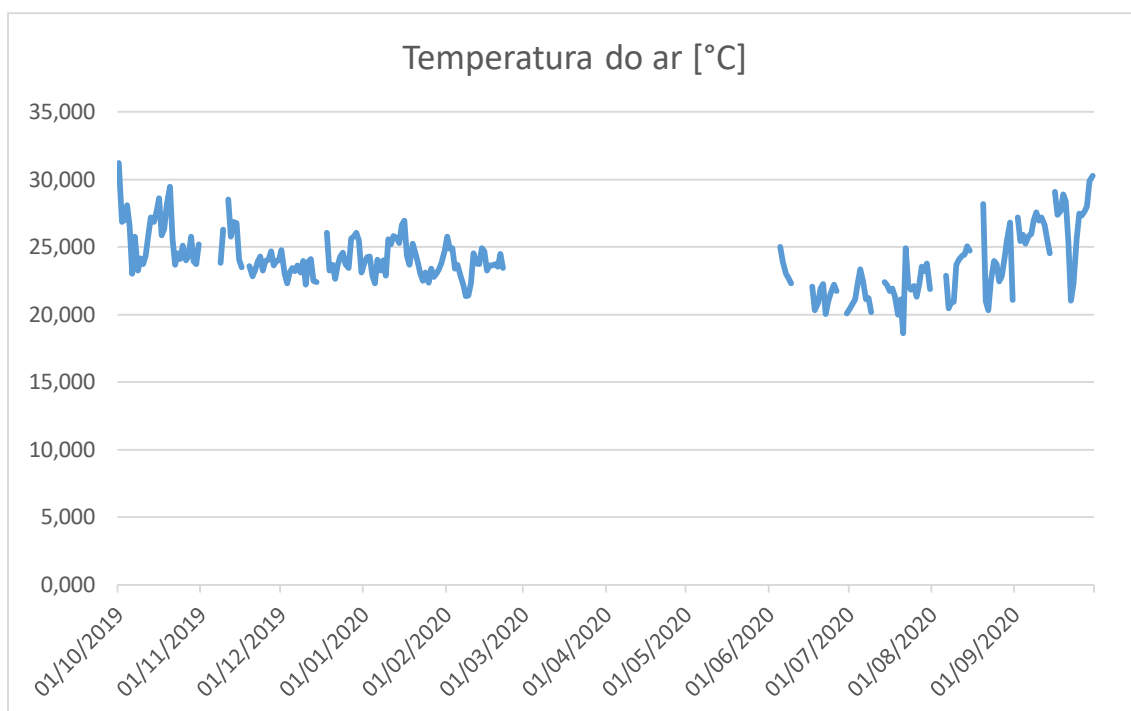


**Figura 11.** Fluxo de CO<sub>2</sub> e Radiação Fotossinteticamente Ativa entre 01/10/2019 a 30/09/2020 na Creche 5

O fluxo de CO<sub>2</sub> apresenta valores negativos nos períodos de maior Radiação disponível, que estão concentrados em épocas de chuvas abundantes, configurando uma situação que favorece a fotossíntese e o crescimento vegetativo, resultando em retirada de CO<sub>2</sub> do ar. Em períodos com menor radiação e poucas chuvas, o fluxo de CO<sub>2</sub> se mantém estável e constante, demonstrando menor crescimento vegetativo por causa da seca.

## 5.6. Temperatura do ar

A temperatura média na creche 5 apresenta o comportamento esperado na região, com temperaturas mais altas entre agosto e outubro, e temperaturas que vão gradativamente diminuindo conforme a estação chuvosa avança e o inverno se aproxima, como ilustrado na figura 12 e na tabela 7.



**FIGURA 12.** Temperatura do ar durante o período estudado na creche 5

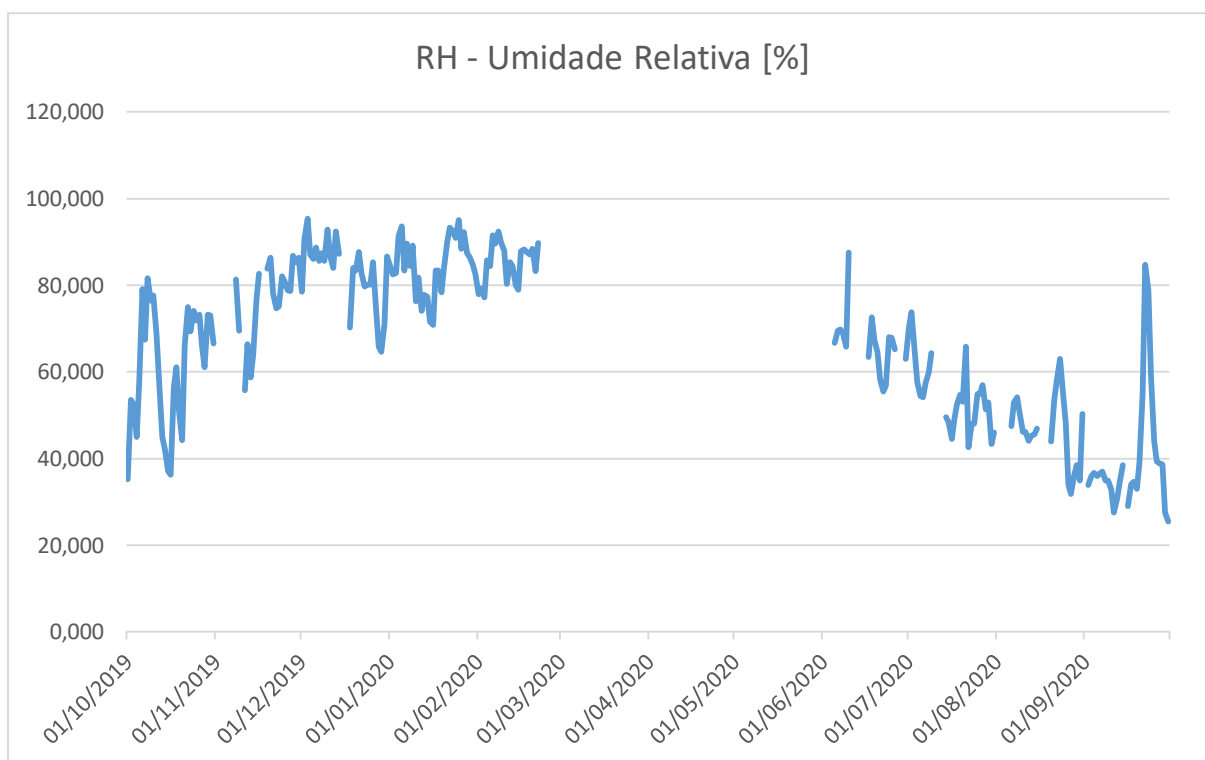
**TABELA 7.** Distribuição das classes de temperatura média na creche 5

| Temperatura média (C°) | Total de entradas | Média (C°) | Dados em porcentagem do total |
|------------------------|-------------------|------------|-------------------------------|
| Até 21,9°C             | 32                | 20,958     | 14,2%                         |
| 22 a 24,9°C            | 126               | 23,511     | 56%                           |
| 25 a 29,9°C            | 65                | 26,643     | 28,9%                         |
| 30°C ou mais           | 2                 | 30,753     | 0,9%                          |

A maior temperatura média diária registrada foi de 31,232°C, no dia 01/10/2019, e a menor temperatura média diária foi de 18,6°C, no dia 21/07/2020. O maior pico de temperatura foi registrado no dia 29/09/2020, às 13:30h com o valor de 37,517°C, e a menor temperatura foi registrada no dia 09/07/2020, às 07:00h com o valor de 12,007°C.

## 5.7. Umidade relativa

A figura 13 mostra que umidade relativa também apresenta comportamento esperado durante o período, com altas médias durante os picos de chuva e médias em queda durante o período seco.



**FIGURA 13.** Umidade relativa durante o período estudado na creche 5

75% dos dias apresentaram umidade média acima dos 50%, de acordo com a tabela 8, situação o que não reflete a realidade da creche 5, pois os dados durante a seca foram comprometidos.

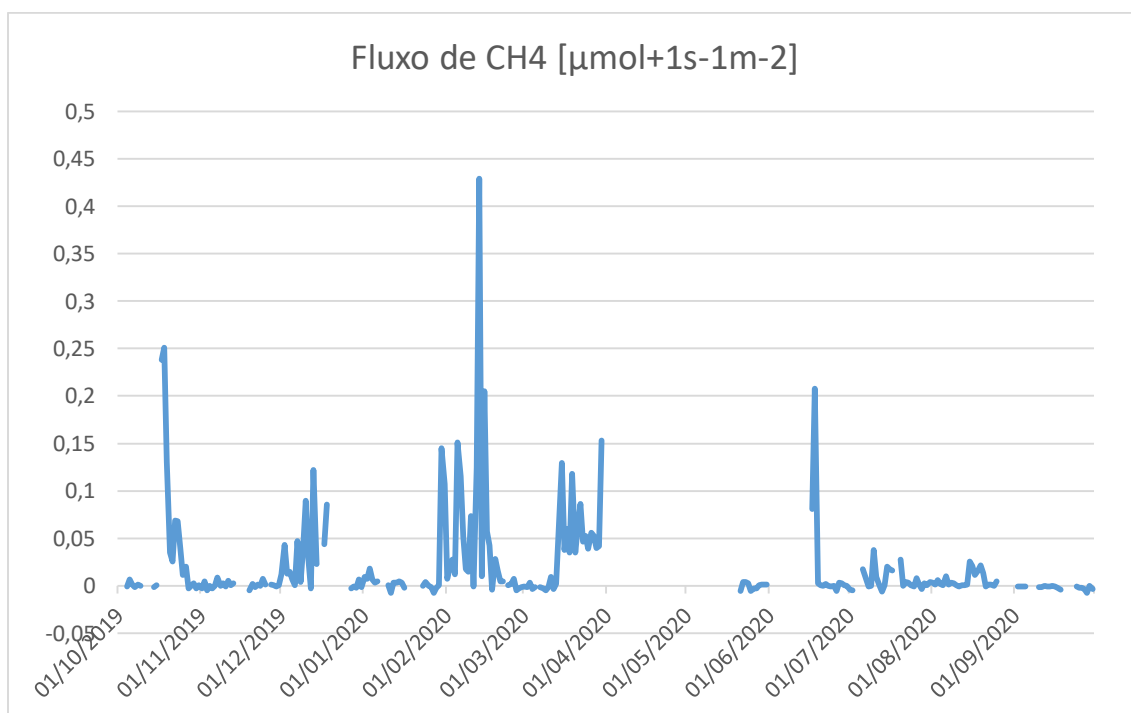
**TABELA 8.** Distribuição das classes de umidade relativa média diária

| Umidade relativa média (%) | Total de entradas | Média (%) | Dados em porcentagem do total |
|----------------------------|-------------------|-----------|-------------------------------|
| Até 34,99%                 | 16                | 32,114    | 7,1                           |
| 35 a 49,99%                | 38                | 42,475    | 16,8                          |
| 50 a 84,99%                | 126               | 69,700    | 55,8                          |
| Maior que 85%              | 46                | 30,753    | 20,3                          |

A maior média diária de umidade ocorreu no dia 03/12/2019, no valor de 95,372%, enquanto que o dia com a menor média foi o da 30/09/2020, com média de 25,514%. O ponto com a menor umidade registrada aconteceu no dia 29/09/2020, às 16:00h.

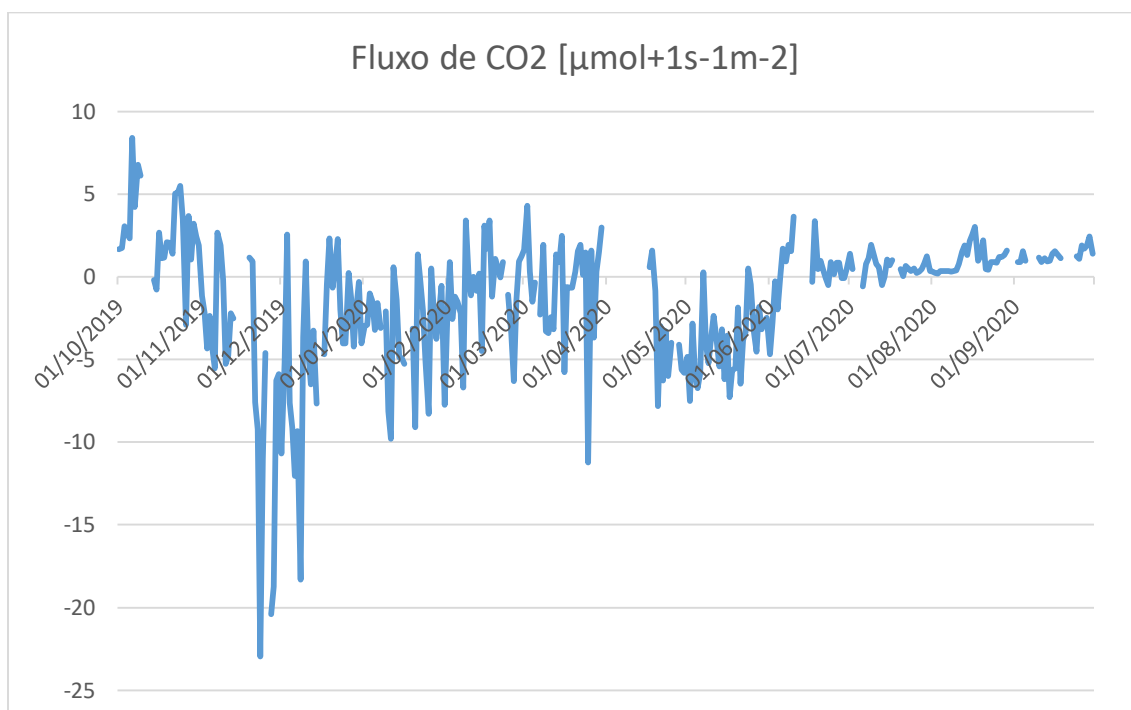
### 5.8. Análise dos fluxos de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>O

A figura 14 mostra que o fluxo metano apresenta 3 picos distintos no período estudado, sendo que dois deles acabam coincidindo com as datas de presença de bovinos na área estudada, um comportamento esperado e confirmado pelas observações.



**FIGURA 14.** Fluxo de metano durante o período estudado na creche 5

Os períodos de baixo fluxo de metano mostram o comportamento normal do pasto sem a presença dos animais, enquanto o pico do fluxo no mês de outubro de 2019 pode ser indicativo da ação de preenchimento dos poros do solo pela água, liberando gases retidos pelo solo para a atmosfera.

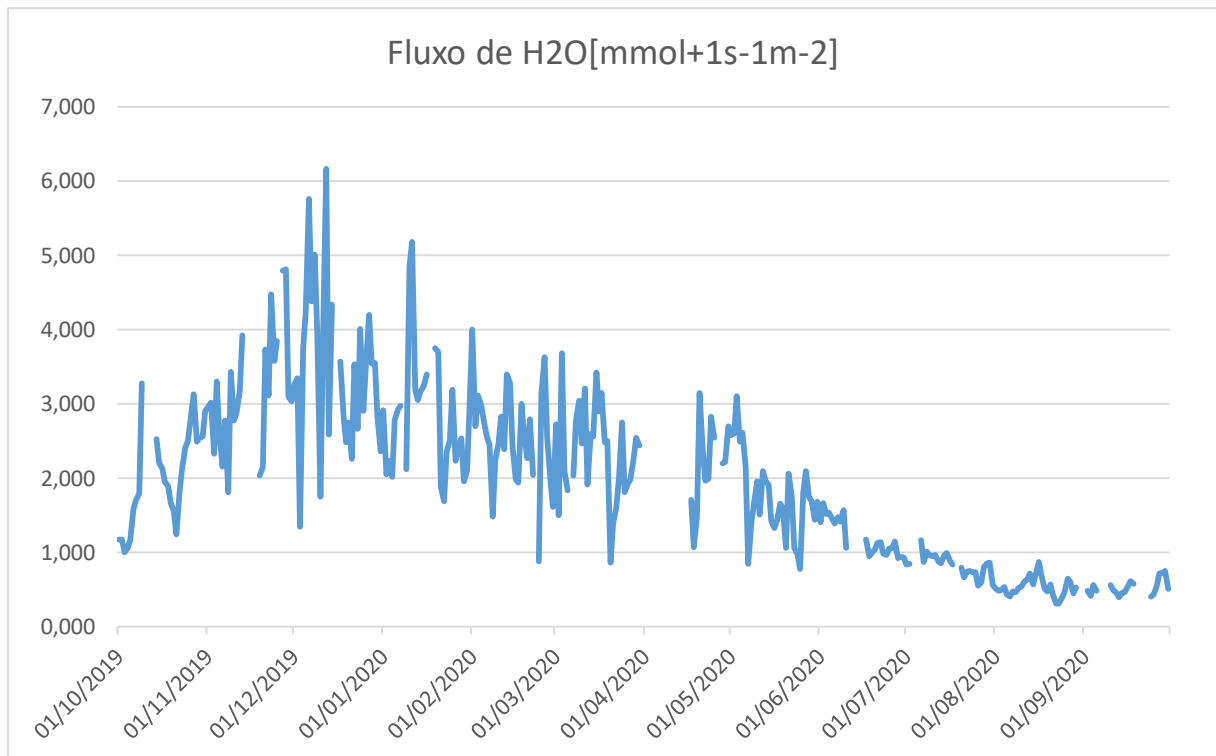


**FIGURA 15.** Fluxo de gás carbônico durante o período estudado na creche 5

O fluxo de  $\text{CO}_2$  apresenta um comportamento relacionado às condições ambientais do local, com fluxo mais instável na época da chuva, pela interação das plantas com o  $\text{CO}_2$  atmosférico, promovendo crescimento vegetativo e captando esse gás, e fluxo estável, com pouco aumento na época seca. Em outubro, existe um aumento do fluxo de  $\text{CO}_2$ , o que, assim como ocorreu com o metano, pode ter acontecido por causa da ação da água no solo, liberando gases que estavam nos poros do solo durante as primeiras chuvas.

O fluxo de vapor de água apresenta o comportamento esperado conforme o regime de chuvas e umidade relativa, a figura 16 permite observar claramente o resultado dos períodos de seca e de chuvas no ano, o que são os grandes influenciadores no fluxo do vapor de água.





**FIGURA 16.** Fluxo de vapor de água durante o período estudado na creche 5

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÕES

Os fluxos e a análise dos índices permitem o estudo mais aprofundado das condições da área. Também é possível observar como certas atividades podem influenciar os resultados obtidos de acordo com a atividade dos gases captados. Os índices meteorológicos complementam o estudo, mostrando a influência do clima e da região sobre os fluxos de gases.

A análise dos fluxos de gás carbônico e metano mostram a influência dos bovinos sobre a concentração de metano, e que o pasto apresenta fluxo de CO<sub>2</sub> negativo em sua maioria, confirmando a suposição de que essa atividade não é uma grande contribuinte para a liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera, desde que queimadas não sejam tão frequentes e mal manejadas e que os procedimentos de manejo adequado do solo e da água sejam respeitados.

Como esperado, os saldos de radiação e o regime de chuvas são fatores que influenciam diretamente todos os 3 fluxos estudados, além de influenciar também todos os outros índices estudados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Série Histórica das Exportações de Carne Bovina: ano 2020. Disponível em: <<http://abiec.com.br/exportacoes/>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A. Integração lavoura-pecuária. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2005.

AMBROSI, I. et al. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 10, out. de 2001. p. 1213-1219. Disponível em: <<https://www.scielo.br/ij/pab/a/RdcxmykdDGsnWhY9ryYrZ9M/?lang=pt>>. Acesso em 27 de outubro de 2021.

AUBINET M.; VESALA T.; PAPAIE D. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis. Springer, 2012.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, set. de 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/ij/cr/a/nbsHhcVgsQmz7SnHSqVKSYN/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em 30 de outubro de 2021.

BALDOCCHI, D. D.; HICKS B. B.; MEYERS T. P. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. **Ecological Society of America**, v. 69, n. 5, p. 1331-1340, out. de 1988.

BALDOCCHI, D.D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. **Global Change Biology**. 9 (4), p. 479–492.

BURBA, G. Eddy Covariance Method: for Scientific, Industrial, Agricultural and Regulatory Applications. Lincoln, Nebraska: LI-COR Biosciences, 2013.

CARDOSO, M. R. D. MARCUZZO F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 8, n. 16, jan./mar. de 2014. p. 40-55. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/index.php/actageo/article/view/1384>>. Acesso em 27 de outubro de 2021.

COSTA, N. R. et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Online, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>>. Acesso em 28 de outubro de 2021.

DA SILVA DIAS, M. A. F. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, n. 71, p. 44-51, 2006.

DABBERDT, W. F. et al., 1993. Atmosphere-surface exchange measurements. **Science**, 260 (5113), 1472–1481.

DUXBURY, J. M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 38, p. 151-163, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00748775>>. Acesso em 28 de outubro de 2021.

FOKEN, T. et al., 2012. Corrections and Data Quality Control. In: Aubinet M., Vesala T., Papale D. (eds) Eddy Covariance. Springer Atmospheric Sciences. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2351-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2351-1_4).

HU, E. et al. Methods and Techniques for Measuring Gas Emissions from Agricultural and Animal Feeding Operations. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 44, n. 3, p. 200-219, 2014.

JONES, S. K. et al. Nitrous oxide emissions from managed grassland: a comparison of eddy covariance and static chamber measurements. **Atmospheric Measurement Techniques Discussions**, v. 4, n. 10, p. 2179-2194, Oct. 2011. DOI: 10.5194/amt-4-2179-2011.

LI-COR Biosciences, 2009. LI-7500A Open-path CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Analyzer Instruction Manual. Publication No. 984-10563, 127 p.

LI-COR Biosciences, 2010. LI-7700 Open-path CH4 Analyzer Instruction Manual. Publication No. 984-10751, 170 p.

LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 3, n. 17, p. 38-43, 2000.

MAUDER, M.; FOKEN, T. Impact of post-field data processing on eddy covariance flux estimates and energy balance closure. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, n. 6, p. 597-609, 2006.

PEARCE, F. Methane: the hidden greenhouse gas. **New Scientist**, London, v. 6, n. 1663, p. 37-41, 1989.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 139-162, 2007. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/mc\\_agricultura\\_brasil.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/mc_agricultura_brasil.pdf). Acesso em: 10 nov. 2021.

RAO, S.C. et al. Potential grain and forage production of early maturing pigeonpea in the Southern Great Plains. **Crop Science**, Madison, v.43, n.6, p. 2212-2217, 2003.

ROCHA, Humberto et al. Ciclo do Carbono. *In*: ROCHA, Humberto et al. **As relações entre a vegetação e o meio físico no Cerrado pé-de-gigante**. São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2005. p. 189-196.

SILVA, et al. Informações meteorológicas para pesquisa e planejamento agrícola: 1999. **Documentos** / Embrapa Arroz e Feijão, 2000. ISSN 1516-7518; 109.

SILVEIRA, P. M., et al. Descrição Morfológica de Perfis de Solos da Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão. **Documentos 258**, Santo Antônio de Goiás, dez. de 2010. 52 p.

STEUDLER, P. A.; et al. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. **Nature**, London, v. 341, p. 314-316, 1989.

TRACY, B.F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop livestock system in Illinois. **Crop Science**, Madison, v.48, n.3, p.1211-1218, 2008.

VIEIRA, C. F. et al. Efeitos climáticos do metano na atmosfera. **Revista Tecnologia**, [S. l.], v. 29, n. 1, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/46>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

WATSON, R. T. et al. Greenhouse Gases: Sources and Sinks. **IPCC 1992 Supplementary Report**, Section A1, 1992.