



MARIANA CECÍLIA MELO

**THERMAL ENVIRONMENT CHARACTERIZATION IN A
COMPOST BEDDED PACK BARN WITH PHOTOVOLTAIC
PLATES AND AMMONIA VOLATILIZATION UNDER THE
APPLICATION OF REMINERALIZERS IN DIFFERENT
BEDDING MATERIALS**

**LAVRAS – MG
2023**

MARIANA CECÍLIA MELO

**THERMAL ENVIRONMENT CHARACTERIZATION IN A COMPOST BEDDED
PACK BARN WITH PHOTOVOLTAIC PLATES AND AMMONIA
VOLATILIZATION UNDER THE APPLICATION OF REMINERALIZERS IN
DIFFERENT BEDDING MATERIALS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Construções, Ambiente e Tratamento de Resíduos, para obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos
(Orientador)

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz
Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Prof. Dr. André Mundstock Oliveira Xavier
(Co-Orientadores)

**LAVRAS – MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Melo, Mariana Cecília.

Thermal environment characterization in a Compost Bedded Pack Barn with photovoltaic plates and ammonia volatilization under the application of remineralizers in different bedding materials / Mariana Cecília Melo. - 2023. 123 p. : il.

Orientador(a): Alessandro Torres Campos.

Coorientador(a): Gabriel Araújo e Silva Ferraz, Tadayuki Yanagi Junior, André Mundstock Oliveira Xavier.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023. Bibliografia.

1. Ambiente térmico em galpões Compost Barn. 2. Volatilização de amônia de camas de Compost Barn. 3. Geostatística. I. Campos, Alessandro Torres. II. Ferraz, Gabriel

MARIANA CECÍLIA MELO

**THERMAL ENVIRONMENT CHARACTERIZATION IN A COMPOST
BEDDED PACK BARN WITH PHOTOVOLTAIC PLATES AND AMMONIA
VOLATILIZATION UNDER THE APPLICATION OF REMINERALIZERS IN
DIFFERENT BEDDING MATERIALS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Construções, Ambiente e Tratamento de Resíduos, para obtenção do título de Doutor.

APROVADO em 27 de abril de 2023

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior - Universidade Federal de Lavras
Prof. Dra. Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz - Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. André Mundstock Oliveira Xavier – Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos
(Orientador)

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz
Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Prof. Dr. André Mundstock Oliveira Xavier
(Co-Orientadores)

**LAVRAS – MG
2023**

À minha família pelo apoio, amor e carinho em todas as etapas e por ser o meu maior exemplo de vida.

Aos meus filhos Mateus e Maria por serem minha razão de viver.

Aos meus amigos pelos momentos de força e descontração.

Dedico

AGRADECIMENTOS

“Todo carnaval tem seu fim!” E com essa frase exalto que mais um de vários ciclos se encerra neste momento! E quão gratificante é observar que a fé, esperança e persistência nos move em busca de nossos ideais. Como é bom perceber o quanto amadurecemos em meio aos desafios que surgem ao longo do caminho. E logicamente que ninguém os percorre a sós. Por isso, é momento de agradecer a todos que apoiaram e colaboraram nesta jornada.

Neste sentido, agradeço primeiramente a Deus, Nossa Senhora e a espiritualidade por fortalecerem meu espírito e por me guiarem através da fé.

Agradeço aos meus filhos Mateus e Maria pelo amor incondicional. Vocês são minha motivação de crescimento pessoal e profissional. São a alegria do meu viver! Meu alicerce e esperança!

Agradeço a meus pais, Roza e Gilberto, sobretudo a minha mãe que nunca mediu esforços independentemente dos meus ideais. Obrigada por sempre apoiar meus sonhos e pretensões, mesmo que por vezes não acreditasse! Obrigada por ter esse grande coração. Por ser sinônimo de amor e fé! Por me apresentar o amor puro, verdadeiro e incondicional! Não tenho palavras o bastante para descrever meu sentimento de gratidão e amor!

Agradeço aos meus irmãos, Fabiano e Jefferson (*in memoria*) por tudo que compartilhamos nessa vida! Fomos unidos pelo sangue e seremos inseparáveis pelo coração. Lembro-me de momentos insubstituíveis ao lado de vocês, desde as brincadeiras na rua, das brigas e implicâncias, da amizade. Como é nobre ter um irmão! Ao meu irmão Jefferson ressalto o quanto tenho orgulho de sua brilhante passagem aqui na Terra. Embora tenha sido breve, marcou nossos corações pela garra e determinação de sempre buscar a alcançar os objetivos. Digo-lhe que sempre estarás vivo em meu coração e sei o quanto torceu por mim! Saudades eternas!! Ao meu irmão e grande amigo Fabiano, também não tenho palavras para enaltecer minha gratidão pelo amor, carinho e apoio em todas as etapas de minha vida. Você é meu exemplo de dedicação e competência! Me orgulho muito de você e agradeço à Deus por existir em minha vida!

Agradeço ainda a minha grande família, avós, tios e tias, primos e primas. Em especial minha madrinha Odaísa, que sempre me incentivou ao estudo. Obrigado família Melo e família Feliz por encherem meu coração de esperança, força e amor!

Agradeço à UFLA, ao seu corpo docente, direção, administração e técnicos por proporcionarem a realização deste sonho, em especial aos professores Alessandro Torres Campos, Gabriel Ferraz, Tadayuki Yanagi Junior e André Mundstock Oliveira Xavier pela orientação, colaboração, incentivo, compreensão.

Agradeço à CAPES pela concessão da bolsa.

Agradeço ao CESG por permitir que eu estivesse mais próxima do que sempre quis! Ensinar, aperfeiçoar, transformar!! Agradeço ao Marcelo Sekita por acreditar no meu potencial como profissional acadêmica e aos meus alunos e orientados do curso de Agronomia, que são minha pílula diária de motivação!

Agradeço a UFV, sobretudo no *Campus* Paranaíba, pela oportunidade de fazer parte desta instituição, antes como aluna e no momento como docente no curso de Agronomia, mesmo que por breve passagem! Sou filha dessa grandeza, carregarei e repassarei com orgulho todos os ensinamentos adquiridos! Lecionar na mesma então é motivo de muito orgulho!

Agradeço ao Osanan e Cristiano por disponibilizarem a Fazenda Pedacinho do Céu para que essa pesquisa fosse concluída. Agradeço imensamente ao Lucas por me auxiliar em toda a montagem e condução do experimento. Só eu sei o quanto você foi importante e o quanto me deu forças para a concretização deste sonho!

Aos queridos e adoráveis amigos que Rio Paranaíba me presenteou. Camila, Carol, Marília, Maria Clara e Júlio, Lili, Pedro, Liloca, Dudu, Regiane, Roberta, Thaísa... admiro vocês! Obrigada pelos momentos de descontração, risadas, bebidas e histórias! Vocês foram imprescindíveis para que essa etapa fosse concluída!

Aos meus colegas e amigos do pedal, Regiane, Roberta, Wivi e Renatinha! Foram muitos quilômetros de desabafo! Muito obrigada pelos momentos de suor, leveza e ao mesmo tempo força!

Aos amigos e amigas de Araújo que mesmo longe estão sempre presentes nos pensamentos! Obrigada pela amizade de sempre!

Finalizo meus agradecimentos aqui retomando à duas frases de Cora Coralina que irão me nortear nos novos ciclos que irão se iniciar: “O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria se aprende com a vida e com os humildes.” E “feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”. Por isso agradeço de maneira geral a todos que direta ou indiretamente proporcionam e contribuem para construção de minha sabedoria!

EPIÍGRAFE

Nasceste no lar que precisavas, vestiste o corpo físico que merecias, moras onde melhor Deus te proporcionou, de acordo com teu adiantamento. Possuis os recursos financeiros coerentes com as tuas necessidades, nem mais, nem menos, mas o justo para as tuas lutas terrenas.

Teu ambiente de trabalho é o que elegeste espontaneamente para a tua realização. Teus parentes, amigos são as almas que atraístes, com tua própria afinidade. Portanto, teu destino está constantemente sob teu controle

Tu escolhes, recolhes, eleges, atraís, buscas, expulsas, modificas tudo aquilo que te rodeia a existência. Teus pensamentos e vontades são a chave de teus atos e atitudes... São as fontes de atração e repulsão na tua jornada vivência.

Não reclames nem te faças de vítima. Antes de tudo, analisa e observa. A mudança está em tuas mãos. Reprograme tua meta, busque o bem e viverás melhor.

"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim"

Francisco Cândido Xavier

RESUMO

O avanço da pecuária leiteira intensiva está sujeito à busca de novas técnicas e estratégias que visam melhor produtividade, eficiência e sustentabilidade deste setor por meio da identificação e correção de lacunas e gargalos, sobretudo em relação à ambiência animal. Este trabalho teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial do ambiente térmico do interior de um galpão Compost Barn (CB) que em uma das águas do telhado possui, em toda sua extensão, a disposição de placas fotovoltaicas. Além disso, objetivou-se, também, verificar se a adição de remineralizadores em camas de compostagem são capazes de minimizar a volatilização de amônia (NH_3) do composto e, ser ainda, fonte potencial de nutrientes como o potássio. A caracterização do ambiente térmico foi realizada em um galpão CB localizado no município de Rio Paranaíba, Minas Gerais, nas estações primavera, verão, outono e inverno de 2021. Foram determinados nas alturas de 1,0, 2,0, 3,0 e 4,0 metros os índices de temperatura do globo e umidade (ITGU), coletando-se 60 pontos uniformemente distribuídos longitudinalmente sobre a área do galpão. Também foram determinados a carga térmica radiante (CTR) nas alturas de 1,0, 2,0, 3,0 e 4,0 metros na seção transversal do galpão em três diferentes posições internas ao galpão. Os dados de ITGU e CTR foram submetidos à análise geoestatística para verificação da variabilidade espacial dos dados por meio de semivariogramas e mapas de krigagem. A modelagem mostrou-se eficiente para representar o microclima do galpão. Os mapas do ITGU e CTR estimados por krigagem ordinária permitiram visualizar pontos específicos de desconforto térmico no interior da instalação. Não se observou alterações do ambiente térmico no interior do galpão são decorrentes da disposição das placas fotovoltaicas sobre o telhado, notadamente no nível das vacas. A pesquisa da adição de remineralizadores em camas de compostagem foi realizado em laboratório em delineamento inteiramente casualizado com 10 tratamentos estruturados num esquema fatorial ($2 \times 4 + 2$), sendo dois tipos de material orgânico utilizados como cama (casca de café e maravalha fina de pinus), quatro remineralizadores (verdete, fonolito, gesso e controle) e dois tratamentos adicionais com inoculantes microbianos de vegetação nativa, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Foram avaliados o rendimento do processo de compostagem, umidade dos compostos, relação C/N, volatilização de NH_3 e os teores de nitrogênio (N), carbono orgânico, potássio total (K_{total}) e potássio disponível (K_{disp}). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelos testes de SNK e Holm-Bonferroni a 5 % de probabilidade de erro α . Foi evidenciada elevada capacidade de conservação de N após a adição do gesso, fonolito e glauconito no material a ser compostado, sobretudo o gesso, que, em relação aos compostos controles, foi capaz de manter teor de N de 1,5 e 1,7 vezes maior na casca de café e maravalha, respectivamente. Além disso, pôde-se observar aumento dos teores de K_{total} e K_{disp} em ambos os substratos adicionados de glauconito e fonolito (exceto na maravalha) e maior decomposição e disponibilidade de K_{total} na casca de café na presença de inoculantes microbianos.

Palavras-chave: Estresse térmico. Modelagem geoestatística. Compostagem. Pós de rocha de silicatos.

ABSTRACT

The advancement of intensive dairy farming is subject to the search for new techniques and strategies that aim to improve the productivity, efficiency and sustainability of this sector by identifying and correcting gaps and bottlenecks, especially in relation to animal ambience. This work aimed to characterize the spatial variability of the thermal environment inside a Compost Barn (CB) shed, which in one of the roof waters has, throughout its extension, the arrangement of photovoltaic panels. In addition, the objective was also to verify if the addition of remineralizers in compost beds are able to minimize the volatilization of ammonia (NH_3) from the compost and, still, be a potential source of nutrients such as potassium. The characterization of the thermal environment was carried out in a CB shed located in the municipality of Rio Paranaíba, Minas Gerais, in the spring, summer, autumn and winter seasons of 2021. They were determined at heights of 1,0, 2,0, 3,0 and 4,0 meters the global temperature and humidity indexes (BGHI) were collected from 60 points uniformly distributed longitudinally over the shed area. Radiant thermal load (RTL) was also determined at heights of 1,0, 2,0, 3,0 and 4,0 meters in the cross section of the shed in three different internal positions. The BGHI and RTL data were submitted to geostatistical analysis to verify the spatial variability of the data through semivariograms and kriging maps. The modeling proved to be efficient to represent the microclimate of the shed. The BGHI and RTL maps estimated by ordinary kriging allowed the visualization of specific points of thermal discomfort inside the installation. It could not be noticed any changes in the thermal environment inside the shed due to the arrangement of photovoltaic panels on the roof, notably at the level of the cows. Research on the addition of remineralizers to compost beds was carried out in the laboratory in a completely randomized design with 10 treatments structured in a factorial scheme ($2 \times 4 + 2$), with two types of organic material used as bedding (coffee husks and fine wood shavings). pinus), four remineralizers (glaucosite, phonolite, gypsum and control) and two additional treatments with microbial inoculants from native vegetation, with four replications, totaling 40 experimental units. The composting process yield, compost moisture, C/N ratio, NH_3 volatilization and nitrogen (N), organic carbon, total potassium (K_{total}) and available potassium (K_{disp}) contents were evaluated. Data were subjected to analysis of variance and means were compared by SNK and Holm-Bonferroni tests at 5% probability of error α . A high N conservation capacity was evidenced after the addition of gypsum, phonolite and glaucosite in the material to be composted, especially gypsum, which, in relation to the control compounds, was able to maintain N content of 1,5 and 1,7 times higher in coffee husks and wood shavings, respectively. Furthermore, it was possible to observe an increase in K_{total} and K_{disp} contents in both substrates added with glaucosite and phonolite (except shavings) and greater decomposition and availability of K_{total} in coffee husks in the presence of microbial inoculants.

Keywords: Thermal stress. Geostatistical modeling. Composting. Silicate rock powders.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Bovinocultura leiteira no Brasil e no mundo	14
2.2 Sistemas de produção na pecuária leiteira	16
2.2.1 Sistemas de produção intensivo	17
2.2.2 Sistemas Compost Barn (CB)	18
2.2.2.1 Descrição do sistema	18
2.2.2.2 Cama: Processo de compostagem	21
2.2.2.3 Materiais de cama e fatores que influenciam o processo de compostagem	23
2.2.2.4 Ciclo do nitrogênio na compostagem/semicompostagem de camas, volatilização de amônia, impactos e possíveis mitigações	29
2.2.2.5 Adição de substâncias à massa de compostagem	32
2.3 Variáveis térmicas e sua influência no ambiente térmico e ambiência dos animais	36
2.4 Utilização de placas solares fotovoltaicas em propriedades rurais.	41
2.5 Geoestatística aplicada à avaliação do ambiente de produção	44
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	48
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	66
ARTICLE 1 – VOLATILIZATION OF NH₃ UNDER APPLICATION OF REMINERALIZERS IN DIFFERENT BEDDING SUBSTRATES	67
1. INTRODUCTION	69
2. MATERIALS AND METHODS	71
3. RESULTS AND DISCUSSION	73
4. CONCLUSION	84
REFERENCES	84
ARTICLE 2 - SPATIAL VARIABILITY CHARACTERIZATION OF THE THERMAL ENVIRONMENT IN A COMPOST BARN SHED PARTIALLY COVERED WITH PHOTOVOLTAIC PLATES	93
1. INTRODUCTION	95
2. MATERIALS AND METHODS	97
3. RESULTS AND DISCUSSION	103
4. CONCLUSION	116
REFERENCES	117

PRIMEIRA PARTE

1.INTRODUÇÃO

A pecuária, atividade que envolve a criação de animais, é sem dúvidas, um segmento muito importante para o desenvolvimento econômico de alguns países, incluindo o Brasil. Entretanto, como outros ramos, enfrenta diversos desafios para alcançar padrões elevados de produtividade, lucratividade e sustentabilidade. Dentre os diversos fatores envolvidos, pode-se destacar a importância do ambiente de criação, o qual abrange a escolha do modelo de instalação de confinamento, os equipamentos que serão utilizados para controle do ambiente térmico e técnicas de manejo dos resíduos gerados no sistema produtivo.

O ambiente de criação influencia diretamente nas condições de conforto e bem-estar dos animais, sobretudo em relação ao estresse térmico e a qualidade do ar no interior de uma instalação. Nesse sentido, a escolha do ambiente de produção de vacas leiteiras é uma decisão fundamental para os produtores de leite (BEWLEY et al., 2017), sobretudo devido a ao fato de que a produtividade e a lucratividade dos mesmos dependerem estritamente disso (VILLETIAZ et al., 2019). Dessa forma, na elaboração de projetos de sistemas de confinamento, como no Compost Barn (CB), é relevante observar o número de animais alojados, tipo de edificação, *layout*, orientação, materiais de construção, com destaque para o material de cobertura, o qual será o responsável pela recepção e transmitância de grande parte da radiação térmica incidente, material e manejo da cama e os equipamentos ou técnicas que serão utilizadas para melhorias da qualidade do ar e trocas de calor (BAËTA; SOUZA, 2010; BEWLEY et al., 2013; BLACK et al., 2013; DAMASCENO et al., 2020).

Entretanto, a adesão aos sistemas produtivos em confinamento, em geral, acarreta em uma maior demanda de energia elétrica e consequente aumento do custo de produção, sobretudo devido às necessidades que devem ser atendidas quanto ao conforto térmico animal. Desta forma, uma alternativa para lidar com essas adversidades baseia-se no emprego de placas fotovoltaicas nas propriedades. Isto permitiria ao produtor manter seu alto gasto energético economizando no valor pago mensalmente às redes distribuidoras de energia através de uma compensação energética entre sistema fotovoltaico e rede elétrica (ANNEL, 2012). Em geral, as placas fotovoltaicas são instaladas sobre telhados para aproveitamento do espaço exigido pela instalação. Em outros casos também têm sido utilizadas em estacionamentos e calçadas para fornecimento de sombra e consequente melhoria do ambiente térmico local, como relatado por Hatvani-Kovacs et al. (2018), que abordam que sua utilização melhora o conforto térmico bem como a resiliência ao calor.

Nos últimos anos, observa-se uma grande adesão de produtores rurais brasileiros aos sistemas Compost Barn. Este fato deve-se, provavelmente, à propagação de respostas positivas reportadas por produtores e pesquisadores de diferentes regiões do mundo, como Estados Unidos, Canadá, Itália, Holanda, entre outros, os quais relatam que esse sistema propiciou aumentos na produtividade, melhorias na qualidade do leite, maior conforto e redução de problemas sanitários. Entretanto, segundo Damasceno et al. (2020), o conhecimento científico sobre esse sistema para condições brasileiras ainda é escasso. Os autores destacam a necessidade de pesquisas, principalmente quanto aos processos de compostagem, como diferentes materiais de cama, processos biológicos envolvidos e perdas de nutrientes no ciclo de vida da compostagem, incluindo o efeito da adição de nutrientes provenientes da mesma.

Nesse sentido, a adição de produtos ou condicionantes em camas de compostagem pode ser uma alternativa para a manutenção e enriquecimento de alguns nutrientes, como o nitrogênio (N) e liberação de outros como o potássio (K). Estes condicionantes podem ser de diferentes origens, como a base de produtos biológicos ou rochas moídas, reconhecidamente no Brasil como remineralizadores.

A utilização de pós de rocha na agricultura e pecuária tem sido objeto de estudos com potencial de melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológica do solo. Entretanto, em camas de sistemas CB, estes estudos ainda são incipientes e de grande importância, dado que poderão contribuir para avanços na qualidade química com consequente aumento da rentabilidade do composto.

Desse modo, estudos como estes, capazes de caracterizar o ambiente térmico de galpões que possuem placas fotovoltaicas dispostas sobre telhados e de cunho exploratório quanto à adição de condicionantes na manutenção de nutrientes como N nas camas de sistemas CB, poderão propiciar informações relevantes para o desenvolvimento de tecnologias e manejos que auxiliem no gerenciamento e tomadas de decisão desses sistemas produtivos.

Dado o exposto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial do ambiente térmico do interior de um galpão Compost Barn que possui, em uma das águas do telhado, em toda sua extensão, a disposição de placas fotovoltaicas e verificar se a incorporação de remineralizadores nas camas de compostagem são capazes de minimizar a volatilização de amônia do composto e atuar como fonte potencial de nutrientes como o potássio.

2.REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial teórico primeiramente será abordado um panorama da bovinocultura leiteira no Brasil e no mundo, discutindo-se a importância do setor para a economia, seguido das principais regiões produtoras brasileiras e os sistemas de criação, destacando-se o sistema intensivo Compost Barn (CB). Grande ênfase é dada a este sistema, ressaltando-se, portanto suas características construtivas e operacionais, bem como sua funcionalidade. Destaca-se ainda as principais características que o tornam uma opção atraente para a pecuária leiteira. Além disso, são discutidos os potenciais benefícios em termos de conforto animal, redução de doenças e melhoria na qualidade do leite.

Neste referencial é apresentado também as etapas do processo de compostagem que ocorrem na cama deste sistema de criação, enfatizando-se a importância do monitoramento dos principais fatores que afetam a qualidade da mesma, como relação C/N, umidade, aeração, temperatura, pH, tamanho das partículas, bem como o desequilíbrio destes que incorre em potencial volatilização de amônia (NH_3). Aprofundando-se portanto, sobre o ciclo do nitrogênio e possíveis estratégias para mitigar a volatilização de NH_3 e tornar este sistema ainda mais sustentável.

No presente referencial também são apresentadas as principais variáveis térmicas e alguns índices utilizados para avaliar o conforto térmico destes animais, discutindo-se, portanto como estas atuam sobre o desempenho dos mesmos, bem como possíveis estratégias para controlar o ambiente térmico, enfatizando-se, por exemplo, sobre a opção de utilização de placas solares fotovoltaicas em propriedades rurais.

O referencial teórico dedica-se também a apresentar a geoestatística como uma ferramenta aplicada na avaliação do ambiente térmico na pecuária leiteira, por meio de análises e mapeamento de variáveis relacionadas, possibilitando uma melhor compreensão dos padrões espaciais e tomada de decisões mais assertivas.

2.1 Bovinocultura leiteira no Brasil e no mundo

De acordo com o Departamento de Agricultura Norte-Americano (USDA, 2021), a produção mundial de leite em 2020 correspondeu a 544,072 milhões de toneladas, no qual lidera o ranking a União Europeia seguida por EUA e Índia, com produções de 145,70, 102,604 e 96,00 milhões de toneladas de leite, respectivamente. Juntos estes três principais produtores participam de 63,28% de toda a produção mundial.

Já no Brasil, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), no ano de 2020, o setor leiteiro atingiu a maior produção na série histórica, 35,4 bilhões de litros de leite, avanço de 1,5% ante os 34,84 bilhões de litros produzidos em 2019, no qual a produção havia crescido 2,98%.

De acordo com dados do IBGE (2021), no ano de 2019, o país contava com a participação majoritária de cinco estados brasileiros, os quais representaram 70% da produção total nacional, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1- Os cinco maiores estados brasileiros produtores de leite no ano de 2019 de acordo com o IBGE (2021).

	Produção (Mil litros)	Participação - Prod. Brasil (%)
Minas Gerais	9.447.549	27,11
Paraná	4.339.194	12,45
Rio Grande do Sul	4.270.799	12,26
Goiás	3.180.505	9,13
Santa Catarina	3.040.186	8,72

Fonte: IBGE (2021).

Pode-se observar na Tabela 1 que os três maiores estados produtores de leite no ano de 2019 geraram mais de 51% de toda a produção nacional, embora a presente pesquisa (IBGE, 2021) aponte que exista produção de leite em quase todo o território brasileiro.

Em contraste com outros segmentos, como o competitivo mercado de grãos, a bovinocultura de leite possui grande diversificação de produção, a qual ocorre tanto em pequena quanto em grande escala. Contudo, apesar da atividade ocorrer em todo o país (IBGE, 2021), existem regiões onde ela é mais concentrada e tecnicizada do que em outras, caracterizando grande heterogeneidade da produção (LOPES JUNIOR et al., 2012). O IBGE (2021) apontou as cinco mesorregiões que mais produziram no ano de 2019, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2- As cinco maiores mesorregiões brasileiras produtoras de leite no ano de 2019 de acordo com o IBGE (2021).

Mesorregião (estado)	Produção (Mil litros)	Participação Prod. Brasil (%)
Noroeste Rio-Grandense (RS)	2.868.752	8,23
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG)	2.387.435	6,85

Oeste Catarinense (SC)	2.351.847	6,75
Sul/Sudoeste de Minas (MG)	1.505.210	4,32
Sul Goiano (GO)	1.432.743	4,11

Fonte: IBGE (2021).

Observa-se na Tabela 2 que as cinco principais mesorregiões produtoras de leite somaram 10,54 bilhões de litros de leite em 2019, correspondendo a pouco mais de 30% da produção brasileira, apontando a importância dessas regiões e respectivos Estados na produção de leite.

De acordo com a Organização das nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2019), o Brasil possuía o segundo maior rebanho de vacas ordenhadas do mundo, atrás apenas da Índia (FAO, 2019). Entretanto, embora o país esteja bem ranqueado mundialmente quanto a produção de leite e de rebanho de vacas ordenhadas, observa-se um diferente cenário quanto a produtividade. O Brasil em relação aos Estados Unidos e Israel, os dois primeiros colocados em 2019, obteve uma produtividade cinco vezes inferior em relação a esses países, os quais ultrapassaram 10 mil litros/vaca no ano.

Porém, a produtividade animal brasileira tem evoluído nos últimos anos. Dados do IBGE (2021), mostram que o ano de 2020 foi marcado pelo ganho de produtividade do rebanho leiteiro ao incrementar produção nacional com decréscimo do número de animais. Segundo a pesquisa, neste ano a produtividade obtida foi de 2.192 litros de leite vaca⁻¹ ano⁻¹, acréscimo de 2,4% em relação ao ano de 2019. A explicação deste aumento deve-se a crescente preocupação com o melhoramento genético do gado leiteiro nacional, associada a um manejo adequado do rebanho.

Como pode-se observar, por meio dos indicadores produtivos da bovinocultura de leite, a evolução deste segmento nacional somente alcançará maiores patamares, em termos de produtividade, a partir do momento em que houver incentivos e investimentos em assistência técnica especializada, com informações envolvendo a genética dos animais, os sistemas de criação e manejo, instalações e equipamentos, aliada a políticas de apoio para fortalecimento desta cadeia produtiva.

2.2 Sistemas de produção na pecuária leiteira

Existem diversos tipos de sistemas de produção de leite no Brasil, podendo-se destacar o sistema extensivo, o semi-intensivo e o intensivo.

No sistema de criação extensivo a pastagem consagra-se tradicionalmente como a base alimentar da produção de leite Brasil (SILVA et al., 2010). Nestes sistemas, os animais muitas vezes são mestiços, não tendo nenhum tipo de suplemento alimentar, o que acarreta em baixas produtividades (OLIVEIRA et al., 2008). Essas baixas produtividades podem estar relacionadas a muitos fatores, podendo-se destacar dois deles: a falta de forragem que ocorre de forma periódica, principalmente nas épocas de estiagem, e a degradação do solo. Estima-se que, no bioma Cerrado, mais da metade das pastagens cultivadas estejam degradadas (VICTORIA et al., 2020), resultado do manejo inadequado, com o uso de altas taxas de lotação e da baixa reposição de nutrientes no solo.

No sistema semi-intensivo os animais passam a ser suplementados com concentrados e minerais em alguns períodos do ano ou mesmo ao longo do ano. O emprego de métodos modernos de reprodução, como treinamento e capacitação dos funcionários é realizado conforme a necessidade do trabalho, além disso, o controle de enfermidades segue um padrão rigoroso.

Já no sistema intensivo os animais são alimentados nos cochos cujos alimentos são bem conservados, como silagem de milho e feno de alfafa, ou gramínea de alta qualidade e concentrado. Nestes sistemas o investimento do produtor é alto, portanto, na maioria das vezes, os rebanhos são formados por animais puros e raças taurinas ou que apresentem alto grau de sangue holandês (ASSIS et al., 2005).

2.2.1 Sistemas de produção intensivo

De acordo com Silva (2000), o desenvolvimento de materiais e de modelos de instalações adequados à exploração de animais faz parte da permanente busca por sistemas de produção que maximizem a produtividade e, por consequência, a rentabilidade da atividade. Na pecuária, tanto animais destinados à produção de leite, quanto de carne podem ser criados em sistemas de produção intensiva por meio do confinamento.

O Free-Stall e o Compost Barn são sistemas de produção intensiva mais utilizados na pecuária leiteira, sendo os animais alojados em instalações apropriadas, cada qual com suas características.

O Free-Stall, cujo nome significa estabulação livre, originou-se pelo fato de as vacas ficarem soltas dentro de uma área cercada, sendo dividida em uma parte para alimentação e exercícios e a outra em baias individuais, forrada com cama, destinada para descanso das vacas. Ao deitar-se, o animal permanece com o úbere e as pernas dentro da baia, porém os dejetos são

excretados em um corredor de limpeza, sendo o piso deste de concreto com frisos longitudinais e declividade entre 1,0% a 1,5%, para prevenir que os animais escorreguem e para favorecer o escoamento da água, dejetos e compostos orgânicos (CAMPOS; KLOSOWSKI; CAMPOS, 2006).

Já o Compost Barn é um sistema de confinamento que visa primeiramente melhorar o conforto e bem-estar dos animais e, conseqüentemente, melhorar os índices de produtividade do rebanho. Esse sistema é composto por uma grande área de cama comum, local de descanso dos animais, sendo esta formada por materiais orgânicos passíveis de decomposição, como serragem, maravalha, palhadas de restos culturais, casca de café, entre outros. Esta área é separada do corredor de alimentação ou cocho por um beiral de concreto. Neste sistema ocorre a compostagem do material da cama com a matéria orgânica dos dejetos dos animais (BARBERG et al., 2007a; BLACK et al., 2014; JANNI et al., 2007).

A produção animal em confinamento geralmente constitui de sistema cujo custo operacional e econômico inicial das instalações são altos. Nesse sentido, muitos trabalhos já foram e ainda devem ser realizados para que os animais tenham condições favoráveis para expressar seu máximo potencial produtivo, principalmente no que tange ao conforto térmico proporcionado pelas instalações.

2.2.2 Sistemas Compost Barn (CB)

O sistema Compost Barn (CB) é uma alternativa de confinamento de significativa adesão no Brasil nos últimos anos, provavelmente pelo fato de se destacar entre os demais sistemas, como demonstrado por Barberg et al. (2007a, 2007b); Black et al. (2013); Eckelkamp et al. (2014); Janni et al. (2006) e Shane et al. (2010), principalmente pelo fato de proporcionar maior conforto aos animais.

O CB surgiu no final dos anos 1980 no Estado de Virginia, nos Estados Unidos, através de adaptações do sistema de *Loose Housing* (WAGNER, 2002). Desde então, como descreve Damasceno (2012), várias instalações do tipo CB vêm sendo usadas em muitos Estados nos Estados Unidos e em outros países, como Japão, China, Alemanha, Itália, Holanda, Israel.

2.2.2.1 Descrição do sistema

De acordo com Barberg et al. (2007a), o sistema CB é composto basicamente por uma grande área de cama comum (LESO et al., 2013), sob uma cama de diferentes materiais, como

por exemplo, maravalha, serragem, casca de café ou palhadas em geral, o que propicia um comportamento mais natural das vacas, socialização, repouso e exercícios, tornando esse sistema de criação promissor aos olhos dos produtores de leite (BARBERG, 2007a; GALAMA et al., 2011). Esta área é, geralmente, separada do corredor de alimentação ou cocho por uma parede de concreto de 1,20 m (BLACK et al., 2014), para evitar acúmulo de umidade (SHANE et al., 2010). O sistema se diferencia dos demais devido à compostagem que ocorre ao longo do tempo do material da cama e o material orgânico dos dejetos dos animais, os quais são revolvidos pelo menos duas vezes ao dia, para incorporar o esterco e a urina, manter a superfície seca, descompactar e arejar a cama (JANNI et al., 2007).

Barbosa, Silva e Melo (2022), realizaram um levantamento na microrregião do Alto Paranaíba, Minas Gerais, catalogando-se 124 instalações CB. Em 23 destas, foi aplicado um questionário quantitativo/qualitativo, no qual pode-se destacar que 100% dos produtores se mostraram satisfeitos com seus investimentos. Assim como em um estudo realizado por Damasceno (2012), nos Estados Unidos, que analisou 42 produtores rurais, dos quais 100% deles afirmaram estar satisfeitos por terem investido em galpões CB, sobretudo em função do maior conforto animal e do aumento na limpeza do rebanho. A Tabela 3 apresenta as características quantitativas/qualitativas relacionadas a aspectos estruturais e percepção dos proprietários entrevistados por Barbosa, Silva e Melo (2022) em relação ao rebanho criado em galpões CB na microrregião do Alto Paranaíba - MG.

Tabela 3- Características quantitativas relacionadas a aspectos estruturais (Média \pm Desvio Padrão) e qualitativas em relação a percepção (Frequência %) de 23 produtores de leite da microrregião do Alto Paranaíba - MG que utilizam os sistemas de Compost Barn.

Parâmetros	Média \pm DP*	
Tempo uso do sistema CB (meses)	49,17 \pm 23,71	
Comprimento Galpão (m)	78,75 \pm 27,58	
Largura do galpão (m)	36,75 \pm 9,55	
Altura do pé direito (m)	4,58 \pm 1,44	
Altura da cumeeira (m)	10,83 \pm 1,40	
Área de cama dos galpões (m ²)	2039,42 \pm 852,61	
Área de cama por animal (m ² animal ⁻¹)	10,56 \pm 1,26	
Quantidade cama nas reposições (m ³)	329,17 \pm 329,17	
Produção média diária de leite (kg animal ⁻¹ dia ⁻¹)	32,56 \pm 3,34	
Tamanho do rebanho (unidade)	Vacas em lactação	164,25 \pm 56,58
	Vacas Secas	32,38 \pm 14,85

	Fêmeas Cria e Recria	189,46 ± 98,93	
Ventilação mecânica no galpão	Não	0%	
	Sim	100%	
Posição dos ventiladores	Teto	29,17%	
	Túnel de Vento	70,83%	
Sistema de aspersão na linha do comedouro	Não	58,33%	
	Sim	41,67%	
Percepção dos produtores entrevistados	Aumentou	Diminuiu	Indiferente
Presença de mastite após uso do CB		100%	
Limpeza dos animais após uso CB	100%		
Claudicação dos animais, após uso CB		95,83%	4,17%
Presença de jarrete após uso CB		100%	
Aparecimento do cio após uso CB	100%		

Fonte: Barbosa, Silva e Melo (2022) adaptado.

Pode-se verificar, pelos resultados encontrados por Barbosa, Silva e Melo (2022), que a adesão aos usos dos galpões CB na região é relativamente recente, os quais foram construídos em média nos últimos 4 anos. Além disso, pode-se destacar que as densidades animais nestes galpões são superiores aos reportados nos EUA, que correspondem a 15 m² por animal para vacas em lactação e 12 m² para vacas secas (JANNI et al., 2007). Já a densidade animal média do Estado de Minas Gerais, segundo Oliveira et al. (2019) equivalente a 10,2 m² vaca⁻¹, densidades próximas ao dos entrevistados por Barbosa, Silva e Melo (2022).

Entretanto, a produção média diária de leite gira em torno de 32,56 kg animal⁻¹dia⁻¹, média próxima aos 100 maiores produtores de leite do Brasil em 2020, que corresponde a 35,13 kg animal⁻¹dia⁻¹, segundo o Anuário do Leite de 2021 (EMBRAPA, 2021). Outro dado interessante reportado pelos entrevistados está relacionado à preocupação em relação ao sistema de climatização dos animais alojados. Embora todos os galpões dos entrevistados sejam abertos nas laterais, pode-se observar certa preocupação em relação ao ambiente térmico dos mesmos, ao se evidenciar que em todas as instalações visitadas havia a presença de ventilação, seja ela em sistema de túnel de vento (70,83%) ou através de ventiladores de teto (29,17%). Além disso, grande parte dos produtores se preocupam de certa forma com as trocas de calor dos animais ao se aderirem aos sistemas de aspersão na linha do comedouro (41,67%).

Pode-se observar ainda, que a percepção dos proprietários em relação ao sistema CB é muito positiva, pois além de se mostrarem 100% satisfeitos, os mesmos responderam que houve diminuição de mastite (100%), maior limpeza dos animais (100%), menor claudicação dos

animais (95,83%), menor incidência de jarrete (100%) e maior aparecimento de cio (100%), o que indica uma boa adaptação dos animais em relação ao sistema utilizado.

Outro dado reportado pelos entrevistados refere-se ao valor médio pago pela área de cama, que corresponde a R\$ 61,04 por m³, sendo que em 58,33% das vezes o material utilizado é a maravalha, 33,33% das vezes a casca de café + maravalha e 8,33% das vezes a casca de café. Vale ressaltar que na região entrevistada existe uma grande disponibilidade de subprodutos do café, já que nesta existem 193.473 hectares plantados de café, o que representa uma participação de 18,94% na produção mineira desta cultura (CONAB; SEAPA MG, 2019).

Outros pesquisadores como Barberg et al. (2007a, 2007b), Janni et al. (2007) e Klaas et al. (2010), abordaram sobre outros benefícios do CB, como a redução de investimento em capital, comparado ao sistema do tipo Free-Stall, melhor saúde do úbere e higiene, simplicidade de tarefas diárias, aumento da longevidade da vaca, aumento da produção de leite e melhoria da qualidade do ar e odor (BLACK et al., 2013).

Por outro lado, esse sistema de criação também possui suas desvantagens ou preocupações, como os altos níveis de poeira durante os primeiros dias após a adição de nova cama, o que pode predispor as vacas à irritação nos olhos ou pneumonia (BARBERG et al., 2007a).

Bewley (2013) salienta que o sucesso do CB depende do desenvolvimento e implementação de uma estrutura bem projetada, contendo lanternins, muros de proteção, laterais abertas, ventilação reforçada, cama frequentemente seca e revolvida e densidade adequada dos animais. Embora apresente inúmeras vantagens apontadas por produtores e pesquisadores, segundo Damasceno (2012), pesquisas ainda devem ser desenvolvidas para responder vários questionamentos de manejo e pontos críticos, por principalmente se tratar de um novo sistema.

2.2.2.2 Cama: Processo de compostagem

O processo de compostagem em si, refere-se à estabilização biológica da matéria orgânica do material em que, segundo Oliveira et al. (2008), ocorre um processo de oxidação biológica através de microrganismos que decompõem os compostos constituintes dos materiais, os quais liberam dióxido de carbono (CO₂) e vapor d'água (H₂O), e que ocorre em sua quase totalidade na presença de oxigênio (O₂) (COSTA, 2016). Este produto, após transformação, pode ser utilizado como insumo agrícola, de odor agradável, fácil de manipular e livre de microrganismos patogênicos (COTTA et al., 2015).

Tudo se inicia através da montagem de pilhas ou leiras em que são intercalados resíduos fontes de carbono (C) como restos vegetais, folhas secas, cascas de grãos e/ou restos de culturas, etc. com materiais fontes de nitrogênio (N), como por exemplo esterco de animais. Após essa montagem o material é umedecido e aerado manualmente ou mecanicamente a cada cinco dias nos 15 primeiros dias para intensificação do processo, passando a ser revolvido a cada 10 dias após esse período (OLIVEIRA et al., 2008).

De acordo com Oliveira et al. (2008), o processo é dividido em quatro fases, sendo eles a psicrófila, mesofílica, termofílica e maturação. Na fase psicrófila, segundo Pereira Neto (1996), ocorre a oxidação dos compostos solúveis de fácil degradação, que proporcionam aumento gradual da temperatura no interior das leiras, devido à liberação de calor. Em seguida inicia-se a fase mesófila, em que a atividade contínua de degradação do material orgânico promove a redução do pH e contínuo aumento de temperatura, promovendo então o desenvolvimento de microrganismos termofílicos por exceder o limite de tolerância dos microrganismos mesofílicos (HASSEN et al., 2001). Na fase termofílica, fungos e actinomicetos degradam os resíduos mais complexos, ocorrendo ainda a eliminação de microrganismos patogênicos (OLIVEIRA, 2003). Após essa fase inicia-se o processo de maturação do material, caracterizada pelo decréscimo da taxa de decomposição e da temperatura. Neste momento, o material segue colonizado por microrganismos mesofílicos. Além disso, nessa fase a maioria das moléculas menos complexas já foram degradadas e se pode observar odor agradável devido o processo de humificação (OLIVEIRA et al., 2008).

Entretanto, nos galpões CB, este processo ocorre um pouco diferente, sendo definido por Black et al. (2014) como um processo de semicompostagem, pois a fase termofílica típica do processo de compostagem não ocorre, o que acarreta na falta de sanitização do material durante os processos microbianos, ao não ser observada a fase de maturação do composto. De acordo com Goyal et al. (2005) a estabilização completa do material orgânico da cama não é considerada viável, uma vez que consumiria lentamente toda a matéria orgânica degradável, dificultando o manejo da cama e aumentando os riscos à saúde dos animais (GAJALAKSHMI; ABBASI, 2008).

Por outro lado, este fato representa uma desvantagem potencial que precisa ser investigada, uma vez que a população microbiana é muito mais diversificada e não tão eficiente na degradação de material da cama do CB quando as temperaturas estão entre 35 e 40°C (STENTIFORD, 1996). Damasceno et al. (2020), abordam ainda que a sucessão microbiológica e o envolvimento dessas comunidades e suas atividades durante as diferentes fases do processo de semicompostagem são pouco conhecidos e necessitam de mais estudos.

2.2.2.3 Materiais de cama e fatores que influenciam o processo de compostagem

No CB, os animais são alojados em uma grande área, sobre uma cama normalmente formada por uma fonte de carbono (C), separada por um corredor de alimentação. Os materiais de cama mais comumente usados nos sistemas de alojamento de vacas são serragem, maravalha, palha, casca de café, casca de amendoim e lascas de madeira (FÁVERO et al., 2015; GALAMA, 2014; JANNI et al., 2007; LESO et al., 2018; LESO et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2019). Nesta área, o material da cama, juntamente com o material orgânico dos dejetos dos animais, passa a ser compostado ao longo do tempo através da ação de microrganismos aeróbios ali presentes, sendo este o diferencial deste sistema (JANNI et al., 2007).

O processo de compostagem é um processo biológico de degradação de materiais orgânicos. Nesse sentido, o mesmo é influenciado por diversos fatores que afetam a atividade microbiológica, como a temperatura (BARBERG et al., 2007b), umidade (KIEHL 2002), oxigenação (GÓMEZ; FERRER, 2006; KIEHL, 2002), relação C/N (BEWLEY et al., 2012; BEWLEY et al., 2013; ZHU, 2005), granulometria (DAMASCENO, 2012), porosidade (HANDRECK, 1983) e potencial hidrogeniônico (pH) (HANAJIMA et al., 2010), os quais devem ser monitorados através de técnicas adequadas para maior eficiência de todo o processo.

O monitoramento da temperatura da superfície no leito nas instalações do CB é um parâmetro muito importante para verificar a qualidade e eficiência da compostagem no sistema (BARBERG et al., 2007b). De acordo com Li et al. (2008) e Valente et al. (2009) a temperatura representa o mais importante indicador da eficiência do processo de compostagem, a qual pode ser utilizada como indicativo de equilíbrio microbiológico no interior da cama. Entretanto, a mesma é afetada por fatores como umidade, disponibilidade de nutrientes, aeração e taxa de ventilação. A diminuição da temperatura da cama poderá ocorrer em função de uma redução ou aumento de umidade e/ou de uma menor concentração de nutrientes no substrato e/ou, ainda devido ao manejo da mesma (DAMASCENO et al., 2020).

Pesquisas avaliaram a temperatura da superfície da cama por meio de termômetro infravermelho, coletando dados no centro geométrico da instalação (BLACK et al., 2013) ou dividindo o CB em quadrantes (ECKELKAMP et al., 2016). De acordo com Bewley et al. (2012) e Janni et al. (2007), as temperaturas ideais em processos de semicompostagem que ocorrem em galpões CB situam-se entre 43,3 a 65°C. Entretanto, na literatura são apresentados diferentes intervalos de temperatura, como no trabalho de Biasato et al. (2019), que encontraram temperatura média na cama do CB de $31,02 \pm 1,57^\circ\text{C}$ no inverno, sendo estas inferiores às

encontradas por demais pesquisadores, como Barberg et al. (2007a) ($42,5 \pm 7,6^{\circ}\text{C}$ no inverno), Klaas et al. (2010) ($33,5 \pm 8,5^{\circ}\text{C}$) e Black et al. (2014) ($36,1 \pm 11,0^{\circ}\text{C}$), as quais não atingiram o nível necessário ($55-65^{\circ}\text{C}$) à morte dos organismos patogênicos, o que pode ser um problema em relação a falta de sanitização do material. Oliveira et al. (2019) encontraram, em instalações CB no Brasil, temperaturas médias internas nas camas de $35,9^{\circ}\text{C}$ no estado de Minas Gerais. Já Radavelli (2018) encontrou temperaturas médias internas à cama de $43,1^{\circ}\text{C}$ no Sul do mesmo país.

Em geral, temperaturas acima de 55°C reduzem a população de microrganismos devido à sanitização, com conseqüente inibição acelerada do processo. Por outro lado, quando estas possuem valores inferiores a 40°C , observa-se uma diversificação muito grande de microrganismos, o que acarreta na menor eficiência de degradação do material, podendo-se concluir que, quanto mais intensa for a atividade microbiana, mais eficiente será o processo de compostagem devido ao aumento de produção de calor (DAMASCENO et al., 2020), o que demonstra a importância deste parâmetro no processo como um todo.

A presença de água no processo de compostagem é um fator imprescindível para as necessidades fisiológicas dos organismos biológicos que participam da decomposição da matéria orgânica. A umidade adequada deveria estar entre 40 e 60%, sendo que 55% é considerada uma umidade ótima (BEWLEY et al., 2013; JANNI et al., 2007; MERCKEL, 1981). Teores de umidade baixos, menores do que 40%, inibem a atividade microbiológica, diminuindo a taxa de estabilização (PEREIRA NETO, 1996; RICHARD et al., 2002). Por outro lado, quando a umidade é excessiva, há aglutinação de partículas, restringindo sobremaneira a difusão de oxigênio e induzindo a uma condição anaeróbia (POINCELOT, 1975), ou seja, além de proporcionar uma lenta decomposição, provoca a lixiviação de nutrientes (VALENTE et al., 2009).

Um dos problemas relacionados à elevada umidade das camas em instalações CB está relacionado à sujidade dos animais. Black et al. (2013) relataram que o material da cama se adere nos animais quando a umidade nas camas é elevada, o que aumenta o risco de mastite, problemas de casco e gera uma maior dificuldade de locomoção dos mesmos, os quais irão preferir caminhar e permanecer em áreas de piso de concreto. Além disso, quando o material da cama está muito úmido observa-se maior vulnerabilidade à compactação, além de uma possível proliferação de moscas caso a umidade se apresente na superfície da cama (DAMASCENO et al., 2020). Por outro lado, camas muito secas, aliadas a altas taxas de ventilação no interior das instalações, podem dispersar muitas partículas de poeira e de material da cama, ocasionando problemas respiratórios aos animais (BARBERG et al., 2007a).

Para corrigir elevadas umidades das camas nos galpões Compost Barn é recomendado que uma nova camada de cama, entre 5 e 10 cm, seja adicionada. De acordo com Black et al. (2013), a implementação de ventilação artificial, que produza velocidade do ar em torno de 3 m s^{-1} no interior das instalações também favorece a secagem do material, podendo esta velocidade variar em função da densidade animal (DAMASCENO et al., 2020). Além disso, Shane et al. (2010) sugerem o monitoramento semanal da umidade nos primeiros 10 a 20 cm de profundidade da cama, para auxiliar no manejo da mesma.

Para a manutenção das condições aeróbias da cama, é necessário possibilitar que o oxigênio acesse as camadas mais profundas da mesma, aumentando, assim, a eficiência e a profundidade da compostagem (NRAES, 1992), incorporando os dejetos e ar no material da cama e expondo uma maior área de superfície para a secagem (JANNI et al., 2007; SHANE et al., 2010). De acordo com Cotta et al. (2015), a aeração é o principal mecanismo capaz de controlar a temperatura da cama durante o processo de compostagem, aumentar a velocidade de oxidação do material orgânico, reduzir a umidade e diminuir a concentração de odores.

Neste sentido, o revolvimento periódico por, pelo menos, duas vezes ao dia, deve ser realizado (BARBERG et al., 2007a; BLACK et al., 2013; JANNI et al., 2007). Para tanto, Shane et al. (2010) sugerem a utilização de implementos agrícolas como subsoladores ou escarificadores capazes de acessar uma profundidade de 15 a 25 cm, que incorpore, revolva, fragmente e descompacte o material. Este processo promove a atividade microbiológica e proporciona uma superfície fresca e seca para o gado se deitar. Manejos inadequados em relação à aeração irão ocasionar a elevação da umidade e a ocorrência de temperaturas mais amenas, favorecendo a proliferação de microrganismos patogênicos e maior sujidade dos animais (BLACK et al., 2013).

A relação C/N é um parâmetro confiável para o acompanhamento da compostagem até se chegar ao produto acabado. O equilíbrio da relação C/N é um fator fundamental na compostagem, já que, o principal objetivo do processo é criar condições para fixar nutrientes, de modo a serem posteriormente utilizados como adubo. Estudos já realizados apontam que o tempo necessário ao processo de decomposição e mineralização é atribuída, em grande parte, pela concentração de N da matéria orgânica (COSTA, 2016), apesar de que a quantidade de C presente também poderá interferir na velocidade do processo de compostagem. Isto porque os microrganismos heterotróficos envolvidos no processo utilizam o conteúdo de C como fonte de energia e o de N para síntese de proteínas (SHARMA et al., 1997).

A quantidade de N exigida por unidade de C pode sofrer variações, a depender dos tipos de microrganismos envolvidos no processo de compostagem. Bewley et al. (2012); Bewley et

al. (2013); Kiehl (2002); Pereira Neto (1986) e Zhu (2005), recomendam que a relação C:N mais favorável para a compostagem deve estar entre 25:1 e 30:1. Entretanto, a relação C/N dos materiais utilizados nas camas do CB podem ser muito distintas, como no caso da serragem de madeira como pinus e eucalipto, que apresentam C/N correspondente a 184:1 (COTTA et al., 2015), serapilheira igual a 17:1 (KIEHL, 1981), casca de café na faixa de 27:1 a 36:1 (BRANDÃO, 2000; MATOS et al., 1998), casca de arroz 63:1 (KIEHL, 1985) e palhas de milho 112:1 (KIEHL, 1985), o que podem afetar todo o processo de compostagem. Quando a relação C/N é muito elevada a falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e limitar uma adequada humificação do material. Nestes casos a temperatura não se elevará aos níveis necessários e o processo ocorrerá mais lentamente. Por outro lado, quando as relações C/N forem menores, o nitrogênio será produzido em excesso e poderá ser perdido como amônia (NH₃), causando odores desagradáveis e desperdício de nutrientes. Além dos odores, a volatilização do NH₃, juntamente com outros gases, é tóxica aos animais, além de reduzir o potencial fertilizante da cama.

Outros fatores podem limitar a velocidade do processo de compostagem, como por exemplo, a disponibilidade do C do material. Quando parte do C disponível é de difícil degradação, como a lignina e celulose é aconselhável uma relação C/N inicial maior, pois o C disponível é inferior ao C total (DAMASCENO et al., 2020). De acordo com Damasceno (2012), além da natureza do material, o manejo da cama, condições climáticas, sistema de ventilação e características dos animais como tipo de alimentação e número de animais alojados também afetam de maneira significativa a concentração de C e N totais durante o processo de compostagem.

O potencial hidrogeniônico (pH) é outro fator que influencia o processo de compostagem, sobretudo porque a maioria dos materiais empregados como fonte de C são de natureza ácida, como a casca de café (pH = 3,4 a 5,0), maravalha (pH = 2,8 a 3,3), serragem (pH = 3,0 a 4,5), além das fezes e urina que possuem valores de pH que variam entre 4,9 a 9,6 (DAMASCENO et al., 2020). De acordo com Nraes (1992), o pH ideal do material durante o processo de compostagem deve estar entre 6,5 a 8,0. Porém, para os microrganismos a faixa ótima de desenvolvimento dos mesmos a ser considerada situa-se entre 5,5 e 8,5 (RODRIGUES et al., 2006). Alterações de pH do meio podem influenciar na ativação e ou inativação de enzimas liberadas por microrganismos.

Janni et al. (2007) encontraram valores de pH em instalações CB em Minnessota em torno de 8,45. Valores próximos foram observados por Fávero et al. (2015) e Radavelli (2018), bem

como por Oliveira et al. (2019), que mencionaram valores de pH médio de 8,9 e 9,0 na superfície e a 20 cm de profundidade da cama em instalações CB em Minas Gerais.

Certa atenção deve ser dada quanto ao manejo utilizado por alguns produtores na tentativa de controlar a umidade da cama e odores liberados pela mesma. Pode-se citar, como exemplo, a adição de determinados produtos, como a cal hidratada, que poderá elevar muito o pH e limitar a atividade microbiana, retardando assim, o processo de decomposição do material. Por outro lado, a adição de produtos que possam reduzir bruscamente o pH também não são desejáveis, sobretudo por favorecer a formação de gases como o sulfeto de hidrogênio, que poderão causar maus odores no ambiente.

Além dos fatores já abordados, os quais estão mais relacionados com a química do processo existe uma característica muito importante, desta vez física, que deve ser observada e avaliada por influenciar tanto no processo de compostagem e semicompostagem quanto no bem-estar animal dos animais alojados em instalações CB, sendo eles a granulometria do material e a porosidade da cama. Ferraz et al. (2020a) utilizaram índices de validação através de lógica Fuzzy e verificaram que independentemente do material escolhido como cama, bem como sua influência na classificação de agrupamento, a propensão da escolha do material é dada através de suas propriedades físicas, informação que pode ser útil para produtores quanto a escolha do material.

A granulometria ou tamanho da partícula irá influenciar no processo de compostagem ao proporcionar maior ou menor área superficial da matéria orgânica em que os microrganismos atuarão. De acordo com Damasceno (2012), quanto menor o tamanho das partículas da cama maior será a área superficial que será degradada pelos microrganismos, o que proporcionará uma maior taxa de decomposição do material. Entretanto, materiais com granulometria muito fina podem gerar poucos espaços porosos, o que dificulta a difusão de O_2 no interior do material, o que pode acarretar em reações químicas anaeróbias. Por outro lado, embora partículas auxiliem na manutenção da aeração da cama, acabam fornecendo menos C disponível por massa de material, afetando, assim, a atividade microbiana (DAMASCENO et al., 2020).

Em condições de campo, o material da cama sofre constante compactação e alteração da umidade devido a presença dos animais o que pode prejudicar o andamento do processo de decomposição. Este fato está relacionado ainda com o aumento da porosidade aparente do material. De acordo com Leite (1997) o aumento da densidade aparente aliado ao alto teor de umidade irão acarretar na diminuição da eficiência do processo, pois uma vez que o material esteja compactado haverá uma maior dificuldade de distribuição dos microrganismos e das enzimas no material que será decomposto. Handreck (1983) abordam que partículas menores

que 0,5 mm, sobretudo as de dimensões entre 0,1 e 0,25 mm, têm uma maior influência sobre a porosidade e retenção de água na cama.

De acordo com Damasceno et al. (2020) o estabelecimento de uma granulometria ótima para o processo de compostagem do material da cama é bastante difícil, já que cada um apresenta suas particularidades. Os pesquisadores comentam ainda que a mistura de vários materiais como maravalha e casca de café ou serragem e casca de amendoim pode ser uma maneira adequada para se tentar corrigir o tamanho das partículas e favorecer a homogeneidade da massa de material de cama. Além disso, essa pode ser uma alternativa interessante de escolha de material já que ao longo do ano pode ocorrer a escassez dos mesmos ou ainda se ter limitações de acesso devido a inviabilidade dos custos de aquisição.

Por outro lado, existe uma grande preocupação em relação ao bem-estar dos animais enquanto alojadas no galpão, os quais geralmente passam de 8 a 16 horas dia⁻¹ deitados (TUCKER et al., 2009) e um fato observado por pesquisadores é que vacas leiteiras passam mais tempo deitadas quando as camas são macias e secas (WOLF et al., 2018). Leso et al. (2021), abordam sobre a importância da manutenção da cama seca para maximizar o desempenho e bem-estar dos animais. Neste sentido, é possível constatar que a escolha do material não é trivial, pois a mesma depende da interação de vários fatores físicos, químicos e biológicos que se inter-relacionam e ainda que proporcionem bem-estar aos animais.

Ferraz et al. (2020b) estudaram sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas de materiais convencionais como palhada de cevada, de trigo, serragem fresca e seca e maravalha e materiais alternativos como folhas de floresta de coníferas, palhada de linho, de Triticale e cânhamo, coletados em diferentes países como materiais fontes de cama, avaliando-se importantes parâmetros físicos como capacidade de retenção de água, porosidade e densidades aparentes, os quais constataram diferenças substanciais entre os materiais, inclusive com indicações de uso de materiais alternativos.

Em outro trabalho, Ferraz et al. (2020a) verificaram que a *Posidonia oceanica* pode ser considerada um material alternativo que apresenta propriedades físicas interessantes em instalações animais para uso como material de cama. Logicamente, a escolha desses materiais deverá ser realizada de acordo com a disponibilidade local de fornecimento dos mesmos, sobretudo ao se considerar os custos de aquisição. Nesse sentido, os pesquisadores relataram da importância da realização de análises físicas, químicas e biológicas antes da escolha do material a ser utilizado como cama (FERRAZ et al., 2020b).

Portanto, pôde-se observar o quão dinâmico é um processo de compostagem e semicompostagem e o quanto os fatores envolvidos neste processo dependem e influenciam um

ao outro. Por isso a importância da realização de análises físicas, químicas e biológicas para escolha do material utilizado como cama, como relatado por Ferraz et al. (2020b). Existe ainda a importância do acompanhamento destes parâmetros, tanto para monitoramento da eficiência do processo para que no final de sua utilização os produtores obtenham um composto com características físico-químicas ideais para ser comercializado, quanto para a manutenção do bem estar e sanidade dos animais enquanto alojados. Por isso, o desenvolvimento de técnicas mais práticas para essas avaliações deve ser aprimorado para auxiliar produtores rurais quanto a seleção de camas que retornem todos os aspectos desejáveis desse sistema produtivo.

2.2.2.4 Ciclo do nitrogênio na compostagem/semicompostagem de camas, volatilização de amônia, impactos e possíveis mitigações

O nitrogênio (N) é o elemento de referência quanto à qualidade da cama, a qual ao ser de boa qualidade, retém maior quantidade de N. Porém, este importante nutriente é geralmente perdido por volatilização na forma de amônia (NH_3) a depender do material que a constitui e do manejo empregado na instalação. Além disso, a perda de NH_3 representa uma perda econômica de N da agricultura (ERISMAN et al., 2008).

O N é um dos elementos químicos que mais participa das reações bioquímicas em plantas e microrganismos e apresenta grande versatilidade nas reações de oxirredução, o qual apresenta-se em vários estados de oxidação, desde formas bastante reduzidas (-3) como o amônio (NH_4^+), até oxidadas (+5) como o nitrato (NO_3^-), apresentando-se, portanto, ser um ciclo bastante complexo, o qual é controlado por fatores físicos, químicos e biológicos.

A região aerada de camas de um sistema CB diminuem à medida que a profundidade aumenta, o que acarreta em um gradiente de concentração de O_2 . Por outro lado, a deposição dos dejetos na cama fornece contribuições diárias variáveis de C e N orgânicos, nos quais permanecem sob a forma de compostos orgânicos complexos tais como proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, ou mesmo ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), presente na urina. A partir desse aporte de dejetos, uma série de transformações microbiológicas cíclicas são iniciadas, no sentido da transformação desta matéria orgânica em N inorgânicos (GOYAL et al., 2005; PEIGNE; GIRARDIN, 2004). Entretanto, estes compostos nitrogenados são, em geral, rapidamente decompostos em substâncias mais simples, por meio da ação dos microrganismos que colonizam a cama.

A cama em uma instalação CB pode ser separada em 3 zonas, sendo elas a zona óxica, zona de transição e zona anóxica. Damasceno et al. (2020), descrevem que na zona óxica ocorre

a produção de vapor d'água (H_2O), amônia (NH_3) e alguns gases como gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), devido a respiração aeróbica de bactérias e fungos que consomem oxigênio molecular (O_2). As bactérias saprófitas e várias espécies de fungos são os principais responsáveis por essa decomposição, os quais utilizam as proteínas e aminoácidos como fonte para suas próprias proteínas e liberam o excesso de N sob a forma de NH_4^+ , processo este denominado de amonificação.

Altas densidades de animais nas instalações agropecuárias podem resultar em altas concentrações de NH_3 (NI; CORTUS; HEBER, 2011), principalmente quando ocorre grande aporte e decomposição de elevadas quantidades de materiais ricos em N. De acordo com Damasceno et al. (2020) a depender do pH e da concentração de NH_4^+ a concentração deste íon pode se equilibrar com a concentração de NH_3 e devido a essas concentrações, uma fração de NH_4^+/NH_3 pode se difundir na interface ar-água dos dejetos e ser parcialmente propagada para a atmosfera. Entretanto a maior parte do NH_4^+/NH_3 é assimilada pelos microrganismos ou nitrificada em NO_3^- , sendo este processo conhecido como nitrificação. Inicialmente na nitrificação, a fração NH_4^+/NH_3 é oxidada a nitrito (NO_2^-), sendo este posteriormente oxidado em nitrato (NO_3^-). Este pode ser posteriormente convertido em óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO) e nitrogênio gasoso (N_2) por desnitrificação. Este processo no qual NO_3^- é reduzido a esses gases (N_2 ou N_2O) é, segundo Maier et al. (2000) anaeróbico, os quais também pode ocorrer em condições aeróbicas, onde existem microzonas anaeróbicas em espaços internos de partículas orgânicas porosas (MEGONIGAL et al., 2004).

A zona anóxica, região de baixas concentrações de O_2 , situa-se na parte mais profunda da cama, no qual apresenta emissões de gases como CH_4 , CO_2 , sulfeto de hidrogênio (H_2S) e NH_3 , que se movem para a atmosfera ou são absorvidos na zona óxida. Este processo, por ocorrer em baixíssimas concentrações de O_2 , ocorrem via decomposição anaeróbica de carboidratos e ácidos orgânicos através da atuação de bactérias e fungos heterotróficos e fermentativos em acetato (CH_3COO^-/CH_3COOH) e CO_2 . Posteriormente, são convertidos em CH_4 , conhecidamente como metanogênese. De acordo com Goyal et al. (2005); Peigne e Girardin (2004), os microrganismos que oxidam NH_3 podem também oxidar CH_4 , ou seja, o CH_4 pode inibir a oxidação de NH_3 , assim como NH_3 pode inibir a oxidação de CH_4 dependendo de suas concentrações no meio. Maier et al. (2000) abordam que o pH do meio pode afetar este equilíbrio.

Já a zona de transição é aquela encontrada entre a zona óxica e anóxica, caracterizando-se por ser uma região onde os microrganismos podem potencialmente produzir ou decompor gases de emissão semelhantes (DAMASCENO et al., 2020). De acordo com Goyal et al. (2005);

Peigne e Girardin (2004) dentro desta zona, é possível uma via alternativa tanto para conversão quanto para remoção de NH_3 . O que ocorre é a oxidação anaeróbia de NH_3 com NO_2 , o que leva a formação de N_2 , sendo esta reação denominada com ANAMMOX (GOYAL et al., 2005; MEGONIGAL et al., 2004; PEIGNE; GIRARDIN, 2004).

Pôde-se observar como o ciclo do N em sistema de compostagem é dinâmico e depende de muitos fatores que devem ser controlados. Muito deles, por meio do manejo utilizado, uma vez que o mesmo poderá atuar no equilíbrio das reações através da incorporação de O_2 , controle da umidade oriunda da urina e dejetos dos animais por meio da utilização de ventiladores e adição de novo material quando necessário. Nesse sentido, o manejo apresenta-se como um fator muito importante, não só por permitir um processo bioquímico de compostagem adequado, mas também devido a questões relacionadas a ambiência animal, a poluição ambiental (WANG; ZENG, 2018) e a qualidade físico-química do composto final, o qual pode ser reduzida, impactando negativamente no seu potencial fertilizante (WANG; ZENG, 2018).

Altas concentrações de NH_3 dentro de instalações apresentam riscos potenciais à saúde de humanos e animais (KIRKHORN; GARRY, 2000; PORTEJOIE; MARTINEZ; LANDMANN, 2002). A Commission Internationale du Génie Rural (CIGR), recomenda a concentração máxima de 20 ppm para animais (CIGR, 1983). De acordo com Garcia et al. (2013), os problemas respiratórios e de irritação ocular em trabalhadores de fazendas leiteiras ocorrem acima dos 6-20 ppm enquanto as cefaleias, náuseas e irritação das mucosas respiratórias ocorrem nos 40 a 200 ppm. Análises de regressão múltipla sugerem que a NH_3 seja um dos mais importantes fatores preditivos ocupacionais de doenças respiratórias agudas ou crônicas na produção animal (EDUARD et al., 2013; MAY; ROMBERGER; POOLE, 2012).

Na China, de acordo com os inventários de emissões, aproximadamente 13,5% das emissões totais de NH_3 das atividades agrícolas estão relacionadas à criação de vacas leiteiras (HUANG et al., 2012; WANG et al., 2018), sobretudo devido ao grande aumento numérico destes animais no país. No Brasil, a Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15) (1978), regula exposições de trabalhadores a agentes agressivos especificando que a concentração média de NH_3 durante a jornada de trabalho diária de 8 horas deve ser no máximo de 20 partes por milhão (ppm), não devendo exceder 30 ppm.

Nas últimas décadas, as emissões de NH_3 aumentaram significativamente como resultado do manejo agrícola intensivo e maior produção de bovinos em diversos países (ANEJA et al., 2008), tornando-se uma das preocupações em termos de poluição do ar. Tanto que o Parlamento Europeu e o Conselho Nacional de Emissão de poluentes (Diretiva NEC)

estabeleceram limites máximos para cada Estado Membro para as emissões totais em 2010 de quatro poluentes, os quais incluíam NH_3 (EC DIRECTIVE, 2001). No entanto, apesar de ser um conceito simples, as concentrações de NH_3 medidas são difíceis de serem quantificadas com precisão devido ao seu tamanho e à natureza não homogênea de fatores como umidade da cama, pH, temperatura, etc., que afetam essas variáveis tanto no espaço como no tempo (OSÓRIO et al., 2013).

Neste sentido, Wang e Zeng (2018) apontam algumas estratégias comprovadamente eficazes para mitigação das emissões de NH_3 e abordaram ainda cinco estratégias e mecanismos de produção de NH_3 , sendo as que contribuem para a mitigação: (i) redução da mineralização e $\text{N}_{\text{orgânico}}$; (ii) promover a assimilação de $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$; (iii) aumento da proporção de $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ por meio da redução do pH; (iv) imobilização de NH_4^+ e (v) promover a oxidação de NH_3 . Dentre as estratégias apresentadas, destaca-se a utilização de adsorventes naturais ou sintéticos de $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ com alta capacidade de troca iônica e elevada área superficial, como a zeólita, biocarvão, gesso, entre outros.

Por outro lado, outras pesquisas também foram realizadas para verificar a possibilidade de adição de substâncias que melhorem a qualidade química, física e microbiológica das camas, os quais foram classificados como condicionadores químicos. Burgess et al. (1998); Glória et al. (1991); Neme et al. (2000); Oliveira et al. (2003); Wildey (1984) e Wyatt e Goodman (1992), verificaram que adição de gesso agrícola, superfosfato, sulfato de alumínio, cal hidratada, entre outros, além de favorecerem essas melhorias também são capazes de reduzir a volatilização de NH_3 .

Nessa perspectiva, pôde-se constatar o quão dinâmico é o ciclo do N e seus impactos quando há desequilíbrio de alguns fatores envolvidos no processo de compostagem, daí a grande preocupação mundial em relação a liberação de alguns desses produtos, como por exemplo, a formação e volatilização de NH_3 , que além de ser uma fonte poluidora é ao mesmo tempo um recurso perdido que agregaria valor e qualidade ao composto. Embora essas rotas de transformação do N sejam notadamente conhecidas, Wang e Zeng (2018) apontam que novas pesquisas são necessárias, sobretudo em relação descoberta de novos condicionantes/aditivos mais econômicos e os mecanismos envolvidos após aplicação dos mesmos na mitigação da volatilização de NH_3 .

2.2.2.5 Adição de substâncias à massa de compostagem

A compostagem é o processo de decomposição e estabilização biológica da matéria orgânica que envolve auto aquecimento e bioconversão de resíduos orgânicos em substâncias húmicas, chamados de compostos (PEREIRA NETO, 1996; PICCOLO, 2016). Na prática, esses compostos podem ser utilizados como insumos agrícolas, de odor agradável, de fácil manipulação e livre de microrganismos patogênicos (COTTA et al., 2015). Sendo assim, a compostagem pode ser considerada como um dos métodos mais sustentáveis para a gestão dos resíduos sólidos orgânicos em agroecossistemas.

Ultimamente, muitos produtores utilizam compostos orgânicos em substituição ou complementação da adubação mineral, já que estes propiciam a conservação das propriedades físicas e químicas do solo. Entretanto, o processo de decomposição é bastante demorado, sobretudo se os materiais utilizados como fonte de C forem ricos em compostos lignocelulósicos, como abordado por Jurado et al. (2014) e Paradelo et al. (2013). Além disso, para que o composto tenha a qualidade final desejada vários fatores devem ser monitorados e controlados durante seu processo bioconversão, dentre eles a relação C/N, pois segundo Onwosi et al. (2017), caso esta esteja abaixo da quantidade desejada o N ficará em excesso e ocorrerão maiores perdas desse elemento por volatilização de NH_3 . Nesse sentido, vários estudos foram realizados, como por exemplo, os trabalhos de Naujokiene et al. (2021) e Voropaev et al. (2021) que utilizaram respectivamente produtos biológicos e remineralizadores ou rochas moídas na tentativa de minimizar este problema.

Gabhane et al. (2012); Karak et al. (2013) e Makan (2015), abordam, em seus trabalhos, que a adição de substâncias à massa de compostagem pode acelerar o tempo de compostagem e melhorar a qualidade do produto. Patle et al. (2014), abordam que uma compostagem rápida pode ser obtida a partir da inoculação de culturas de microrganismos degradadores no substrato, os quais abordam que a eficiência no processo, depende de condições favoráveis, como umidade, aeração e quantidades iniciais adequadas de C e N. Oliveira et al. (2014) também abordam que adição de microrganismos selecionados, além de favorecer uma decomposição rápida de materiais orgânicos restringe o crescimento de microrganismos patogênicos e pode aumentar a mineralização de macro e micronutrientes.

Diversas pesquisas foram conduzidas acerca da aplicação de inoculantes microbianos para obtenção de uma compostagem acelerada com produtos de melhor qualidade, como os trabalhos de Jiang et al. (2015); Jusoh et al. (2013); Nair e Okamitsu (2010); Nakasaki et al. (2013); Ohtaki et al. (1998); Pan et al. (2012); Patle et al. (2014); Raut et al. (2008); Vargas-Garcia et al. (2005) e (2007); Wang et al. (2011); Wang et al. (2014); Wei et al. (2007); Zeng

et al. (2009); Zhou et al. (2015) e Zhao et al. (2016), alguns apresentando, inclusive, resultados controversos.

Segundo Wei et al. (2019), os microrganismos inoculados são capazes de secretar enzimas extracelulares capazes de degradar compostos de maior complexidade estrutural, como abordado por Wang et al. (2011) e Zeng et al. (2009), que utilizaram microrganismos com propriedades lignolíticas ou celulíticas e observaram resultados positivos na velocidade do processo de decomposição. Segundo Jiang et al. (2015) e Zhao et al. (2016) o momento de inoculação é um fator chave que afeta a compostagem, pois cada fase do processo é caracterizada por crescimento e atividade de várias populações microbianas com as quais a microbiota inoculada deverá competir. Além disso, os níveis de carbono e nitrogênio biodisponível na mistura de compostagem podem influenciar significativamente a eficiência das culturas microbianas e a taxa de biodegradação (EL-HADDAD et al., 2014). Neste sentido, Heidarzadeh et al. (2019) abordam que a falta de compreensão do papel da adição de microrganismos no processo de compostagem ainda é um grande obstáculo, portanto, não se pode assumir que eles sempre irão promover este processo (AWASTHI et al., 2020).

Outros trabalhos encontrados na literatura abordam sobre a utilização de compostos capazes de manter no N no composto, evitando assim a volatilização de NH_3 . Pesquisas realizadas apontam diferentes retenções de NH_3 com o uso de biocarvão (AKDENIZ, 2019; FEBRISANTOSA et al., 2018), zeólita (SOUDEJANI et al., 2019), bentonita (LI et al., 2012), superfosfato (YUAN et al., 2018), inoculantes microbianos (RASTOGI et al., 2020), gesso (CHEN et al., 2010; KIM et al., 2017) e resíduos contendo gesso (FEBRISANTOSA et al., 2018; LI et al., 2018; YANG et al., 2015; YUAN et al., 2018).

Yang et al. (2015), abordam que a adição de gesso durante o processo de compostagem é muito eficaz na decomposição de biomassa e tem efeito positivo na redução das perdas de NH_3 . Tal efeito pode estar relacionado à boa capacidade de retenção de água pelo gesso e à presença de fósforo (P) no mesmo, o qual pode influenciar o crescimento dos microrganismos e permitir um maior estoque de N na biomassa microbiana. Os trabalhos de Febrisiantosa et al. (2018); Li et al. (2018) e Yuan et al. (2018) corroboram com o trabalho de Yang et al. (2015).

Por outro lado, algumas pesquisas foram realizadas na tentativa de melhorar as qualidades químicas do composto por meio da adição de remineralizadores, mais conhecidos como rochas moídas. A utilização de pós de rocha tem sido objeto de estudos, principalmente depois que o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da Lei 12.890 de 10 de dezembro de 2013 e Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, regulamentaram a produção, registro e comércio do pó de rocha na agricultura, atualmente

chamado de “Remineralizadores”. Segundo o MAPA, os remineralizadores são materiais de origem mineral que tenham passado apenas por redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que alterem os índices de fertilidade do solo, por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promovam a melhorias das propriedades físicas, físico-químicas e/ou da atividade biológica do solo (BRASIL, 2016).

De acordo com Theodoro et al. (2012), os pós de rochas são agentes remineralizadores de solo capazes de proporcionar aumento de pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), disponibilizando-os lentamente ao longo do tempo e conseqüentemente aumentando a produção, o que corrobora com os resultados de Li, Mavrodi e Dong (2021), que certificaram em estudo na China que os pós de rocha são capazes de melhorar características de composto animal, fornecendo múltiplos elementos nutricionais, como Ca, K, zinco (Zn) e Mg.

Em muitos casos, as rochas silicatadas moídas são misturadas a compostos orgânicos e a liberação dos nutrientes pode ser acelerada por meio de mecanismos físico-biológicos controlados (THEODOERO et al., 2012). Neste sentido, inserir o remineralizador no processo de compostagem é uma forma de beneficiamento biológico do produto. De acordo com Ishimura et al. (2006), a técnica de inserir pós de rochas na compostagem enriquece o teor de nutrientes do produto e acelera a solubilização dos minerais das rochas, fato que aumenta o potencial agrônômico do adubo.

Tavares et al. (2018), aplicou remineralizadores para encontrar evidências da liberação de nutrientes de pós de rocha silicatados através do processo de compostagem, concluindo que houve melhorias na qualidade final dos compostos produzidos, pois pôde-se constatar que o processo de compostagem foi capaz de acelerar o intemperismo do pó de rocha o qual promoveu maior liberação de K e sílica ao composto.

Shah et al. (2012) e Shah et al. (2018) misturaram pós de rocha silicatados de composição basáltica com esterco bovino e concluíram que as emissões de NH_3 foram reduzidas significativamente após a aplicação em campo, os quais relataram que o crescimento do milho aumentou, bem como a recuperação aparente de N, a qual foi 2 a 3 vezes maior em comparação com o esterco aplicado sem a mistura. Jiangang Li et al. (2020), reportaram que a incorporação de pós de rocha melhorou significativamente os teores de microelementos em compostos, sem aumento de fitotoxicidade, os quais afirmaram que a aplicação deste composto em um solo de baixa qualidade nos anos de 2013 e 2014 possibilitou um aumento de produtividade em 120% e 187% respectivamente em relação ao solo não aplicado.

Ramos et al. (2022) e Swoboda, Doring e Hamer (2022) revisaram pesquisas dos últimos 50 anos sobre aplicação de remineralizantes silicatados combinados ou não com

microrganismos quanto ao aumento da fertilidade do solo, recuperação de áreas degradadas, descontaminação de águas e sequestro de carbono, mostrando que esta tecnologia pode contribuir para a sustentabilidade da agricultura.

Observa-se, a partir da revisão da literatura, que a utilização de remineralizadores como produtos capazes de mitigar a volatilização de NH_3 , ainda foi pouco explorada, encontrando-se poucos trabalhos que apresentem resultados acerca de sua utilização, notadamente na área em foco no presente trabalho. Nesse sentido, pesquisas devem ser realizadas para verificação da atuação efetiva desses minerais na manutenção de N no processo de compostagem.

2.3 Variáveis térmicas e sua influência no ambiente térmico e ambiência dos animais

Fatores ambientais ou microclima dentro das instalações influenciam direta ou indiretamente na produção animal em todas as suas fases. Com isso, diferentes sistemas de produção estão sendo utilizados, os quais buscam proporcionar conforto térmico, saúde e, conseqüentemente produtividade animal, tendo em vista que a ambiência está diretamente relacionada com o conforto térmico dos animais (ECKELKAMP et al., 2016).

Identificar os fatores que influenciam na produtividade do animal, como por exemplo, o estresse térmico imposto pelas variações das condições ambientais é uma maneira de se ajustar práticas de manejo dos sistemas de produção, bem como adequação do projeto de instalação dos animais (GONÇALVES et al., 2016; MEDEIROS et al., 2014). Este fato torna-se ainda mais importante em regiões tropicais, onde o calor afetará diretamente o desempenho de bovinos leiteiros. Contudo, o controle do microclima de instalações de confinamento é bastante complexo, pois as variáveis climáticas como temperatura do ar, umidade relativa, vento e radiação variam continuamente ao longo do dia e isso poderá acarretar em alterações bruscas no balanço térmico dos animais, gerando prejuízos no desempenho e saúde dos bovinos. Isso demonstra a importância de estudos voltados aos sistemas de arrefecimento nas instalações, sobretudo em galpões Compost Barn, identificando-se as alterações que são manifestadas nos animais em situações de desconforto térmico.

O conceito de bem-estar animal, descrito inicialmente pelo Farm Animal Welfare Council (FAWC), envolvia basicamente cinco leis, sendo elas: estar o animal livre de fome e sede, livre de desconforto, livre de dor e doenças, livre de medo e aflição e, livre para expressar seus comportamentos naturais (FAWC, 1992). Portanto, o bem-estar dos animais engloba a ambiência, ao minimizar possíveis fatores estressantes, como por exemplo, densidade animal, conforto térmico e poluição sonora. Nesse sentido, alguns pesquisadores têm investigado a

influência dos principais fatores que afetam o bem-estar de vacas leiteiras confinadas em instalações CB, os quais incluem elementos climáticos e diversos índices de conforto térmico, como por exemplo o índice de temperatura e umidade (ITU) (TOM, 1958) índice de temperatura e umidade de globo negro (ITGU) (BUFFINGTON, 1981) e carga térmica radiante (CTR) (SILVA e MAIA, 2013).

A temperatura do ar, umidade relativa, vento e radiação, são alguns dos elementos climáticos de suma importância que afetam o conforto térmico dos animais. Estes elementos devem ser monitorados constantemente devido sua dinâmica e capacidade de mudança diária. A temperatura do ar, de acordo com Neiva et al. (2004) é o elemento que atua diretamente sobre os bovinos leiteiros, pois qualquer alteração nos seus valores é capaz de promover alterações a curto prazo no comportamento e fisiologia dos mesmos. Contudo, somente esses valores, obtidos por meio de termômetros, pouco informa a respeito da sensação térmica do animal. Nesse sentido, o interessante é se obter a temperatura efetiva do local por combinar outros elementos climáticos e expressar um único valor que represente a sensação térmica do animal (BAÊTA & SOUZA, 2010; FERREIRA, 2016).

Os bovinos são animais homeotérmicos, ou seja, são capazes de manter a temperatura corporal relativamente constante, independentemente das variações climáticas do meio externo (BAÊTA & SOUZA, 2010). Porém, quando os animais são inseridos em um ambiente com temperaturas muito baixas, ou muito elevadas, uma série de mecanismos são desencadeados no corpo do animal para manutenção da homeotermia. De acordo com Souza et al. (2007), quando os animais são inseridos em ambientes com temperaturas excessivamente altas, a produção de calor acaba por exceder à de dissipação, o que acarreta em diminuição da ingestão de alimento pelo animal, aumento da frequência respiratória, taxa de sudorese e batimentos cardíacos. Isto irá desencadear processos físicos, bioquímicos, fisiológicos e comportamentais, na tentativa de manter o equilíbrio térmico, o que irá impactar negativamente nos processos produtivos, reprodutivos e na saúde e bem-estar desses animais, podendo até inviabilizar a atividade produtiva (DIKMEN et al., 2020; POLSKY; VON KEYSERLINGK, 2017).

Baêta e Souza (2010) classificaram uma escala de risco para vacas leiteiras entre as temperaturas de 18 a 27°C como “ausência de problemas”, 28 a 32°C como “cautela”, 33 a 38°C cautela extrema” e 39 a 44°C como “perigo”. Em relação à aferição da temperatura, Damasceno et al. (2020) abordam que os termômetros utilizados devem ser instalados sempre nos locais onde os animais são mantidos, e à meia altura, para melhor caracterização do microclima no qual o animal está exposto, devendo-se portanto, se situar entre 0,8, 1,2, e 1,5 m de altura para bezerras, novilhas/vacas secas e vacas em lactação, respectivamente.

Já a umidade relativa diz respeito à capacidade do ar em reter água. Entretanto, é um parâmetro totalmente dependente da temperatura, pois a pressão de saturação do ar muda rapidamente com pequenas variações de temperatura e sua mensuração sem a obtenção da temperatura torna-se um valor sem significado prático (DAMASCENO et al., 2020). De acordo com Baêta e Souza (2010), valores altos de umidade associadas a altas temperaturas do ar, causam diversas doenças no aparelho respiratório dos animais. Por outro lado, umidades relativas baixas favorecem a dissipação do calor por causa do processo evaporativo, o que poderá trazer problemas de ressecamento de mucosas e vias respiratórias (FERREIRA, 2016). Segundo Dalcin (2013), a umidade relativa do ambiente deve se situar na faixa de 40 a 70% para bovinos leiteiros, os quais são mensurados a partir de aparelhos conhecidos como psicrômetros ou termo-higrômetros.

O vento é o movimento do ar em relação à superfície terrestre. Ele flui devido às forças de gradiente de pressão, sendo, portanto, responsável pela dissipação de calor do animal para o ambiente, o que favorece a sensação térmica no ambiente. Neste sentido, ventilação em um sistema CB é um fator de grande importância.

Segundo Wells et al. (2004), a definição do tipo de ventilador a ser utilizado deverá ser um dos principais itens a serem pensados no dimensionamento de galpões de confinamento Compost Barn, para se obter adequada área de cama para vacas. Além disso, segundo Damasceno (2012) o uso de ventiladores tem a finalidade ainda de se eliminar o excesso de umidade da cama, possibilitando renovação do ar e favorecendo a entrada de ar puro com menores concentrações de CO₂, além de eliminar NH₃ e outros gases nocivos aos animais. De acordo com Shane et al. (2010), outra função da ventilação artificial é manter a superfície da cama fria, principalmente após o revolvimento diário da cama.

Em geral, os ventiladores devem ser direcionados para baixo, fixados com um ângulo de 15 a 30°, de maneira que esteja apontado para a base do próximo ventilador. Segundo Black et al. (2013), os ventiladores devem fornecer 1,8 m s⁻¹ em toda a extensão da superfície da cama, pelo fato de que nesta velocidade o vento possui maior taxa líquida de secagem da cama. Laloni (1996) aborda que os ventos favorecem a evaporação sem causar problemas patológicos nos bovinos, desde que sua intensidade se situe entre 1,0 e 10 m s⁻¹. Já Damasceno et al. (2020) abordam que a velocidade situada entre 2,5 a 3,5 m s⁻¹ são ideais para vacas holandesas em confinamento. Por ser um item fundamental para o bom funcionamento do sistema, Black et al. (2013) comentam que produtores não devem confiar somente nas recomendações dos fabricantes dos ventiladores, ressaltando, portanto, a importância de medição e monitoramento da velocidade do vento por meio de anemômetros.

A radiação é outro fator que atua no balanço térmicos dos animais. Constitui-se uma troca sensível de calor, que permeia em meio transparente através de ondas eletromagnéticas (BAÊTA; SOUZA, 2010), ou seja, é todo calor que rodeia o animal, como o sol, paredes das instalações, outros animais, piso, entre outros. De acordo com Navarinni et al. (2009), bovinos expostos à radiação solar direta podem ter aumento de 0,9°C na temperatura superficial, quando comparados com animais mantidos em sombreamento de pequenos bosques.

Neste sentido, um dos fatores que mais contribui para as condições internas de uma instalação é o telhado. Estes são responsáveis por promover um ambiente mais adequado à produção pecuária, proporcionando uma redução significativa na carga térmica quando comparada àquela recebida pelo animal ao ar livre (BAÊTA; SOUZA, 2010). Neste contexto, vários estudos já foram desenvolvidos nacional e internacionalmente, os quais avaliaram diferentes materiais de cobertura e sistemas de acondicionamento térmico, com destaque para Baêta e Souza (2010); Barnabé et al. (2014); Fiorelli et al. (2012); Jácome et al. (2007); Moura e Nääs (2000) e Tinôco (2001).

O tipo de material do telhado produzirá efeito preponderante sobre a quantidade de radiação que passará para o interior da construção, contribuindo para a elevação da temperatura, podendo-se somar ainda o calor latente e sensível produzido pelos animais, o que contribui para o aumento da carga térmica radiante e conseqüentemente da temperatura interna do ar (PASSINI et al., 2013). Entretanto, apesar da importância do tipo de material, a opção por melhores materiais é, por vezes, deixada de lado devido à análise econômica de sua aquisição e instalação.

Diversos pesquisadores, em busca de combinar vários fatores do ambiente térmico numa única equação, propuseram uma variedade de índices capazes de avaliar o nível de estresse térmico dos animais (HERBUT et al., 2018), sendo alguns deles a CTR, ITU e ITGU. A CTR é, segundo Silva e Maia (2013), todo calor trocado por um corpo com o ambiente por radiação. Estes autores afirmam que o equipamento mais prático para a medição da CTR é o termômetro de globo negro, instrumento que pode ser adquirido comercialmente ou construído com uma esfera oca de cobre, com aproximadamente 0,15 m de diâmetro e 0,0005 m de espessura, pintado externamente com duas camadas de tinta preta fosca para maximizar a absorção de radiação solar. Em seu interior é acoplado um termômetro para leitura da temperatura (SOUZA, et al., 2002). Este, de acordo com Silva e Maia (2013) deve ser instalado no local em que o animal estaria instalado (altura aproximada de 1,5 m para animais adultos), o qual irá fornecer uma estimativa da combinação dos efeitos da radiação, temperatura do ar e velocidade do vento, sendo a mesma calculada por meio da temperatura média radiante.

O ITU é outro índice desenvolvido para avaliar o conforto térmico, que inicialmente foi proposto por Thom (1958), para avaliar o conforto térmico de suínos e posteriormente adaptado por Berry et al. (1964) para vacas leiteiras. Este índice combina, em uma equação, as variáveis temperatura do ar e umidade relativa, sendo amplamente utilizado para estimar o grau de estresse calórico de bovinos (ALMEIDA et al., 2011; MOTA et al., 2019; NAVARINI et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2022; PILATTI et al., 2019; SIQUEIRA et al., 2022; VALENTE et al., 2020). Além disso, este índice tem sido muito utilizado por envolver informações meteorológicas que podem ser mensuradas por sensores de baixo custo. Johnson (1980) e Rosenberg et al. (1983) afirmaram em seus trabalhos desenvolvidos com vacas holandesas que $ITU < 68$ são desejáveis e, à medida que esse índice aumenta, o nível de estresse dos animais também.

Entretanto, em condições tropicais, a radiação é um importante fator que interfere na termorregulação dos animais. Diante disto, Buffington et al. (1981), propuseram o índice de temperatura do globo e umidade - ITGU, que leva em consideração a temperatura do globo negro, englobando, desta forma, a radiação líquida, sendo considerado por esses pesquisadores um índice muito preciso em comparação com o ITU, sobretudo quando os animais estão expostos à radiação solar incidente. Baêta (1985) classificou o ITGU em bovinos leiteiros como: valores abaixo de 74 indicam situação de conforto; valores na faixa de 74 a 78,9 caracterizam situação de estresse térmico leve e valores de 79 a 84 caracterizam que os animais se encontram em situação de perigo, isto é, elevado estresse térmico.

Alguns trabalhos são encontrados na literatura apontando a utilização tanto do ITU quanto do ITGU para avaliação da situação do ambiente térmico de bovinos, como por exemplo, o trabalho de Ávila et al. (2013), que correlacionaram parâmetros fisiológicos de vacas da raça Holandês em lactação com os índices bioclimáticos e constataram que ITGU apresentaram aumentos (72-80) durante as tardes de inverno, indicando situação entre conforto térmico e estresse térmico leve. Estes pesquisadores observaram ainda pequena elevação desses índices na primavera em relação ao inverno, refletindo a alteração climática em função da mudança de estação, sendo que os valores para ITGU (81-84) sugerem que os animais se encontram em situação de perigo, ou seja, elevado estresse térmico.

Siqueira et al. (2022) caracterizaram a variabilidade espacial dos índices de conforto térmico de vacas leiteiras em galpões CB no Estado de Sergipe, no final do período seco e início do período chuvoso da região, e concluíram para o ITGU que apenas os períodos da madrugada e noite apresentaram condições ambientais ideais para criação de bovinos leiteiros, pois nos demais períodos da manhã e tarde os animais passam por estresse térmico de nível leve a

situação de perigo. Já em relação ao ITU, os valores demonstraram-se insatisfatórios em relação aos referenciados na literatura.

Mota, Andrade e Leite (2019) também conseguiram identificar melhor a condição do ambiente interno na área de descanso dos animais de um galpão CB em Minas Gerais no inverno e verão, identificando-se pontos específicos de desconforto para vacas leiteiras por meio de geostatística quanto aos índices de CTR, ITU e ITGU.

Yan et al. (2020) investigaram nove índices térmicos em um galpão comercial de vacas leiteiras na China, os quais incluíam o ITU e ITGU e correlacionaram os resultados com a frequência respiratória dos animais. Os pesquisadores concluíram que a maioria dos índices térmicos não poderia prever com precisão o estresse térmico de vacas em lactação confinadas. Além disso, identificaram que o ITU e ITGU foram um dos índices que mais se aproximaram das condições reais de estresse térmico durante o período experimental avaliado. Entretanto, Bohmanova et al. (2007) comentam que diferentes condições climáticas podem exigir diferentes equações para se determinar o ITU. Figeri et al. (2023) abordam que ITU é um indicador geral e indireto que não considera vacas individualmente e consideram que associar o ITU a parâmetros comportamentais e fisiológicos é mais adequado para avaliar se as vacas estão em estresse calórico.

Diante das inferências de alguns trabalhos apresentados, pode-se evidenciar a importância da obtenção dos parâmetros e índices térmicos em instalações de bovinos leiteiros, pois nos momentos necessários poderá haver intervenção humana através da aplicação de manejos, como por exemplo, a utilização de sistemas de climatização, os quais serão capazes de promover um ambiente de conforto para os animais (ARAÚJO et al., 2016). Ainda nesse sentido, novas pesquisas, em diferentes raças e idades devem ser realizadas, considerando-se a variabilidade anual das diferentes regiões do mundo. Somente baseado nas respostas destes novos trabalhos serão encontradas evidências particulares e concretas para cada caso e situação, o que poderá de fato auxiliar produtores rurais nas tomadas de decisão do dia-a-dia da fazenda.

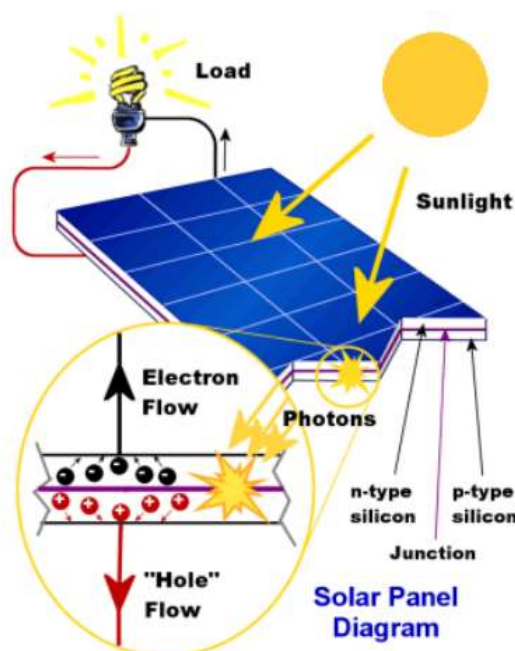
2.4 Utilização de placas solares fotovoltaicas em propriedades rurais.

A utilização de fontes alternativas de energia diante da crescente demanda energética mundial deve ser considerada diante da realidade do aquecimento global e suas consequências à biodiversidade e ao ser humano, pois os métodos convencionais de conversão de energia provocam alterações na natureza (REIS; SILVEIRA, 2000). Dentre as fontes de energia alternativa existentes destacam-se a matriz fotovoltaica ou energia solar, sendo esta considerada

uma fonte limpa de energia com grande potencial para contribuir com o desenvolvimento ambiental sustentável (LORA; HADDAD, 2006).

A energia fotovoltaica é definida, de acordo com Jardim (2004), como o uso de ondas eletromagnéticas captadas por meio de placas solares montadas a partir de um sistema de células solares. Essas células são constituídas por materiais que possuem propriedades físicas que ajudam na produção do efeito fotovoltaico, o qual, segundo Barros (2011), ocorre em materiais semicondutores como o silício, caracterizados por possuírem uma banda de energia onde é permitida a presença de elétrons, e outra vazia de condução, ou seja, conversão de luz solar por meio da radiação em energia elétrica, como representado na Figura 1.

Figura 1- Funcionamento de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Reyes; Ferrufino e Álvarez (2018).

A crescente produção de carne, ovos e leite tem se intensificado ultimamente no mundo. Animais que antes eram criados em extensivas áreas tiveram seu espaço reduzido, sendo criados sob confinamento. Neste último cenário, vários fatores podem ser considerados neste sistema de produção, incluindo o aumento da demanda energética, devido às necessidades que devem ser atendidas quanto ao conforto térmico animal. Por um lado, o calor e as frequentes mudanças de temperatura estão entre as principais causas de queda de produção ou mesmo perda de animais, como na avicultura. Por outro lado, a manutenção de condições térmicas ideais exige do produtor um custo energético elevado (DAMASCENO et al., 2020).

Nesse sentido, uma alternativa para que os produtores possam lidar com essas adversidades seria quanto sua adesão ao uso de placas solares fotovoltaicas na propriedade, o que permitiria ao produtor manter seu alto gasto energético economizando no valor pago mensalmente às redes distribuidoras de energia.

De acordo com a Resolução Normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pessoas físicas (CPF) ou jurídicas (CNPJ) foram autorizadas a instalar micro ou minigeradores para produção de energia elétrica para atendimento da demanda de consumo residenciais ou comerciais, os quais são conectados à rede pública, e funcionam através de um sistema de compensação de energia. Segundo a ANNEEL (2012), esse sistema de compensação refere-se à troca da energia produzida pelo sistema fotovoltaico pela energia da rede elétrica, e seu funcionamento consiste na introdução da energia excedente produzida pelo consumidor na rede distribuidora local, como um empréstimo. Esta retorna ao consumidor em formato de créditos energéticos, que são usados para abater a energia consumida da rede, quando não há geração de energia pelo sistema fotovoltaico. Uma das vantagens é que se pode utilizar os créditos gerados para abatimento do consumo de energia de outros imóveis de mesma titularidade da unidade geradora da energia solar, as quais devem ser atendidas pela mesma rede distribuidora.

Em geral, as placas fotovoltaicas são instaladas em telhados de casas, edifícios e galpões para aproveitamento do espaço exigido pela instalação. Entretanto, também têm sido utilizadas em estacionamentos e calçadas para fornecimento de sombra e consequente melhoria do ambiente térmico local, uma vez que absorve a radiação e a converte em energia elétrica, ao invés de permitir que ela seja transmitida através da superfície sobreposta, na forma de calor. Ou seja, acredita-se que sua utilização melhora o conforto térmico bem como a resiliência ao calor (HATVANI-KOVACS et al., 2018).

Nesse sentido, foram encontrados alguns trabalhos na literatura, como o de Masson et al. (2014), que mostraram que os painéis solares, ao sombrear os telhados, no verão de Paris, além de diminuir a energia necessária para o ar-condicionado (em 12%) também reduziram a ilha de calor urbano (Urban Heat Island (UHI)) em 1°C por dia e até 0,2°C à noite. Por outro lado, Pham et al. (2019), quantificaram a diferença do fluxo total de calor sensível de uma estrutura de sombra composta por placas fotovoltaicas, placas refletivas e um pavimento asfaltado sem sombra, verificando que o fluxo de calor sensível foi maior sob as estruturas das placas fotovoltaicas do que o asfalto sem sombra. Entretanto, neste mesmo estudo, os pesquisadores destacam os benefícios do conforto térmico de uma estrutura sombreada a partir

de placas fotovoltaicas, os quais podem ser incluídos na avaliação dos planos da política de mitigação de calor urbano.

Já Middel et al. (2016), avaliaram o impacto de sombras oriundas de placas solares comparadas ao de árvores em um calçadão da Universidade de Tempe, no estado do Arizona, encontrando redução nos votos de sensação térmica, apesar de o tipo de sombra não ter sido significativo. Pode-se observar por meio destes trabalhos que, embora tenham sido relatados resultados positivos em relação a melhora do conforto térmico e resiliência ao calor, novas investigações a cerca desse tema ainda devem ser realizadas.

2.5 Geoestatística aplicada à avaliação do ambiente de produção

De acordo com Curi et al. (2017); Damasceno et al. (2018) e Ferraz et al. (2017), a Geoestatística é uma ferramenta que permite o estudo dos fenômenos naturais, os quais são capazes de variar no espaço e apresentar correlação, expressos pela dependência espacial (CARVALHO et al., 2012). Neste sentido, a visualização da variabilidade dos atributos do microclima no interior de uma instalação de bovinos pode ser melhor visualizada no espaço e tempo, podendo, portanto, ser uma ferramenta muito útil para o planejamento, verificação e controle das informações do ambiente produtivo, além de indicar possíveis zonas de estresse térmico em seu interior para que medidas cabíveis sejam rapidamente tomadas (FARIA et al., 2008; MIRAGLIOTTA et al., 2006). Além disso, segundo Vieira (2000), a geoestatística possibilita a interpolação de dados por meio da krigagem, sendo capaz de fornecer mapas de isolinhas precisos.

Nesse sentido, vários trabalhos foram realizados a fim de se obter respostas do ambiente térmico e microclima das instalações de bovinos de leite por meio da obtenção de parâmetros e índices térmicos. Faria et al. (2008) avaliaram a variabilidade espacial do microclima de um galpão Free-Stall convencional através de uma malha de 152 pontos espaçados a cada 2 metros, identificando que o sistema de climatização não era eficiente ao ponto de garantir a homogeneização do ambiente térmico do galpão. Já Silva et al. (2012) caracterizaram a variabilidade espacial da temperatura do ar de uma sala de pré-ordenha, registrando a temperatura em 45 pontos, os quais foram especializados na forma de malha a cada 1 metro. Os autores verificaram áreas específicas em que a temperatura do ar estava fora dos limites recomendados para o conforto térmico.

Oliveira et al. (2016) verificaram o conforto térmico e níveis de ruído por meio da técnica de geoestatística em duas fazendas em Minas Gerais, avaliando-se três diferentes

instalações CB com diferentes sistemas de ventilação, sendo elas ventilação natural, ventilação mecânica de baixo volume e alta rotação (LVHS), ventilação mecânica de alto volume e baixa rotação (HVLS) e ventilação natural. Neste estudo obtiveram o ITU e ruído, e evidenciaram a ocorrência de forte dependência espacial para ambas variáveis e instalações, observando-se níveis mais elevados de ITU na instalação com ventilação natural, ao passo que os níveis mais elevados de ruído foram verificados para a instalação com ventilação do tipo LVHS. Constataram ainda que a instalação com ventilação do tipo HVLS apresentou baixa variabilidade espacial.

Em outro trabalho, Oliveira et al. (2019) também verificaram a distribuição espacial do ITU em três instalações do tipo CB sob três diferentes sistemas de ventilação: ventilação natural, ventilação mecânica de baixo volume e alta rotação (LVHS) e ventilação mecânica de alto volume e baixa rotação (HVLS), os quais demonstraram a dependência espacial do ITU em função da ventilação, ou seja, verificaram maiores valores de ITU no interior da instalação com ventilação natural, enquanto os menores valores foram verificados nas extremidades. Já na instalação com ventilação do tipo LVHS, a distribuição espacial apresentou os maiores valores do ITU nas extremidades da instalação, havendo pouca variação na distribuição dos valores do ITU com a ventilação do tipo HVLS.

Mota, Andrade e Leite (2019) utilizaram a geoestatística para encontrar os pontos críticos do interior de uma instalação CB durante o inverno e verão de 2016, determinando-se o ITU, ITGU, CTR e entalpia (h), concluindo-se que os mapas dos índices estimados permitiram visualizar a condição do ambiente interno da instalação, apresentando os pontos específicos de desconforto dos animais. Estes resultados e conclusões corroboram com os encontrados por Damasceno et al. (2019), os quais também verificaram pontos específicos de desconforto para vacas leiteiras.

Andrade et al. (2022a) também caracterizaram a variabilidade espacial de um galpão CB com sistema de ventilação negativa durante o inverno e verão na região da Zona da Mata em Minas Gerais, mensurando-se temperatura, UR, velocidade do vento, ITU e entalpia (h). Os mapas de krigagem gerados mostraram os pontos de conforto mais crítico em função do layout e sistema de ventilação, os quais detectaram, ainda, desconforto térmico durante os períodos mais quentes no verão. Já Oliveira et al. (2022) verificaram condições de conforto térmico para os bovinos alojados ao caracterizaram a dependência e distribuição espacial e temporal dos parâmetros temperatura de bulbo seco e UR e os índices ITU e entalpia (h) em quatro períodos específicos dos dias em uma instalação CB em Minas Gerais.

Peixoto et al. (2019), avaliaram o comportamento de vacas leiteiras submetidas às variações da temperatura da cama de um sistema CB nas estações seca e chuvosa, no semiárido brasileiro, utilizando a geoestatística. Por meio da coleta de dados fisiológicos, variáveis ambientais e comportamentais dos animais, verificaram que as condições ambientais durante o período seco proporcionam maior desconforto às vacas em lactação, o que resultou em uma maior exigência da fisiologia da termorregulação desses animais e condições desfavoráveis da temperatura no leito nas instalações em relação ao período chuvoso. Além disso, esses autores concluíram que o uso da geoestatística provou ser uma técnica eficiente para analisar a variabilidade das condições de temperatura da cama no interior das instalações, sugerindo à comunidade científica estudos adicionais sobre o uso da termografia infravermelha como ferramenta de coleta de temperatura na superfície de camas de instalações do tipo CB.

Outros pesquisadores, como Oliveira et al. (2021), utilizaram a técnica da geoestatística para avaliação das principais variáveis da cama (temperatura, umidade e pH) de um galpão CB, coletando os dados nas camadas super e subsuperficiais. Eles observaram forte dependência espacial para a umidade superficial e pH sub e superficiais. Já a umidade subsuperficial apresentou fraca dependência. Além disso, os pesquisadores concluíram que os mapas de distribuição espacial das variáveis da superfície da cama apresentaram bons níveis de temperatura e umidade, indicando condições adequadas de conforto para que os animais permaneçam deitados sobre a mesma. Andrade et al. (2022b) também utilizaram a geoestatística para caracterização da cama de um galpão CB (temperatura, umidade e pH). Estes avaliaram e compararam a distribuição espacial das com sistema de ventilação de túnel negativo nos períodos de verão e inverno em Minas Gerais. Os pesquisadores constaram pela técnica dependência espacial e não uniformidade da distribuição espacial das variáveis, encontrando os piores níveis de temperatura e umidade nas regiões próximas à placa de resfriamento evaporativo, no entorno da ala de alimentação e na região de maior lotação bovina.

Pode-se observar sobre os diferentes trabalhos aqui apresentados o quanto a técnica da geoestatística reproduz com facilidade a distribuição espacial das mais diferentes variáveis e índices que informam diretamente sobre o ambiente térmico e microclima das instalações e indiretamente sobre o comportamento e bem-estar dos animais. Neste sentido, pode-se inferir que a simulação computacional juntamente com as metodologias desenvolvidas é capaz de reduzir o número de experimentos no campo e ainda destacar os locais exatos das zonas críticas no interior da instalação, possibilitando que alguma intervenção humana possa ser tomada com maior acurácia e segurança, ou seja, a técnica representa além disso tudo um grande recurso para elucidação de falhas nas instalações e equipamentos de climatização.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bovinocultura de leite é uma atividade de extrema importância para o Brasil, sendo um dos setores mais relevantes da agropecuária nacional. Esse destaque não se justifica apenas pela relevância econômica, mas também pela sua importância na alimentação da população brasileira e abastecimento do mercado interno e externo. No Brasil é formada predominantemente por pequenos e médios produtores, sob sistemas de criação extensivo e com índices relativamente baixos de produtividade em relação aos índices mundiais. Entretanto, observa-se uma modernização gradual ao longo dos anos por meio da adoção de sistemas de criação intensivo, destacando-se as instalações Compost Barn e melhorias aportadas por meio de tecnologias de produção, as quais incluem as instalações, a genética, nutrição, sistemas de ambientação e técnicas de manejo, capazes de oferecer maior conforto, bem-estar e consequentemente melhor desempenho animal.

Neste sentido, embora a adesão aos sistemas tecnificados de confinamento exija um investimento relativamente alto, pode-se destacar vários pontos positivos como o aumento da produtividade, maior eficiência alimentar, melhoria na qualidade do leite, redução dos impactos ambientais e geração direta e indireta de emprego e renda. Porém, para que esses pontos positivos de fato se concretizem, observa-se a necessidade de investimentos em pesquisas e capacitação técnica, com vistas a investigar minuciosamente todas as etapas e fatores envolvidos nos sistemas de criação. Por exemplo, em galpões Compost Barn, ainda se estuda quais os melhores materiais para composição da cama a serem utilizados em termos químicos, físicos e biológicos. Aliado a isso, estudos voltados para sua utilização em termos de custos econômicos e disponibilidade local. E ainda, busca por técnicas ou manejos que proporcionem um melhor produto acabado que irá contribuir para uma maior fonte de renda ao produtor e ao mesmo tempo oferecer maior conforto aos animais. Tudo isso, considerando-se que em cada região do mundo naturalmente existe uma climatologia diferente, a qual implicará diretamente em maior ou menor grau na concepção do projeto, escolha dos materiais e técnicas de manejo adotadas.

Ainda sob essa perspectiva e sabendo-se que os animais são criados nestas instalações, outros fatores devem localmente ser estudados e avaliados para melhorias e manutenção do bom desempenho animal, como por exemplo, a escolha dos sistemas de climatização a serem utilizados, os quais serão capazes de controlar as taxas de trocas de calor dos animais e circulação de gases do ambiente. Neste sentido, vale ressaltar ainda, a escolha ideal desses sistemas aliados à economia de recursos envolvidos em sua utilização, como no caso da

utilização de sistemas fotovoltaicos sobre telhados, que poderão eventualmente, direta ou indiretamente, impactar positivamente no microclima da instalação, já que em termos de sustentabilidade a sua utilização já se justifica. Este fato, aliado à grande adesão desses sistemas por parte dos produtores rurais nos últimos anos justificam a necessidade de estudos capazes de elucidar tais questionamentos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acessado em: 19 agosto 2021.

AKDENIZ, N. A systematic review of biochar use in animal waste composting. **Waste Management**, v. 88, p. 291-300, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.054>.

ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, G. Uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça Girolando. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 754-760, 2011.

ANDRADE, R, TINÔCO, I. F. F.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, G. S.; FREITAS, L. C. S. R.; FERREIRA, C. F.; BARBARI, M.; TELES JUNIOR, C. G. S. Spatial analysis of microclimatic variables in compost-bedded pack barn with evaporative tunnel cooling. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 94, n. 3, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220210226>.

ANDRADE, R. R.; TINÔCO, I. F. F.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, G.; FREITAS, L. C. D. S. R.; FERREIRA, C. F. S.; BARBARI, M.; BAPTISTA, F. J. F.; COELHO, D. J. R. Spatial distribution of bed variables, animal welfare indicators, and milk production in a closed compost-bedded pack barn with a negative tunnel ventilation system. **Journal of Thermal Biology**, v. 105, p. 103-111. 2022b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103111>.

ANEJA, V. P.; BLUNDEN, J.; JAMES, K.; SCHLESINGER, W. H.; KNIGHTON, R.; GILLIAM, W.; JENNINGS, G.; NIYOGI, D.; COLE, S. Ammonia Assessment from Agriculture: U. S. Status and Needs. **Journal of Environmental Quality**, v. 37, n. 2, p. 515-520, 2008. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0002in>

ARAUJO, J. I. M; ARAÚJO, A. C.; FONSECA, W. J. L.; BARROS JÚNIOR, C. P.; LUZ, C. S. M.; ARAÚJOS, J. M.; FARIA, L. A.; SOUSA JÚNIOR, S. C. S. Efeitos das variáveis climáticas sobre características fisiológicas de vacas mestiças (Holandês x Gir) em lactação. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v.14, p.185-193, 2016.

ASSIS, A. G.; STOCK, L. A.; CAMPOS, O. F.; GOMES, A. T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M. R. **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. 6p. (Circular Técnica 85).

ÁVILA, A. S.; JÁCOME, I. M. T. D.; FACCENDA, A.; PANAZZOLO, D. M.; MÜLLER, E. R. Avaliação e correlação de parâmetros fisiológicos e índices bioclimáticos de vacas holandês em diferentes estações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.14, n.14, p. 2878-2884, 2013.

AWASTHI, M. K.; DUAN, Y. M.; AWASTHI, S. K.; LIU, T.; ZHANG, Z. Q. Effect of biochar and bacterial inoculum additions on cow dung composting. **Bioresource Technology**, v. 297, p.1-44, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122407>.

BAÊTA, F. C. **Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season**. Tese (Ph.D.) - University of Missouri, Columbia, 1985. 218p.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais – Conforto animal**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010. 246p.

BARBERG, A. E.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Compost dairy barns in Minnesota: A descriptive study. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 23, n. 2, p. 231-238, 2007a.

BARBERG, A. E., ENDRES, M. I.; SALFER, J. A.; RENEAU, J. K. Performance and welfare of dairy cows in an alternative housing system in Minnesota. **Journal of Dairy Science**, v. 90, N. 3, p. 1575-1583, 2007b.

BARBOSA, E. J.; SILVA, J. O.; MELO, M. C. Levantamento dos galpões de Compost Barn na microrregião do Alto Paranaíba, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Gestão e Engenharia**, v. 13, p. 1-24, 2022.

BARNABÉ, J. M. C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C.; JACOB, A. L. Temperatura superficial de materiais utilizados para cobertura individual de bezerreiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, p.545-550, 2014.

BARROS, H. A. **Anteprojeto de um sistema de 12KWp conectado à rede**. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ/Escola Politécnica, 2011.

BERRY, I. L.; SHANKLIN, M. D.; JOHNSON, H. D. Dairy Shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. **Transactions - American Society of Agricultural Engineers**, n. 7, p. 329-331, 1964.

BEWLEY, J. M.; ROBERTSON, L. M.; ECKELKAMP, E.A. A 100-year review: lactating dairy cattle housing management. **Journal of Dairy Science**, v. 12, p. 10418-10431, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13251>.

BEWLEY, J. M.; TARABA, J. L.; MCFARLAND, D.; GARRETT, P.; GRAVES, R.; HOLMES, B.; KAMMEL, D.; PORTER, J.; TYSON, J.; WEEKS, S.; WRIGHT, P. Guidelines for managing compost bedded-pack barns. **The Dairy Practices Council**, 2013.

BEWLEY, J.M.; TARABA, J.L.; DAY, G.B.; BLACK, R.A.; DAMASCENO, F. A Virtual Guide to Compost bedded pack barn design features and management considerations.

Cooperative Extension Service, University of Kentucky College of Agriculture, Lexington KY, 2012, 150p.

BIASATO, I.; D'ANGELO, A. BERTONE, I.; ODORE, R; BELLINO, C. Compost bedded-pack barn as an alternative housing system for dairy cattle in Italy: effects on animal health and welfare and milk and milk product quality. **Italian Journal of Animal Science**. v. 18, n. 1, p. 1142-1153, 2019.

BLACK, R. A.; TARABA, J. L.; DAY, G. B.; DAMASCENO, F. A.; BEWLEY, J. M. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. **Journal Dairy Science**., v. 96, p. 8060–8074, 2013.

BLACK, R. A.; TARABA, J. L.; DAY, G. B.; DAMASCENO, F. A.; NEWMAN, M. C.; AKERS, K. A.; WOOD, C. L.; MCQUERRY, K. J.; BEWLEY, J. M. The relationship between compost bedded pack performance, management, and bacterial counts. **Journal Dairy Science**, v. 97, p. 2669-2679, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6779>.

BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J. B. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 1947-1956, 2007.

BRANDÃO, V. S. **Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando-se filtros orgânicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999. 65p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 46, de outubro de 2011**/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2011. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4399607/mod_resource/content/1/Instru%C3%A7%C3%A3oNormativa_SistemasOrg%C3%A2nicos.pdf. Acesso em: 15 jun. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Valor Bruto da Produção Agropecuária**/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/vbp-e-estimado-em-r-689-97-bilhoes-para-2020/202003VBPelaspeyresagropecuariapdf.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2020.

BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 24 n. 3, p. 711-714, 1981. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.3432>.

BURGESS, R. P.; CAREY, J. B.; SHAFER, D. J. The impact of pH on nitrogen retention in laboratory analysis of broiler litter. **Poultry Science**, v.77, p.1620-1622, 1998.

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T. **Construções para gado de leite: instalações para novilhas**. 2006. 10p.

CARVALHO, T. M. R.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M.; SOURA, G. S.; BUENO, L. G. B.; LIMA, K. A. O. Use of geostatistics on broiler production for evaluation of different

minimum ventilation systems during brooding phase. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 41, n. 1, p. 194-202, 2012.

CHEN, L.; TUBAIL, K.; KOST, D.; DICK, W. A. Effects of gypsum enhanced composts on yields and mineral compositions of broccoli and tall fescue. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 7, p. 1040-1055, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904161003728701>.

CIGR - COMMISSION INTERNATIONALE DU GENIE RURAL. Climatization of animal houses. 1st Report of Working Group. Aberdeen: Scottish Farm Buildings Investigation Unit, 1984. 56p.

CONAB; SEAPA. **Café do Brasil produção do Estado de Minas Gerais**. 2019. 13p.

COSTA, F. M. S. **Compostagem e potencial de uso como fertilizante do lodo de tratamento de efluente de indústria de carne avícola**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016. 69p.

COTTA, J. A. O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. S.; REZENDE, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 20, p. 65-78, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864>.

CURI, T. M. R.C.; CONTI, D.; VERCELLINO, R. D. A.; MASSARI, J. M.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Positioning of sensors for control of ventilation systems in broiler houses: a case study. **Scientia Agricola**, v. 74, p. 101-109, 2017.

DALCIN, V. C. **Parâmetros fisiológicos em bovinos leiteiros submetidos ao estresse térmico**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. 49p.

DAMASCENO, F. A. **Compost bedded pack barns system and computational simulation of airflow thorough naturally ventilated reduced model**. Tese (Engineering's Graduate Program) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012, 391p.

DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, G. A. S.; OLIVEIRA, C. E. A.; SARAZ, J. A. O.; BRANDÃO, L. F. Study the spatial variability of the noise levels inside two commercial poultry housing with different adiabatic evaporative cooling systems. **Dyna**, v.85, p. 9-15, 2018.

DAMASCENO, F. A.; OLIVEIRA, C. E. A., FERRAZ, G. A. S.; NASCIMENTO, J. A. C.; BARBARI, M.; FERRAZ, P. F. P. Spatial distribution of thermal variables, acoustics and lighting in compost dairy barn with climate control system. **Agronomy Research**, v. 17, p. 385-395, 2019.

DAMASCENO, F. A.; BRANDÃO, L.; FERRAZ, G.; BARBARI, M.; LESO, L.; MONGE, J.; PANTOJA, J.; FERREIRA, R.; FAGUNDES, B.; LOPES, M. **Compost Barn como alternativa para a pecuária leiteira**. 1 ed. Gulliver, 2020, 396p.

DIKMEN, S.; LARSON, C. C.; VRIES, A.; HANSEN, P. J. Effectiveness of tunnel ventilation as dairy cow housing in hot climates: rectal temperatures during heat stress and

seasonal variation in milk yield. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, p. 2687-2693, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02309-3>.

EC DIRECTIVE 2001/81/EC of the European parliament and of the council. Official **Journal of the European Union**, L309, p. 22-30, 2001.

ECKELKAMP, E. A.; GRAVATTE, C. N.; COOMBS, C. O.; BEWLEY, J. M. Case study: Characterization of lying behavior in Dairy cows transitioning from a freestall barn with pasture access to a compost bedded pack barn without pasture access. **The Professional Animal Scientist**, v. 30, p. 109-113, 2014.

ECKELKAMP, E.A.; TARABA, J.L.; AKERS, K.A.; HARMON, R.J.; BEWLEY, J.M. Sand bedded freestall and compost bedded pack effects on cow hygiene, locomotion, and mastitis indicators, **Livestock Science**, v. 190, p. 48-57, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.06.004>.

EDUARD, W.; PEARCE, N.; DOUWES, J. Chronic bronchitis, COPD, and lung function in farmers: the role of biological agents. **Chest**, v. 136, n. 3, p. 716-725, 2009.

EL-HADDAD, M. E.; ZAYED, M. S.; EL-SAYED, G. A. M.; HASSANEIN, M. K.; EL-SATAR, A. M. A. Evaluation of compost, vermicompost and their teas produced from rice straw as affected by addition of different supplements. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, p. 243-251, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.11.013>.

EMBRAPA. **Anuário Leiteiro 2021**. Edição Digital embrapa.br/gado-de-leite, 2021. 53p.

ERISMAN, J. W.; SUTTON, M. A.; GALLOWAY, J.; KLIMONT, Z.; WINIWARTER, W. How a century of ammonia synthesis changed the world. **Nature Geoscience**, v. 1, p. 636-639, 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO STAT - Livestock Primary**. Roma, Italy, 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 28 mar. 2022.

FARIA, F. F.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M. D.; MATARAZZO, S.V. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2498-2505, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000900013>.

FARM ANIMAL WELFARE COUNCIL (FAWC). **FAWC updates the five freedoms**. Veterinary Records, p. 131-357, 1992.

FÁVERO, S.; PORTILHO, F. V. R.; OLIVEIRA, A. C. R.; LANGONI, H.; PANTOJA, J. C. F. Factors associated with mastitis epidemiologic indexes, animal hygiene, and bulk milk bacterial concentrations in dairy herds housed on compost bedding. **Livestock Science**, v. 181, p. 220-230, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.002>

FEBRISANTOSA, A.; RAVINDRAN, B.; CHOI, H. L. The effect of co-additives (Biochar and FGD Gypsum) on ammonia volatilization during the composting of livestock waste. **Sustainability**, v. 10, n. 795, p.1-18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030795>.

- FERRAZ, P.F.P.; YANAGI JUNIOR, T.; FERRAZ, G.A.S.; DAMASCENO, F.A. Distribuição espacial do índice de temperatura do globo e umidade em galpão de frangos na primeira semana de vida aquecido por fornalha industrial. **Energia na Agricultura**, v. 32, p. 356-363, 2017.
- FERRAZ, P. F. P; FERRAZ, G. A. S. F.; LESO, L.; KLOPIC, M.; ROSSI, G.; BARBARI, M. Evaluation of the physical properties of bedding materials for dairy cattle using fuzzy clustering analysis. **Animals**, v. 10, p. 351, 2020a.
- FERRAZ, P. F. P.; FERRAZ, G. A. S.; LESO, L.; KLOPCIC, M.; BARBARI, M.; ROSSI, G. Properties of conventional and alternative bedding materials for dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 103, p. 1-14, 2020b.
- FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente: Para aves, suínos e bovinos**. 3 ed. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2016. 371 p.
- IORELLI, J.; SCHMIDT, R.; KAWABATA, C. Y.; OLIVEIRA, C. E. L.; SAVASTANO JUNIOR, H.; ROSSIGNOLO, J. A. Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e à sombra. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.1, p.64-67, 2012.
- FRIGERI, K. D. M.; DENIZ, M.; DAMASCENO, F. A.; BARBARI, M.; HERBUT, P.; VIEIRA, F. M. C. Effect of heat stress on the behavior of lactating cows housed in Compost Barns: A systematic review. **Applied of Sciences**, v. 13, p. 2044, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13042044>.
- GABHANE, J.; WILLIAM, SPM. P.; BIDYADHAR, R.; BHILAWA, P.; ANAND, D.; VAIDYA, A. N.; WATE, S. R. Additives aided composting of green waste: effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 382-388, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.040>.
- GAJALAKSHMI, S.; ABBASI, S. A. Solid waste management by composting: stage of the art. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 38, p. 311-400, 2008.
- GALAMA, P. **Prospects for bedded pack barns for dairy cattle**. Lelystad, The Netherlands: Wageningen UR Livestock Research, 2011. 33p.
- GALAMA, P. J. **On farm development of bedded pack dairy barns in The Netherlands**. Wageningen UR Livestock Research, 2014. 35p.
- GARCIA, J.; BENNETT, D. H.; TANCREDI, D.; SCHENKER, M. B.; MITCHELL, D.; REYNOLDS, S. J.; MITLOEHNER, F. M. Occupational exposure to particulate matter and endotoxin for California dairy workers. **International Journal Hygiene and Environmental Health**, v. 216, n. 1, p. 56-62, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.04.001>.
- GLÓRIA, N. A.; BARRETTO, M. C. V.; MORAES, C. J.; MATTIAZZO, M. E. Avaliação do gesso e de alguns fosfatos como inibidores da volatilização de amônia de esterco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.297-301, 1991.

GÓMEZ, R. B.; FERRER, A. S. The use of respiration indices in the composting process: A review. **Wast Management e Reserarch**, v. 24, n. 1, p. 37-47, 2006.

GONÇALVES, I.; TURCO, S. H. N.; RAMOS, C. Spatial variability of air temperature in a free-stall in the Northeastern semi-arid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 67-71, 2016.

GOYAL, S.; DHULL, S. K.; KAPOOR, K. K. Chemical and biological changes during composting of diferente organic wastes and assessment of compost maurity. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 14, p. 1584-1581, 2005.

HANDRECK, K. A. Particle size and the physical properties of growing media for containers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 14, p. 209-222, 1983.

HANAJIMA, D.; KURODA, K.; MORISHITA, K.; FUJITA, J.; MAEDA, K.; MORIOKA, R. Key odor components responsible for the impact on olfactory sense during swine feces composting. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 2306-2310, 2010.

HASSEN, A.; BELGUITH, K.; JEDIDI, N.; CHERIF, A.; CHERIF, M.; BOUDABOUS, A. Microbial characterization during coposting of municipal solid waste. **Bioresource Technology**, v. 80, n. 3, p. 217-225, 2001.

HATVANI-KOVACS, G.; BUSH, J.; SHARIFI, E.; BOLAND, J. Policy recommendations to increase urban heat stress resilience. **Urban Climate**, v. 25, p. 51-63, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.05.001>.

HEIDARZADEH, M. H.; AMANI, H.; JAVADIAN, B. Improving municipal solid waste compost process by cycle time reduction through inoculation of *Aspergillus niger*. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 17, p. 295-303, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00348-z>.

HERBUT, P.; ANGRECKA, S.; WALCZAK, J. Environmental parameters to assessing of heatstress in dairy cattle - a review. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 12, p. 2089-2097, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Pecuária Municipal 2020**. 2021. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2020_v48_br_informativo.pdf. Acesso em: 22 de jul. de 2022.

ISHIMURA, I.; YAMAMOTO, S. M.; SANTOS, C.; OLIVEIRA, M. A. Olericultura orgânica: compostagem. São Paulo: SENAR, 2006. 4p.

JÁCOME, I. M. T. D.; FURTADO, D. A.; LEAL, A. F.; SILVA, J. H. V.; MOURA, J. F. P. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.527-531, 2007.

JANNI, K. A.; ENDRES, M. I.; RENEAU, J. K.; SCHOPER, W. W. Compost dairy barn layout and management recommendations. **American Society of Agricultural and Biological Engineer**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2007. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.22333>.

JARDIM, C. S.; SALAMONI, I.; RUTHER, R.; KNOB, P.; DINIZ, A. S. C. **O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Interligados a Redes Elétricas em Áreas Urbanas: Dois Estudos de Caso.** *In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL*, n. 5., 2004, Campinas.

Disponível em:

http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000200029&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 23 set. 2021.

JIANG, J. S.; LIU, X. L.; HUANG, Y. M.; HUANG, H. Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. **Waste Management**, v. 39, p. 78-85, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.025>.

JIANGANG, L.; DMITRI, V.; DONG, M. Y. Effect of rock dust-amended compost on the soil properties, soil microbial activity, and fruit production in an apple orchard from the Jiangsu province of China. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 10, p. 1313-1326, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1795136>.

JOHNSON, H. D. **Bioclimate effects on growth reproduction and milk production.** *In: Bioclimatology and the adaptation of livestock.* Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 1987.

JURADO, M. M.; SU'AREZ-ESTRELLA, F.; VARGAS-GARCÍA, M. C.; L'OPEZ, M. J.; L'OPEZ-GONZ'ALEZ, J. A.; MORENO, J., Increasing native microbiota in lignocellulosic waste composting: effects on process efficiency and final product maturity. **Process Biochemistry**, v. 49, p. 1958-1969, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.08.003>.

JUSOH, M. L. C; MANAF, L. A.; LATIFF, P. A. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. **Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering**, v. 10, p. 1-17. 2013.

KARAK, T.; BHATTACHATYIA, P.; PAUL, R. K.; DAS, T.; SAHA, S. K. Evaluation of composts from agricultural wastes with fish pond sediment as bulking agent to improve compost quality. **Clean Soil Air Water**, v, 41, p. 711-723, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201200142>.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E. J. Preparo do composto na fazenda. **Casa da Agricultura**, v. 3, n. 3, p.6-9, 1981.

KIEHL, J. E. **Manual de compostagem: Maturação e Qualidade do composto.** 3 ed. Piracicaba: Edição do autor, 2002. 171p.

KIM, Y. J.; CHOO, B. K.; CHO, J. Y. Effect of gypsum and rice straw compost application on improvements of soil quality during desalination of reclaimed coastal tideland soils: Ten years of long-term experiments. **Catena**, v. 156, p. 131-138, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.008>.

KIRKHORN, S. R.; GARRY, V.F. Agricultural lung diseases. **Environmental Health Perspectives**, v. 108, p. 705-712, 2000.

KLAAS, I. C.; BJERG, B. S.; FRIEDMANN, S.; BAR, D. Cultivated barns for dairy cows: An option to promote cattle welfare and environmental protection in Denmark. **Dansk Veterinaertidsskrift**, v. 93, n. 9, p. 20-29, 2010.

LALONI, L. A. **Correção do índice de temperatura equivalente (ETI) para gado leiteiro em regime semi-estabulado**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, 1996. 35p.

LEITE, V. D. **Processo de tratamento anaeróbico de resíduos sólidos urbanos inoculados com lodo de esgoto industrial**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997. 150p.

LESO, L.; UBERTI, M.; MORSHED, W.; BARBARI, M. A survey of Italian compost dairy barns. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 44, n. 3, p. 120-124, 2013.

LESO, L.; CONTI, L.; ROSSI, G.; BARBARI, M. Criteria of design for deconstruction applied to dairy cows housing: A case study in Italy. **Agronomy Research**, v. 16, p. 794-805, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.18.085>.

LESO, L.; BARBARI, M.; LOPES, M. A.; DAMASCENO, F. A.; GALAMA, P.; TARABA, J. L.; KUIPERS, A. Invited review: Compost-bedded pack barns for dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 103, p. 1072-1099, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16864>.

LESO, L.; FERRAZ, P. F. P.; FERRAZ, G. A. S.; ROSSI, G.; BARBARI, M. Factors affecting evaporation of water from cattle bedding materials. **Biosystems Engineering**, v. 205, p. 164-173, 2021.

LI, X.; ZHANG, R.; PANG, Y. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. **Bioresouce Thcnology**, v. 99, p. 359-367, 2008.

LI, R.; WANG, J. J.; ZHANG, Z.; SHEN, F.; ZHANG, G.; QIN, R.; LI, X.; XIAO, R. Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite. **Bioresource Technology**, v. 121, p. 362-368, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.065>.

LI, Y.; LUO, W.; LI, G.; WANG, K.; GONG, X. Performance of phosphogypsum and calcium magnesium phosphate fertilizer for nitrogen conservation in pig manure composting. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 53-59, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.172>.

LI, J.; MAVRODI, D. V.; DONG, Y. Effect of rock dust-amended compost on the soil properties, soil microbial activity, and fruit production in an apple orchard from the Jiangsu province of China. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 10, p. 1313-1326, 2021.

LOPES JUNIOR, J. F.; RAMOS, C. E. C. O.; SANTOS, G. T.; GRANDE, P. A.; DAMASCENO, J. C.; MASSUDA, E. M. Análise das práticas de produtores em sistemas de produção leiteiros e seus resultados na produção e qualidade do leite. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 3, p. 1199-1208, 2012.

LORA, E. E. S.; HADDAD, J. Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais. **Rio de Janeiro: Interciência**, p. 3-10, 2006.

MAIER, R. M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. **Environmental microbiology**. Academic Press, San Diego, 2000. 589p.

MAKAN, A. Windrow co-composting of natural casings waste with sheep manure and dead leaves. **Waste Manage**, v. 42, p. 17-22, 2015.

MASSON, V.; BONHOMME, M.; SALAGNAC J. L.; BRIOTTET, X.; LEMONSU, A. Solar panels reduce both global warming and urban heat island. **Frontiers in Environmental Science**, v. 14, p. 1-10, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00014>.

MATOS, A. T.; VIDIGAL S. M.; SEDIYAMA, M. A. N.; GARCIA, N. C. P.; RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 199-203, 1998.

MAY, S.; ROMBERGER, D.; POOLE, J. Respiratory health effects of large animal farming environments. **Journal of Toxicology and Environmental Health Part B**, v. 15, n. 8, p. 524-541, 2012.

MEDEIROS, B. B. L.; MOURA, D. J.; MASSARI, J. M.; CARVALHO, T. M. R.; MAIA, A. P. A. Uso da geoestatística na avaliação de variáveis ambientais em galpão de suínos criados em sistema “wean to finish” na fase de terminação. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 800-811, 2014.

MEGONIGAL, J. P.; HINES, M. E.; VISSCHER, P. T. **Anaerobic metabolism: linkages no trace gases and anarobic processes in schlesinger**. Elsevier-Pergamon, Oxford, UK, 2004. 108p.

MERCKEL, A. J. **Managing livestock wastyes**. Wesport: Avi Publishing Company, 1981. 419p.

MIDDEL, A.; SELOVER, N.; HAGEN, B.; CHHETRI, N. Impact of shade on outdoor thermal comfort a seasonal field study in Tempe, Arizona. **International Journal Biometeorological**, v. 60, p. 1849-1861, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1172-5>.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho (NR-15): Atividades e Operações Insalubres**. Portaria nº 3.214 de jul. 1978, revisão de alteração da legislação Portaria nº 06, Brasília, 1983.

MIRAGLIOTTA, M. Y.; NÃÃS, I. D. A.; MANZIONE, R. L.; NASCIMENTO, F. F. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation. **Scientia Agrícola**, v. 63, p. 426-432, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/s010390162006000500002>.

MOTA, V. C.; ANDRADE, E. T.; LEITE, D. F. Caracterização da variabilidade espacial dos índices de conforto animal em sistemas de confinamento *Compost Barn*. **Pubvet**, v.13, p.1-14. 2019. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n3a276>.

MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A. Avaliação da eficiência térmica de instalações avícolas sombreadas e ventiladas artificialmente, em diferentes orientações no período de verão. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.1, n.3, p.167-174, 2000.

NAIR, J.; OKAMITSU, K. Microbial inoculants for small scale composting of putrescible kitchen wastes. **Waste Management**, v. 30, p. 977-982. 2010.

NAKASAKI, K.; ARAYA, S.; MIMOTO, H. Inoculation of *Pichia kudriavzevii* RB1 degrades the organic acids present in raw compost material and accelerates composting. **Bioresource Technology**, v. 144, p. 521-528, 2013.

NAUJOKIENE, V.; BAGDONIENÉ, I.; BLEIZGAYS, R.; RUBEŽIUS, M. A biotreatment effect on dynamics of cattle manure composition and reduction of ammonia emissions from agriculture. **Agriculture**, v. 11, n. 303, p. 1-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11040303>.

NAVARINI, F. C.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. A.; ALMEIDA, C. P. Conforto térmico de bovinos da raça Nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pasto sol. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 508-517, 2009.

NEIVA, J. N. M.; TEIXEIRA, M.; TURCO, S. H. N.; OLIVEIRA, S. M. P.; MOURA, A. A. A. N. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santa Inês mantidos em confinamento na região litorânea do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 3, p. 668-678, 2004.

NEME, R.; SAKOMURA, N. K.; OLIVEIRA, M. D. S. Efeito da adição do gesso agrícola em três tipos de cama de aviário na fixação do nitrogênio e desempenho de frangos de corte. **Ciência Rural**, v. 30, p. 687-692, 2000.

NI, J. Q.; CORTUS, E. L.; HEBER, A. J. Improving Ammonia Emission Modeling and Inventories by Data Mining and Intelligent Interpretation of the National Air Emission Monitoring Study Database. **Atmosphere**, v. 2, p. 110-128, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos2020110>.

NORTHEAST REGIONAL AGRICULTURAL ENGINEERING SERVICE (NARAES) On farm Composting Handbook. **Wast Management Publications**, 1992.

OHTAKI, A.; AKAKURA, N.; NAKASAKI, K. Effects of temperature and inoculums on the degradability of poly-ε-caprolactone during composting. **Polymer Degradation and Stability**, v. 62, p. 279-284, 1998.

OLIVEIRA, M. F. **Identificação e caracterização de actinomicetos isolados de processo de compostagem**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre, 2003. 140p.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Curso de Solos e Nutrição de Plantas. USP, Piracicaba, 2008.

OLIVEIRA, A. L. M.; COSTA, K. R.; FERREIRA, D. C.; MILANI, K. M. L.; SANTOS, O. J. A. P.; SILVA, M. B.; ZULUAGA, M. Y. A. Biodiversity of soil bacteria and its applications for a sustainable agriculture. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, p. 56-77, 2014.

OLIVEIRA, C. E. A.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, G. A. S.; NASCIMENTO, J. A. C.; SILVA, E.; FERREIRA, M. R. Geoestatística aplicada a distribuição espacial das condições térmicas e ruído em instalações Compost Barn com diferentes sistemas de ventilação. **Ciência et Praxis**, v. 9, n. 18, p. 41-48, 2016.

OLIVEIRA, C. E. A.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, G. A. S.; NASCIMENTO, J. A. C.; VEJA, F. A. O.; TINÔCO, I. F. F.; ANDRADE, R. R. Assessment of spatial variability of bedding variables in compost bedded pack barns with climate control system. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 93, n. 3, p. 1-14, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120200384>

OLIVEIRA, C. E. A.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, P. F. P.; NASCIMENTO, J. A. C.; FERRAZ, G. A. S.; BARBARI, M. Geostatistics applied to evaluation of thermal conditions and noise in compost dairy barns with different ventilation systems. **Agronomy Research**, v. 17, p. 783-796, 2019.

OLIVEIRA, C. E. A.; TINÔCO, I. D. F. F.; DAMASCENO, F. A.; OLIVEIRA, V. C. D.; FERRAZ, G. A. E. S.; SOUSA, F. C. D.; ANDRADE, R. R.; BARBARI, M. Mapping of the thermal microenvironment for dairy cows in an open compost-bedded pack barn system with positive-pressure ventilation. **Animals**, v. 12, n. 16, p. 2055, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12162055>.

ONWOSI, O. C.; IGBOKWE, V. C.; ODIMBA, J. N.; EKE, I. E.; NWANKWOALA, M. O.; IROH, I. N.; EZEUGU, L. I. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects, **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 140-157, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>

OSÓRIO SARAZ, J. A.; FERREIRA TINÔCO, I. F.A; GATES, R. S.; OLIVEIRA DE PAULA, M.; MENDES, L. B. Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities. **Dyna**, v. 80, n. 178, p. 51-60, 2013.

PAN, I.; DAM, B.; SEN, S. K. Composting of common organic wastes using microbial inoculants. **Biotechnology**, v. 2, p. 127-134, 2012.

PARADELO, R.; MOLDES, A. B.; BARRAL, M. T. Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. **Journal Environmental Management**, v. 116, p. 18-26, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.001>.

PASSINI, R.; ARAUJO, M.A.G de.; YASUDA, V.M.; ALMEIDA, E.A. Intervenção ambiental na cobertura e ventilação artificial sobre índices de conforto para aves de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.3, p.333-338, 2013.

PATLE, A. V.; WILLIAMS, P. S. M. P.; GABHANE, J.; DHAR, H.; NAGARNAIK, P. B. Microbial assisted rapid composting of agriculture residues. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 5, n. 5, p. 1097-1099, 2014.

PEIGNE, J.; GIRARDIN, P. Environmental impact of farm-scale composting practices. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 153, p. 45-68, 2004.

PEIXOTO, M. S. M.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; FARIAS MACHADO, N. A.; VIANA, V. D. S. S.; COSTA, J. F. M. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in *Compost Barn* systems. **Biological Rhythm Research**, v. 52, n. 7, p. 1120-1129, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1616904>.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56 p.

PHAM, J. V.; BANIASSADI, A.; BROWN, K. E.; HEUSINGER, J.; SAILOR, D. J. Comparing photovoltaic and reflective shade surfaces in the urban environment: Effects on surface sensible heat flux and pedestrian thermal comfort. **Urban Climate**, v. 29, p. 1-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100500>.

PICCOLO A. In memoriam Prof. F.J. Stevenson and the question of humic substances in soil. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 3, p. 1-3, 2016.

PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C.; RANKRAPE, F.; VISMARA, E. S. Diurnal behaviors and herd characteristics of dairy cows housed in a compost-bedded pack barn system under hot and humid conditions. **Animal**, v. 13, p. 399-406, 2019.

POINCELOT, R. P. The Biochemistry and Methodology of Composting. **Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin**, v. 754, p. 1-18, 1975.

POLSKY, L.; VON KEYSERLINGK, M. A. G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 11, p. 8645-8657, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>.

PORTEJOIE, S.; MARTINEZ, J.; LANDMANN, G. L'ammoniac d'origine agricole: impacts sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel. **Productions Animales**, v. 15, p. 151-160. 2002. DOI: <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2002.15.3.3697>.

RADAVELLI, W. M. **Caracterização do sistema compost barn em regiões subtropicais brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, 2018. 90p.

RAMOS, C. G.; HOWER, J. C.; BLANCO, E.; OLIVEIRA, M. L. S.; THEODORO, S. H. Possibilities of using silicate rock powder: An overview, **Geoscience Frontiers**, v. 13, p. 101185, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101185>.

RASTOGI, M.; NANDAL, M.; KHOSLA, B. Microbes as vital additives for solid waste composting. **Heliyon**, v. 6, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343>.

RAUT, M. P.; PRINCE WILLIAM, S.P.; BHATTACHARYYAM J. K.; CHAKRABARTI, T.; DEVOTTA, S. Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste - A compost maturity analysis perspective. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 6512-6519, 2008.

REIS, L. B.; SILVEIRA, S. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Edusp, 2000.

REYES, L; FERRUFINO, J.; ÁLVAREZ, H. Situación de la Generación de la Energía Eléctrica através de Energía Fotovoltaica en Honduras Julio 2015-Marzo 2018. **Revista de La Escuela de Física**, v. 7, n. 2, p. 83-92, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5377/ref.v7i2.9329>

RICHARD, T.; TRAUTMANN, N.; KRASNY, M.; FREDENBURG, S.; STUART, C. The science and engineering of composting. **The Cornell composting website**, Cornell University, 2002.

RODRIGUES, M. S.; SILVA, F. C.; BARREIRA, L. P.; KOVACS, A. **Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos**. In: SPADOTTO, C. A.; RIBEIRO, W. Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria. FEPAF, Botucatu, p. 63-94, 2006.

SHAH, G. M.; SHAH, G. A.; GROOT, J.; OENEMA, O.; LANTINGA, E. A. Irrigation and lava meal use reduce ammonia emission and improve N utilization when solid cattle manure is applied to grassland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 160, p. 59-65, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.017>.

SHAH, G. A.; SHAH, G. M.; RASHID, M. I.; GROOT, J.C.J.; TRAORE, B.; LANTINGA, E. A. Bedding additives reduce ammonia emission and improve crop N uptake after soil application of solid cattle manure. **Journal of Environmental Management**, v. 209, p. 195-204, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.035>

SHANE, E. M.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Alternative bedding materials for compost bedded pack barns in Minnesota: A descriptive study. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 26, p. 465-473, 2010. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.29952>.

SHARMA, V. K. CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, C. Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting: review. **Energy Conversion and Management**, v. 38, p. 453-478, 1997.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000.

SILVA, J. J.; CARVALHO, D. M. G.; GOMES, R. A. B.; RODRIGUES, A. B. C. Produção de leite de animais criados em pastos no Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, v. 17, n. 1, p. 26-36, 2010.

SILVA, I. M.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C.; CALDAS, A. M. Análise espacial das condições térmicas do ambiente pré-ordenha de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 8, p. 903-909, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000800013>.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. The environment. *In: SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. Principles of animal biometeorology*. Springer, 2013. p. 1-37. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-5733-2> Acesso em: 30 nov. 2022.

SIQUEIRA, I. H. S.; VALE, P. Z. C. B.; VALE, W. G.; BARRETO, L. M. G.; MENESES, M. D.; DOS SANTOS, E. J.; RIBEIRO JÚNIOR, V.; BRÊTASM A. A. Characterization of the spatial variability of thermal comfort indices for dairy cows breeding in compost barn. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 38001-38014, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-347>.

SOUDEJANI, H. T.; KAZEMIAN, H.; INGLEZAKIS, V. J.; ZORPAS, A. A. Application of zeolites in organic waste composting: A review. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 22, p. 2-29, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101396>.

SOUZA, B. B.; SILVA, R. M.; MARINHO, A. L. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça Sindi no semiárido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 883-888, 2007.

SOUZA, C. F.; TINÔCO, I. F. F.; FERREIRA, W. P. M., SILVA, R. S. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 1, p. 157-164, 2002.

STENTIFORD, E. I.; PEREIRA NETO, M. D. D. Diversity of composting system. *In: Low cost composting-Research Monographs in Tropical Public Health Engineering*, University of Leeds, 1996.

SWOBODA, P.; DORING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review, **Science of the Total Environment**, v. 807, p. 150976, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>

TAVARES, L. F.; CARVALHO, A. M. X.; CAMARGO, L. G. B.; PEREIRA, S. G. F.; CARDOSO, I. M. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 7, n. 2, p. 89-98, 2018.

THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. A importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, v. 6, p. 1390-1407, 2012.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwinse**, v. 2, n. 1, p. 57-60, 1959.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001.

TUCKER, C. B.; WEARY, D. M.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; BEAUCHEMIN, K. A. Cow comfort in tie-stalls: Increased depth of shavings or straw bedding increases lying time. **Journal of Dairy Science**, v. 92, p. 2684-2690, 2009. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1926>.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRO CULTURE (USDA). **Brazil: Dairy and products annual, annual dairy report**. 2016. Disponível em: https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Dairy%20and%20Products%20Annual_Brasilia_Brazil_10-20-2016.pdf. Acesso em: 13 ago. 2019.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRO CULTURE (USDA). **Brazil: Livestock and products annual**. 2020. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-livestock-and-products-annual-7>. Acesso em: 19 ago. 2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Ranking of countries that export the most beef**. 2020. Disponível em: <https://www.nationalbeefwire.com/ranking-of-countries-that-export-the-most-beef>. Acesso em: 08 de novembro de 2021.
USDA, 2021

VALENTE, B. S.; XAVIER, T. B.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JR, B.; CABRERA, B. R.; MORAES, P.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arquivos Zootecnia**, v. 58, p. 59-85, 2009.

VALENTE, D. A.; SOUZA, C. F.; ANDRADE, R. R.; TINÔCO, I. F. F.; SOUSA, F. C.; ROSSI, G. Comparative analysis of performance by cows confined in different typologies of compost barns. **Agronomy Research**, v. 18, p. 1547-1555, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.20.103>.

VARGAS-GARCIA, M. C.; SUAREZ-ESTRELLA, F.; LOPEZ, M. J.; MORENO, J. Laboratory study of inocula production for composting processes. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 797-803, 2005.

VARGAS-GARCIA, M.C.; SUÁREZ-ESTRELLA, F.; LÓPEZ, M. J.; MORENO, J. Effect of inoculation in composting processes: Modifications in lignocellulosic fraction. **Waste Management**, v. 27, p. 1099-1107, 2007.

VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ANDRADE, R. G.; GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. Potencialidades para expansão e diversificação agrícola sustentável do Cerrado. *In*: BOLFE, É. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no Cerrado: Análises e projeções**. 1 ed. Brasília: Embrapa, v. 1, 2020. p. 229-258.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; SCHAEFER, G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54. 2000.

VILLETZ, R. M.; PASSILL, R. J.; VASSEUR, A. M. E.; ORSEL, K.; PELLERIN, D. Associations between on-farm animal welfare indicators and productivity and profitability on Canadian dairies: I. On freestall farms. **Journal of Dairy Science**, v. 102, p. 4341-351, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14817>.

VOROPAEV, V.; ALFIMOVA, N.; NIKULIN, I.; NIKULICHEVA, T.; TITENKO, A.; NIKULICHEV, V. Influence of gypsum-containing waste on ammonia binding in animal waste composting. **Agriculture**, v. 11, p. 2-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11111153>.

WAGNER, P. E. Bedded pack shelters. **Lancaster Farmig**, v. 47, n. 20, p. 36, 2002.

WAN, L. B.; WANG, X. T.; CONG, C.; LI, J. B.; XU, Y. P.; LI, X. Y.; HOU, F. Q.; WU, Y. Y.; WANG, L. L. Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw. **Bioresource Technology**, v. 301, p. 1-31, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122730>.

WANG, H. Y.; FAN, B. Q.; HU, Q. X.; YIN, Z. W. Effect of inoculation with *Penicillium expansum* on the microbial community and maturity of compost. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 11189–11193, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.044>.

WANG, L.; WANG, L.; WANG, D.; LI, J. Isolation and Application of Thermophilic and Psychrophilic Microorganisms in the Composting Process. **Waste and Biomass Valorization**, v. 5, p. 433-440, 2014.

WANG, S.; ZENG, Y. Ammonia emission mitigation in food waste composting: A review, Part A. **Bioresource Technology**, v. 248, p. 13-19, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.050>.

WEI, Z.; BEIDOU, X.; ZHAO, Y.; WANG, S.; LIU, H.; JIANG, Y. Effect of inoculating microbes in municipal solid waste composting on characteristics of humic acid. **Chemosphere**, v. 68, p. 368-374, 2007.

WEI, Y. Q.; WU, D.; WEI, D.; ZHAO, Y.; WU, J. Q.; XIE, X. Y.; ZHANG, R. J.; WEI, Z. M. Improved lignocellulose-degrading performance during straw composting from diverse sources with actinomycetes inoculation by regulating the key enzyme activities. **Bioresource Technology**, v. 271, p. 66-74, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.081>.

WELLS, G. D. **Dairy Barn Ventilation - Exhaust Fan Systems**. University of Vermont Extension, 2004. 5p.

WILDEY, H. Manage turkey litter to control ammonia. **Poultry Digest**, v.43, p.257, 1984.

WOLFE, T.; VASSEUR, E.; DEVRIES, T. J.; BERGERON, R. Effects of alternative deep bedding options on dairy cow preference, lying behavior, cleanliness, and teat end contamination. **Journal of Dairy Science**, v. 101, p. 530-536, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12358>.

WYATT, C. L.; GOODMAN, T. N. Research note: the utilization of recycled sheedrock (refined gypsum) as a litter material for broiler houses. **Poultry Science**, v. 71, p. 1572-1576, 1992.

YAN, G.; LI, H.; ZHAO, W.; SHI, Z. Evaluation of thermal indices based on their relationships with some physiological responses of housed lactating cows under heat stress. **International Journal Biometeorology**, v. 64, p. 2077-2091, 2020.

YANG, F.; LI, G.; SHI, H.; WANG, Y. Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. **Waste Management**, v. 36, p. 70-76, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.012>.

YUAN, J.; LI, Y.; CHEN, S.; LI, D.; TANG, H.; CHADWICK, D.; LI, S.; LI, W.; LI, G. Effects of phosphogypsum, superphosphate, and dicyandiamide on gaseous emission and compost quality during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 270, p. 368-376, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.023>.

ZENG, G. M.; HUANG, H. L.; HUANG, D. L.; YUAN, X. Z.; JIANG, R. Q.; YU, M.; YU, H. Y.; ZHANG, J. C.; WANG, R. Y.; LIU, X. L. Effect of inoculating white-rot fungus during different phases on the compost maturity of agricultural wastes. **Process Biochemistry**, v. 44, p. 396-400, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2008.11.012>.

ZHAO, Y.; LU, Q.; WEI, Y. Q.; CUI, H. Y.; ZHANG, X.; WANG, X. Q.; SHAN, S.; WEI, Z. M. Effect of actinobacteria agent inoculation methods on cellulose degradation during composting based on redundancy analysis. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 196-203, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.117>.

ZHOU, C.; LIU, Z.; HUANG, Z. L.; DONG, M.; YU, D. X.; NING, P. A new strategy for co-composting dairy manure with rice straw: Addition of different inocula at three stages of composting. **Waste Management**, v. 40, p. 38-43, 2015.

ZHU, N. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 9-13. 2005.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTICLE 1 – VOLATILIZATION OF NH₃ UNDER APPLICATION OF
REMINERALIZERS IN DIFFERENT BEDDING SUBSTRATES**

ABSTRACT

The addition of remineralizers to compost bedding presents itself as an alternative for maintaining nitrogen stability in the compost and as a potential source of nutrients, such as potassium. In this sense, this study aimed to verify if the addition of remineralizers to bedding materials in Compost Barn systems for confined dairy cows, using different carbon sources, could minimize ammonia (NH_3) volatilization and contribute to the chemical improvement of the final compost. The experiment was conducted in a laboratory with 10 treatments structured in a factorial scheme ($2 \times 4 + 2$), consisting of two types of organic materials used as bedding (coffee husk and wood shavings), four inorganic materials (glauconite, phonolite, gypsum, and control), and two additional treatments with microbial inoculants, with four replications, totaling 40 experimental units. The composting process yield, compost moisture, C/N ratio, ammonia (NH_3) volatilization, and the contents of nitrogen (N), organic carbon, total potassium (K_{total}), and available potassium (K_{disp}) were evaluated. The data were subjected to analysis of variance, and the means were compared using the SNK and Holm-Bonferroni tests at a 5% probability of error α . It was observed a high capacity for nitrogen conservation after the addition of gypsum, phonolite, and glauconite to the composted material, especially gypsum, which, compared to control compounds, was able to maintain an N content 1,5 and 1,7 times higher in coffee husk and wood shavings bedding, respectively. In addition, an increase in K_{total} and K_{disp} contents was observed in both substrates added with glauconite and phonolite (except for wood shavings), as well as greater decomposition and availability of K_{total} in coffee husk in the presence of microbial inoculants.

Keywords: Compost. Compost Barn. Silicate rock powders. Microbial inoculants. Bedding stuff.

1. INTRODUCTION

Brazilian agriculture faces numerous challenges, particularly regarding the increased utilization of renewable raw materials and the improved utilization of organic and agro-industrial waste, aiming to minimize the environmental impacts and contaminations generated along the production chains.

According to Piccolo (2016), composting is a process of biological decomposition and stabilization of organic materials, which can be considered one of the most sustainable methods for managing organic solid waste in agroecosystems. There is a growing global adoption of farmers who seek production systems that encompass sustainability concerns, primarily due to consumer pressure. Thus, even in intensive production systems such as the Compost Barn (CB) system, where animals have space limitations and there is higher energy expenditure compared to extensive farming, there are increasing concerns about the environmental aspects involved (BLACK et al., 2014).

The CB system represents an intensive production system in which animals are housed in an area with a common bedding layer, formed by an easily available carbon source, separated from the feeding trough (BARBEG et al., 2007a; BLACK et al., 2014). Consequently, the bedding material, along with the organic material from animal waste (feces + urine), undergoes composting over time, which distinguishes this system (JANNI et al., 2007). However, the literature reveals a lack of studies regarding more suitable materials for use in bedding composition that would result in compost with desirable physicochemical characteristics for utilization as fertilizers in agriculture.

Several factors influence an ideal composting process, with temperature (BARBERG et al., 2007b), moisture (KIEHL, 2002), aeration (KIEHL, 2002; GÓMEZ & FERRER, 2006), pH (MAEDA et al., 2010), carbon/nitrogen (C/N) ratio (BEWLEY et al., 2013), and structural complexity of organic compounds being notable factors. Maintaining a balanced C/N ratio is crucial in composting because one of the primary objectives of this process is nutrient retention, especially nitrogen (N). Studies indicate that the decomposition process's speed is largely attributed to the N concentration of organic matter due to the chemical complexity of organic compounds, although the carbon quantity also influences the process speed.

Bewley et al. (2013) recommend a favorable C/N ratio for composting between 25:1 and 30:1. However, when the C/N ratio falls below the recommended range, nitrogen becomes excessive, resulting in increased losses due to ammonia (NH₃) volatilization (ONWOSI et al., 2017). Among the consequences of these losses, including unpleasant odors and the release of

harmful gases to the health of confined animals, employees, and the environment, there is also a reduction in the compost's fertilizing potential due to N losses. In this regard, several studies have been conducted to mitigate these processes (NAUJOKIENE et al., 2021; VOROPAEV et al., 2021).

The addition of soil conditioners and remineralizers to compost bedding presents an alternative for maintaining nutrient stability, particularly N, especially if they can enhance the chemical characteristics, making the compounds more fertile. These materials can be based on biological products, as studied by NAUJOKIENE et al. (2021), or ground rocks and remineralizers, as studied by VOROPAEV et al. (2021).

Furthermore, there is currently significant concern regarding potassium (K) fertilizers. Over 80% of global potassium (K) is produced by just five countries (Belarus, Canada, China, Germany, and Russia), leaving many underdeveloped countries highly dependent on imports (CICERI and ALLANORE, 2019), such as Brazil. Conventional K fertilizers, like potassium chloride (KCl), are often inaccessible to these farmers, as potassium prices have nearly doubled since the beginning of this century (MANNING and THEODORO, 2020). In this context, Leonardos et al. (1987), Fyfe et al. (2006), and Van Straaten (2007) proposed the use of finely ground silicate rock powders as slow-release fertilizers.

Although not a new concept, the use of rock powders has been the subject of studies, particularly after the Ministry of Agriculture, Livestock, and Supply (MAPA), through Law 12,890 of December 10, 2013, and Normative Instruction n° 5, of March 10, 2016, regulated the production, registration, and trade of rock powder in agriculture, currently referred to as "Remineralizers." According to MAPA (2016), remineralizers are mineral materials that have undergone only size reduction and classification through mechanical processes and that alter soil fertility indices by adding macro and micronutrients for plants, as well as promoting improvements in the physical, physicochemical, and/or biological properties of the soil (Brazil, 2016). Ramos et al. (2021) and Swoboda, Doring, Hamer (2022) reviewed the application of silicate remineralizers, combined or not with microorganisms, and also discussed how this technology can contribute to greater agricultural sustainability.

In light of the above, this study aimed to verify if the addition of remineralizers to CB system bedding, using different carbon source materials, would be able to minimize NH_3 volatilization and contribute to the chemical improvement of the final compost as an organic fertilizer.

2. MATERIALS AND METHODS

Considering the difficulty of conducting the experiment on a real scale in animal facilities to obtain results related to the effect of remineralizers on ammonia volatilization, the present experiment was conducted in a laboratory of Federal University of Viçosa – *Campus Rio Paranaíba*, located at the coordinates 19°12'58.35"S and 46°13'23.82"W. The experiment was carried out indoors, free from direct sunlight and wind. The average ambient dry bulb temperature during the evaluation period, measured using a portable datalogger HOBOWare®, model U12-011 (precision of $\pm 3\%$), was 24°C. Cylindrical buckets with a capacity of 10 L, measuring 239 mm in height and 260 mm in diameter, were used to store the bedding material and remineralizers. The study was conducted in a completely randomized design, with 10 treatments structured in a factorial scheme (2 x 4 + 2), consisting of two types of organic materials used as bedding (coffee husk and pine wood shavings), four inorganic materials (glauconite, phonolite, gypsum, and control), and two additional treatments with microbial inoculants from native vegetation in coffee husk and wood shavings, with four replications.

The amount of organic materials used as bedding was determined based on the volume occupied by the material, as it occurs in a CB barn. For this purpose, an initial bedding height of 0,3 m was considered. The amount of waste applied was calculated based on the daily excretion of a 400 kg dairy cow and the average animal occupancy rate per installation in the state of Minas Gerais in CB barns, corresponding to 50 kg day⁻¹ (MATOS, 2005) and 10.2 m² cow⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2019), respectively. The calculations were performed considering the experimental period of 60 days, which corresponded to a bedding volume of 2,37 L (800 g of coffee husk and 400 g of wood shavings). The average particle size of coffee husk ranged from 2 to 10 mm in length and 0,5 to 1 mm in thickness, while the particle size of wood shavings ranged from 5 to 20 mm in length and 2 to 3 mm in thickness.

The amount of waste (urine + feces) used corresponded to 2.325 kg per pot, which was applied over a period of 60 days (155 g per pot per application). Thus, every four days, at the same time, 8 a.m., the collection of fresh waste (feces + urine) was performed in the feeding alleys of a CB barn. The waste that was excreted at that moment by the animals was piled up using a shovel. Subsequently, this material was homogenized, and a 10 L equivalent sample was collected and placed in a plastic bucket. Immediately after collection, the waste was transported to the laboratory to be applied to the treatments. For the characterization of the waste, a sample was taken from each collection and refrigerated throughout the evaluation. At the end of the experiment, the samples were homogenized and subjected to laboratory analysis.

The initial chemical characterization of the organic materials used as bedding and bovine waste (feces + urine) is presented in Table 1.

Table 1- Chemical initial characterization of coffee husk, wood shavings and bovine waste.

Organic Material	C _{org} (dag kg ⁻¹)	N-NH ₄ ⁺ (dag kg ⁻¹)	Ratio C/N	K _{total} (g kg ⁻¹)	K _{disp} (g kg ⁻¹)
Coffee husk	23,58	1,39	16,96	17,23	16,39
Wood shavings	28,50	0,23	123,91	4,16	0,34
Waste (feces+urine)	21,21	2,02	10,50	18,24	15,95

*C_{org} determined by colorimetric method, N-NH₄⁺ by titrimetry after Kjeldahl distillation, K_{total} by flame photometry after nitroperchloric digestion and K_{disp} by flame photometry after Mehlich-1 extraction.

Fonte: Do autor.

The amount of remineralizers applied to the bedding was calculated according to Tavares et al. (2018), corresponding to a proportion of 10% m v⁻¹ (100 kg m⁻³ or 237 g per bucket). The K₂O content in the glauconite and phonolite was 12% and 8%, respectively, based on the guarantees provided by the commercial products. The agricultural gypsum was characterized by 18% Ca and 15% S-SO₄. The materials were dried in a forced-air oven at a temperature of 65°C and passed through a 0,6 mm sieve.

The microbial inoculant used was obtained from a native vegetation area located at coordinates 19°13'31.83"S, 46°12'51.54"W. For its preparation, a soil and litter sample was collected from the 0-10 cm layer. After homogenizing this material, 1 kg was weighed and suspended in 10 L of water (1:10 ratio) to prepare a suspension. The mixture was agitated, and the supernatant containing part of the soil microbial diversity was immediately collected (CANUTO, 2019). Then, an aliquot of 25 mL of this inoculum was applied to the additional treatments.

After preparing and mixing the organic materials used as bedding and additives, the experiment was initiated. Fresh waste applications to the bedding were carried out every 4 days, repeated 15 times over a period of 60 days. Immediately after each application, the material was manually mixed to simulate the mixing that occurs in CB barns. Approximately 24 hours after each application, ammonia (NH₃) was captured using traps according to the methodology proposed by Hernandez and Cazetta (2001). For this, 50 mL bottles containing 25 mL of 2% boric acid (H₃BO₃) were placed in the center of each bucket on the material surface. The buckets

were hermetically sealed for 2 hours. After this period, the solution was titrated with 0,02 mol L⁻¹ hydrochloric acid (HCl) solution to determine the volume of volatilized NH₃.

After mixing the bedding materials during the 13th, 14th, and 15th applications, and subsequent NH₃ capture, samples were taken from the buckets to determine the moisture content using the standard oven method, and these results were reported on a dry basis (% db).

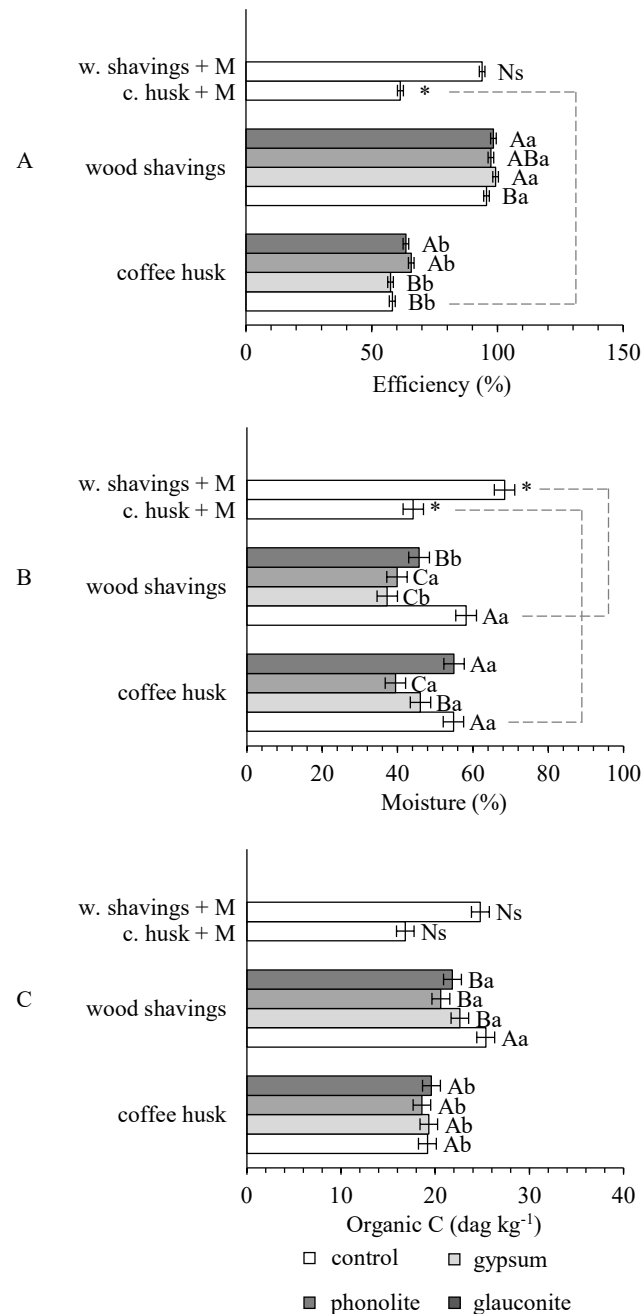
After 60 days, the material was dried in a forced-air oven at a temperature of 70°C for 48 hours. Part of the material was collected after homogenization for laboratory analysis. It was then ground using a knife mill and passed through a 0,6 mm sieve for analysis of organic carbon content (C_{org}) (TEIXEIRA et al., 2017), total nitrogen (N) (SILVA, 2009), total potassium (K_{total}) (SILVA, 2009), and available potassium (K_{disp}) (TEIXEIRA et al., 2017).

The obtained data were subjected to Bartlett, Jarque-Bera, and ESD tests to assess the homogeneity of variances, normality of residuals, and presence of outliers, respectively. Subsequently, the data were subjected to analysis of variance, and means were compared using SNK and Holm-Bonferroni tests at a 5% probability of error α using the SPEED stat software (CARVALHO et al., 2020).

3.RESULTS AND DISCUSSION

The results of composting process yield (% db), compost moisture (% db), and organic carbon content (dag kg⁻¹ of the organic fraction of the material) of composts obtained with coffee husk or fine wood shavings with the addition of waste and the presence or absence of gypsum, phonolite, and glauconite are presented in Figure 1.

Figure 1 - Composting process yield (% db), compost moisture (% db), and organic carbon content (dag kg^{-1} of the organic fraction of the material) of composts obtained with coffee husk or wood shavings with the addition of waste and the presence or absence of gypsum, phonolite, and glauconite.



Legend: There is no evidence that means followed by the same letter, uppercase among the additives or lowercase among the organic materials, differ from each other by the SNK test at 5%. Means of the additional treatments (wood shavings + microbial inoculant; coffee husk + microbial inoculant) followed by "*" are statistically different from their respective controls by the Holm-Bonferroni test at 5%.

Source: From the author.

Based on Figure 1A, there was a significant difference in the efficiency of the composting process with the different materials used. This result indicates that coffee husk showed to be a labile material, more favorable for decomposition compared to pine wood shavings. Thus, the presence of structurally less complex compounds favored the microbiota, which had easier access to nutrients. Consequently, considering its higher nitrogen (N) content, using coffee husk as a source of carbon (C) can generate a more humified compost. On the other hand, wood shavings exhibited an efficiency close to 100%, indicating that the carbon source material was highly resistant to microbial decomposition, suggesting that the chemical structure of this material may have influenced the compost stabilization process.

The high initial C/N ratio of wood shavings, combined with the presence of complex compounds such as lignin and cellulose found in woody materials (KURATA et al., 2018), justifies the strong resistance to biodegradation in a composting process. These factors limit rapid and efficient composting. According to Jurado et al. (2014) and Paradelo et al. (2013), conventional composting of lignocellulosic-rich waste is a time-consuming process due to the high C/N ratio. High levels of these fractions can delay the biodegradation and biotransformation of biomass (BOHACZ, 2019), thus limiting humus formation (LIU et al., 2017). Souza et al. (2019) also discuss that materials with high lignin, cellulose, hemicellulose content, and high C/N ratio, such as leaves of *Byrsonima gardneriana*, have demonstrated resistance to decomposition.

Figure 1A shows a significant difference between the control and the additional treatment (Coffee husk + microbial inoculants), suggesting that the inoculation of microorganisms under the coffee husk bed altered the efficiency of the composting process. However, this difference was not observed in the additional treatment with wood shavings. According to Oliveira et al. (2014), the addition of selected microorganisms promotes rapid decomposition of organic materials, restricts the growth of pathogenic microorganisms, and increases the mineralization of macro and micronutrients. However, according to Dastpack et al. (2020), even though microorganisms present in the raw material are responsible for the degradation of materials undergoing composting, inadequate quantity or low biodegradation capacity of indigenous microorganisms can result in lower composting efficiency and undesired compost quality (XI et al., 2015; XU et al., 2019).

The timing of inoculation is a key factor that affects composting, as each phase of the process is characterized by the growth and activity of various microbial populations with which the inoculated microbiota will compete (Jiang et al., 2015; Zhao et al., 2016). Therefore, due to inadequate inoculation timing, the added microorganisms may not perform as desired (XI et al.,

2005). Although they are inoculated at the beginning of the composting process (QU et al., 2019), other inoculation strategies should be considered (ZHAO et al., 2016) and studied. Furthermore, Heidarzadeh et al. (2019) discuss that the lack of understanding of the role of microorganism addition in the composting process is a major obstacle. Thus, according to Awasthi et al. (2020), it cannot be assumed that they will always promote this process.

Observing Figure 1A, it can be noted that the presence of remineralizers influenced the efficiency of the decomposition process. In the case of wood shavings, although a significant difference is observed, it is of small magnitude. However, in the case of coffee husk, a higher efficiency is observed in the presence of the remineralizers fonolite and glauconite, suggesting that their presence possibly delayed the oxidation of organic compounds since the efficiency is calculated based on the difference in mass before and after composting. These results do not corroborate with the findings of Jiangang Li; Dmitri; Dong (2021), who suggest that the addition of rock powders provides microelements that stimulate microbial activity, resulting in accelerated degradation of organic matter. However, they also emphasize that the mechanism of this phenomenon remains poorly understood, suggesting the need for further studies on the effects of rock powders on the microbiota. On the other hand, the composting efficiency can be reduced if the natural microbiota is not sufficiently diverse or is adversely affected by certain environmental parameters and/or characteristics of the raw material, including the presence of various secondary metabolites (GREFF et al., 2021; JURADO et al., 2015).

Studying the efficiency of the composting process with different materials provides important information for farmers regarding the choice of the carbon source material. On one hand, materials that are more resistant to decomposition, such as wood shavings, are desirable when it comes to support materials for animal bedding, especially in CB systems, where the carbon source material remains in the facility for a longer period of time. On the other hand, the development of microorganisms is slower in more recalcitrant materials. According to Damasceno et al. (2020), there are two conditions for partial removal of the bedding, namely low nutrient concentration that favors biological development and excess material that will surpass the installation's walls.

Regarding the moisture content of the treatments (Figure 1B), significant differences can be observed among the organic compounds and mineral additives. However, the results do not exhibit a clear enough pattern to justify a recommendation regarding the water retention of these materials. Consequently, the drier the bedding in a facility, the lower the risk of disease incidence and animal soiling, which is a desirable characteristic for farmers. However, the drier the bedding, the higher the occurrence of respiratory diseases (DAMASCENO et al., 2020) and

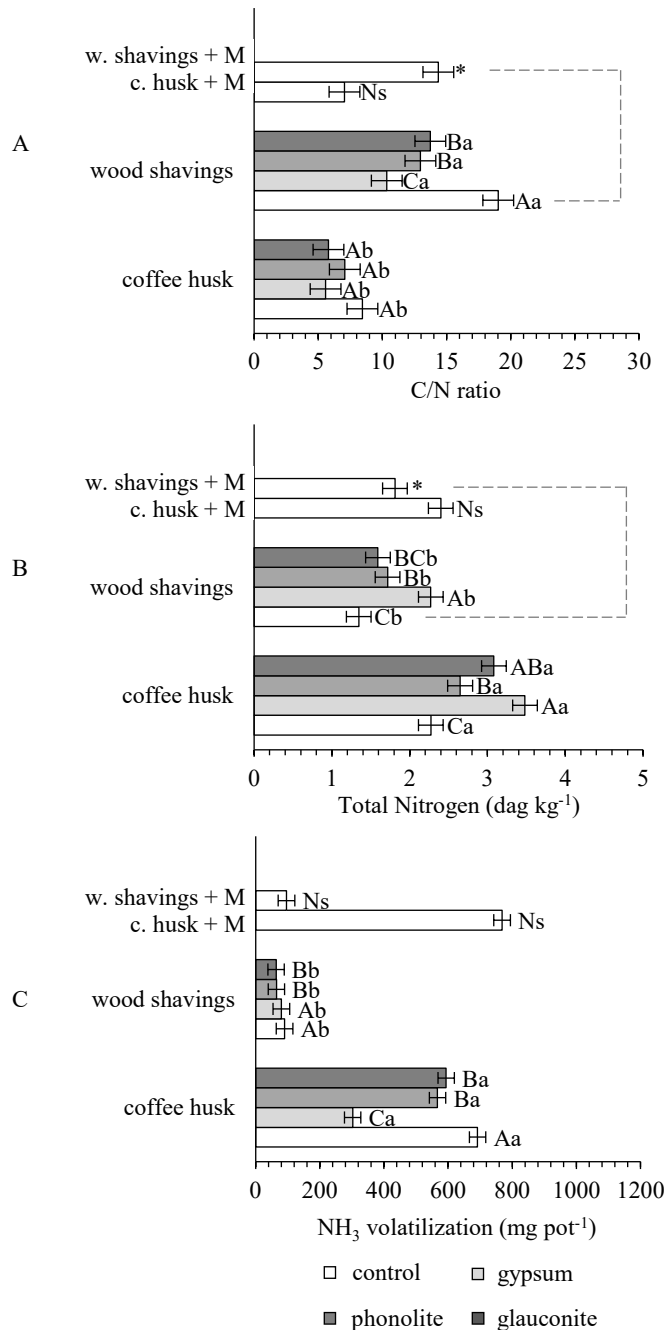
the possibility of ammonia volatilization, as reported by Kiehl (1996). In this study, there was no significant correlation between volatilization and bedding moisture content, indicating that although higher moisture levels minimize ammonia volatilization, this was not evidenced in this study, possibly because the beddings had relatively high moisture levels.

The significant differences presented in Figure 1B among the mineral additives indicate that, in general, adding mineral additives to the mixture reduces moisture, except for the treatment of coffee husk + glauconite. The significant difference observed between control wood shavings and wood shavings + inoculants may be associated with the volume of water added along with the inoculant. Theodoro et al. (2021) reported in their study that the soil moisture content is higher in areas where remineralizers are applied, demonstrating their high water retention capacity.

In Figure 1C, the results of the organic carbon content in the organic fraction of the material are displayed. These results are consistent with the composting efficiency values (Figure 1A), suggesting that the compounds that exhibited lower efficiencies, where the microbiota oxidized more organic matter, resulted in composts with lower organic carbon content. It can be inferred, therefore, that wood shavings are more recalcitrant materials with lower decomposition capacity. From the perspective of material durability, wood shavings are an interesting material to be used as a carbon source since they can be used for a longer period in housing. On the other hand, the chemical quality of the final organic compost will be inferior to composts produced based on coffee husk, which will provide compost with higher nutrient content.

The results of the C/N ratio, total nitrogen content in the organic fraction (dag kg^{-1}), and cumulative ammonia volatilization (mg pot^{-1}) of the composts obtained with coffee husk or fine wood shavings with the addition of waste and the presence or absence of gypsum, fonolite, and glauconite are presented in Figure 2.

Figure 2 - C/N ratio, total nitrogen content in the organic fraction (dag kg^{-1}), and cumulative ammonia volatilization (mg pot^{-1}) of compounds obtained from coffee husk or wood shavings with the addition of waste, and supplemented or not with gypsum, phonolite, and glauconite.



Legend: There is no evidence that means followed by the same letter, uppercase among the additives or lowercase among the organic materials, differ from each other by the SNK test at 5%. Means of the additional treatments (wood shavings + microbial inoculant; coffee husk + microbial inoculant) followed by "*" are statistically different from their respective controls by the Holm-Bonferroni test at 5%.

Source: From the author.

In the context of agricultural sciences, it can be observed that the results of the C/N ratio (Figure 2A) are consistent with the results of C_{org} (Figure 1C), as compounds with higher concentrations of C_{org} resulted in higher C/N ratios. The higher C/N ratio in compounds derived from fine wood shavings is due to their lower N concentration, leading to reduced microbial growth. According to El-Haddad et al. (2014), the levels of carbon and nitrogen bioavailable in the compost mixture can significantly influence microbial activity and biodegradation rates. Ideally, the initial C/N ratio should fall within the range of 20-30:1, as microorganisms typically utilize approximately 30 parts of carbon for each part of nitrogen (HARINDINTWALI et al., 2020). However, the presence of high levels of structurally complex C compounds, such as lignocellulosic materials, hinders microbial action. Thus, to achieve the desired composting performance, a high level of microbial activity is necessary (HENRY et al., 2020).

Moreover, significant differences between fine wood shavings and fine wood shavings + microbial inoculants are evident in Figure 2A. The C/N ratio of the treatment with added microbial inoculants was lower compared to the one without inoculants. This result suggests that the fine wood shavings with added microbiota underwent more decomposition, indicating that inoculating microorganisms into the composting mass can lead to increased material oxidation, resulting in a more humified final compost. According to Gou et al. (2017), the breakdown of lignin and cellulose polymers is considered a critical step, determining humification and stabilization of the final product. To facilitate the biodegradation of these compounds, Wang et al. (2011) and Zeng et al. (2009) utilized microbial inoculants with lignolytic or cellulolytic properties and observed positive outcomes.

According to Wei et al. (2019), these microorganisms are capable of secreting extracellular enzymes to degrade these compounds. The inoculation of microorganisms, especially in slow-decomposing compounds with high C/N ratios, accelerates the decomposition process (GAO et al., 2015; KAUSAR et al., 2014). Besides the rate of humification, the inoculation of microorganisms benefits certain physical, chemical, and biological properties of the compounds, such as macronutrient content, organic matter, C/N ratio, bulk density, and concentrations of toxic elements (GAIND 2014; ABDEL-RAHMAN et al., 2016; WU et al., 2019; WAN et al., 2020; AWASTHI et al., 2020), making the substrates suitable for agricultural production systems.

Furthermore, in Figure 2B, significant differences in nitrogen content can be observed concerning the type of material used, with higher nitrogen content in coffee husk. This result is justified by the fact that this material inherently had higher nitrogen content, as observed through its chemical characterization (Table 1).

Significant differences in nitrogen content can still be observed in the various materials to which minerals were added. These results highlight the significant nitrogen conservation capacity after the addition of gypsum, phonolite, and glauconite to the composting material, especially gypsum. Compared to the control compounds, gypsum was able to maintain a nitrogen content 1,5 and 1,7 times higher in coffee husk and wood shavings, respectively, outperforming phonolite and glauconite. According to Voropaev et al. (2021), the use of additives is one way to optimize composting processes. Research studies indicate different NH_3 retention rates with the use of biochar (FEBRISANTOSA et al., 2018; AKDENIZ, 2019), zeolite (SOUDEJANI et al., 2019), bentonite (LI et al., 2012), superphosphate (YUAN et al., 2018), microbial inoculants (RASTOGI et al., 2020), gypsum (CHEN et al., 2010; KIM et al., 2017), and waste containing gypsum (YANG et al., 2015; FEBRISANTOSA et al., 2018; YUAN et al., 2018; LI et al., 2018). Voropaev et al. (2021) describe that calcium sulfate in the presence of moisture interacts with NH_3 and CO_2 produced during microbial decomposition, resulting in ammonium sulfate and ionic pairs between cations and carbonates.

The higher N content observed in compounds enriched with gypsum can be explained by the sulfate's ability to retain the ammonium cation. Additionally, this effect may be related to the gypsum's good water retention capacity and the presence of P as a contaminant in the gypsum. This added P can influence microbial growth and allow for a higher N stock in the microbial biomass, supporting the findings of Yang et al. (2015), Febrisiantosa et al. (2018), Yuan et al. (2018), Li et al. (2018). Yang et al. (2015) reiterate that gypsum is highly effective in biomass decomposition and has a positive effect on reducing NH_3 losses during the composting process.

Although gypsum presents several positive and viable characteristics for its use in conserving N during composting processes, especially due to its low acquisition cost, some attention must be given to its composition because, depending on the levels of radioactivity and contamination resulting from its processing, it could limit the commercialization of the compost for organic agriculture, which is regulated according to normative 17/2014 issued by the Ministry of Agriculture and Livestock (BRASIL, 2011).

Based on the results of Figures 2A and 2B, it can be observed that the remineralizers phonolite and glauconite were also efficient in maintaining N in the compounds in both materials, making them promising products for this purpose. Glauconite was able to retain 1,35 times and 1,18 times more N in coffee husk and wood shavings, respectively, while phonolite retained 1,17 and 1,27 times more N in coffee husk and wood shavings, respectively. Shah et al. (2012) and Shah et al. (2018) mixed silicate rock powders of basaltic composition with cattle

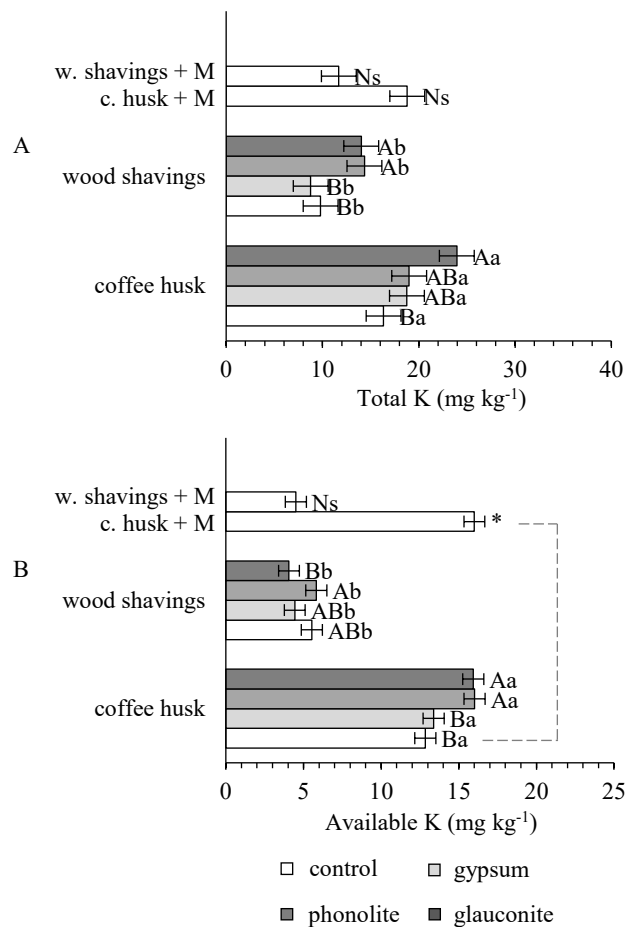
manure and concluded that NH_3 emissions were significantly reduced after field application. These researchers reported that pasture and maize growth increased, as well as apparent N recovery, which was 2 to 3 times higher compared to manure applied without the mixture.

Although there are few studies presenting results regarding the use of remineralizers as potential products capable of minimizing NH_3 volatilization, some research, including Jiangang Li et al. (2020), reported that the incorporation of rock powders significantly improved the micronutrient content in composts without increasing phytotoxicity. The authors further stated that applying this compound to a low-quality soil in 2013 and 2014 led to a productivity increase of 120% and 187%, respectively, compared to non-treated soil.

In this context, despite the positive results, further research should be conducted to assess the effective performance of these minerals in maintaining N during the composting process, especially under real field conditions, as found in animal husbandry facilities that use carbon source materials for animal bedding.

The results of total potassium content (dag kg^{-1}) and available potassium content (dag kg^{-1}) of compounds obtained from coffee husk or fine wood shavings, with the addition of waste, and supplemented or not with gypsum, phonolite, and glauconite, are presented in Figure 3.

Figure 3 - Total potassium content (dag kg^{-1}) and available potassium content (dag kg^{-1}) of compounds obtained from coffee husk or wood shavings, with the addition of waste, and supplemented or not with gypsum, phonolite and glauconite.



Legend: There is no evidence that means followed by the same letter, uppercase among the additives or lowercase among the organic materials, differ from each other by the SNK test at 5%. Means of the additional treatments (wood shavings + microbial inoculant; coffee husk + microbial inoculant) followed by "*" are statistically different from their respective controls by the Holm-Bonferroni test at 5%.

Source: From the author.

In Figure 3A, significant differences in total potassium content (K_{Total}) can be observed among treatments with phonolite and glauconite in different materials, with this result being more pronounced in wood shavings, which initially had very low K_{Total} levels. This result was expected, as these remineralizers are sources of K. In coffee husk, which is already a material rich in K, these differences were somewhat masked, with significant differences observed only between glauconite and the control. However, there was no sufficient evidence of significant differences between glauconite and phonolite in relation to the control, despite phonolite having lower K_2O levels. Tavares et al. (2018) added the remineralizer phonolite to compost piles and

found improvements in the final compost quality, with a greater release of K and silica during the composting process.

In Figure 3B, there seems to be no significant difference among materials concerning available potassium (K_{disp}), except for glauconite in wood shavings. When observing Figure 3A, the results show a reversal of trend compared to K_{Total} . In coffee husk, significant differences in K_{disp} availability were observed between treatments with glauconite and phonolite compared to treatments with gypsum and the control, suggesting that part of the K_{Total} was made available in these treatments.

The additional treatment (coffee husk + microbial inoculum) showed a significant difference from the control in Figure 3B, indicating that adding microbiota to the bedding contributed to K availability. This effect is likely indirect, as inoculation allowed for greater oxidation of organic matter, resulting in nutrient concentration in the final compost. In the literature, different results have been presented regarding the mixture of remineralizers and organic compounds, where the presence of bacteria can increase nutrient release, as the composting process itself can increase rock weathering through the release of organic acids produced by microorganisms, as discussed in reviews by Basak et al. (2017), Meena et al. (2016), Ribeiro et al. (2020), and in the works of Li and Dong (2013), Liu et al. (2011), and Li et al. (2020).

However, there is still a lack of evidence regarding whether the increased weathering of rocks is actually due to microbiologically produced organic acids or to elevated temperatures and/or CO_2 concentrations (Garcia-Gomez et al., 2002; Li et al., 2020; Tavares et al., 2018). Nonetheless, these studies are not directly comparable, as several composting substrates were tested with different analytical methods.

In this context, it can be inferred that the release of K from remineralizers may not have been clearly observed due to the short-term nature of the experimental evaluation. It is essential to note that the typical composting period, which lasts around 60 to 90 days, might be insufficient to demonstrate a significant increase in remineralizer weathering and nutrient release. However, in animal husbandry systems using bedding, such as Compost Barns, the material remains in place for six months to one year (Damasceno et al., 2020), which is approximately four times longer than conventional composting. For this reason, there is a need for studies that quantify and monitor these processes in the field and over the long term, which can progressively demonstrate the role of microorganisms in remineralizer weathering and nutrient release, closely resembling what actually happens in reality, especially in Compost Barns.

Swoboda, Doring, Hamer (2022) reviewed major global studies involving the use of remineralizers, discussing their importance, challenges, bottlenecks, and potential for use in agriculture. These researchers concluded that long-term trials assessing cumulative effects and potential benefits of remineralizers, including information on mineralogy, particle size, pH, experimental conduct, and application amount, are essential for future studies to strategically address these concepts, contributing to sustainable development objectives, climate change mitigation, and soil degradation.

4. CONCLUSION

Among the two substrates used as bedding, coffee husk proved to be richer in nutrients and more favorable to microbial decomposition, but also more susceptible to NH₃ volatilization, both in the presence and absence of remineralizers.

The presence of the remineralizers glauconite and phonolite influenced the decomposition process, with their addition in this study delaying the oxidation of the substrates.

Wood shavings demonstrated higher moisture retention capacity, greater efficiency, and durability when compared to coffee husk, making it a desirable choice for rural producers. However, it resulted in a final organic compound with lower nutrient content compared to coffee husk.

The addition of remineralizers to the bedding drastically reduced NH₃ volatilization. Gypsum, in relation to control compounds, was able to maintain nitrogen content 1,5 and 1,7 times higher in coffee husk and wood shavings, respectively. Glauconite and phonolite were also effective in maintaining nitrogen levels, with glauconite retaining 1,35 and 1,18 times more nitrogen in coffee husk and wood shavings, respectively, while phonolite retained 1,17 and 1,27 times more nitrogen in coffee husk and wood shavings, respectively. Therefore, they are recommended as promising materials for nitrogen maintenance in bedding.

The inoculation of microorganisms in composting processes can be a strategy used to accelerate the decomposition process in more recalcitrant substrates, such as wood shavings. This inoculation does not necessarily need to be performed with pure culture or commercial inoculum.

REFERENCES

ABDEL-RAHMAN, M. A.; EL-DIN, M. N.; REFAAT, B. M.; ABDEL-SHAKOUR, E. H.; EWAIS, E. E. D.; ALREFAEY, H. M. A. Biotechnological application of thermotolerant

cellulose-decomposing bacteria in composting of rice straw. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 61, p. 135-143, 2016.

AKDENIZ, N. A systematic review of biochar use in animal waste composting. **Waste Management**, v. 88, p. 291-300, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.054>.

AWASTHI, M. K.; DUAN, Y. M.; AWASTHI, S. K.; LIU, T.; ZHANG, Z. Q. Effect of biochar and bacterial inoculum additions on cow dung composting. **Bioresource Technology**, v. 297, p.1-44, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122407>.

BARBERG, A. E.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Compost dairy barns in Minnesota: A descriptive study. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 23, n. 2, p. 231-238, 2007a.

BARBERG, A. E., ENDRES, M. I.; SALFER, J. A.; RENEAU, J. K. Performance and welfare of dairy cows in an alternative housing system in Minnesota. **Journal of Dairy Science**, v. 90, N. 3, p. 1575-1583, 2007b.

BASAK, B. B.; SARKAR, B.; BISWAS, D. R.; SARKAR, S.; SANDERSON, P.; NAIDU, R. Bio-intervention of naturally occurring silicate minerals for alternative source of potassium: Challenges and opportunities. **Advances in Agronomy**, v. 141, p. 115-145. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.016>.

BEWLEY, J. M.; TARABA, J. L.; MCFARLAND, D.; GARRETT, P.; GRAVES, R.; HOLMES, B.; KAMMEL, D.; PORTER, J.; TYSON, J.; WEEKS, S.; WRIGHT, P. Guidelines for managing compost bedded-pack barns. **The Dairy Practices Council**, 2013.

BLACK, R. A.; TARABA, J. L.; DAY, G. B.; DAMASCENO, F. A.; NEWMAN, M. C.; AKERS, K. A.; WOOD, C. L.; MCQUERRY, K. J.; BEWLEY, J. M. The relationship between compost bedded pack performance, management, and bacterial counts. **Journal Dairy Science**, v. 97, p. 2669-2679, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6779>.

BOHACZ, J. Changes in mineral forms of nitrogen and sulfur and enzymatic activities during composting of lignocellulosic waste and chicken feathers. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 10333-10342, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04453-2>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 46, de outubro de 2011**/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2011. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4399607/mod_resource/content/1/Instru%C3%A7%C3%A3oNormativa_SistemasOrg%C3%A2nicos.pdf. Acesso em: 15 jun. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317444>. Acesso em: 15 jun. 2020.

CANUTO, L. P. **Serviços Ecológicos: Desnitrificação em solos hidromórficos, emergência de plantas espontâneas e disponibilização de fósforo no solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019. 37p.

CARVALHO, A. M. X.; MENDES, F. Q.; MENDES, F. Q.; TAVARES, L. F. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p. e327420312, 2020.

CHEN, L.; TUBAIL, K.; KOST, D.; DICK, W. A. Effects of gypsum enhanced composts on yields and mineral compositions of broccoli and tall fescue. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 7, p. 1040-1055, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904161003728701>.

CICERI, D.; ALLANORE, A. Local fertilizers to achieve food self-sufficiency in Africa. **Science of the Total Environment**, v. 648, p. 669–680, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.154>.

DAMASCENO, F. A.; BRANDÃO, L.; FERRAZ, G.; BARBARI, M.; LESO, L.; MONGE, J.; PANTOJA, J.; FERREIRA, R.; FAGUNDES, B.; LOPE, M. **Compost Barn como alternativa para a pecuária leiteira**. 1 ed. Gulliver, 2020, 396p.

DASTPAK, H.; PASALARI, H.; JAFARI, A.J.; GHOLAMI, M.; FARZADKIA, M. Improvement of co-composting by a combined pretreatment ozonation/ultrasonic process in stabilization of raw activated sludge. **Scientific Reports**, v. 10, p.1-17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58054-y1>.

EL-HADDAD, M. E.; ZAYED, M. S.; EL-SAYED, G. A. M.; HASSANEIN, M. K.; EL-SATAR, A. M. A. Evaluation of compost, vermicompost and their teas produced from rice straw as affected by addition of different supplements. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, p. 243-251, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.11.013>.

FEBRISANTOSA, A.; RAVINDRAN, B.; CHOI, H. L. The effect of co-additives (Biochar and FGD Gypsum) on ammonia volatilization during the composting of livestock waste. **Sustainability**, v. 10, n. 795, p.1-18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030795>.

FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p. 715-720, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400007>.

GAIND, S. Effect of fungal consortium and animal manure amendments on phosphorus fractions of paddy-straw compost. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 94, p. 90-97, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.06.023>.

GAO, H.; ZHOU, C. B.; WANG, R. S.; LI, X. X. Comparison and evaluation of co-composting corn stalk or rice husk with swine waste in China. **Waste Biomass**, v. 6, p. 699-710, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9419-7>.

GARCIA-GÓMEZ, A.; SZMIDT, R.; ROIG, A. Enhancing of the composting rate of spent mushroom substrate by rock dust. **Compost Science & Utilization**, v. 10, n. 2, p. 99-104, 2002.

GÓMEZ, R. B.; FERRER, A. S. The use of respiration indices in the composting process: A review. **Wast Management e Reserarch**, v. 24, n. 1, p. 37-47, 2006.

GOU, C. L.; WANG, Y. Q.; ZHANG, X. Q.; LOU, Y. J.; GAO, Y. H. Inoculation with a psychrotrophic-thermophilic complex microbial agent accelerates onset and promotes maturity of dairy manure-rice straw composting under cold climate conditions. **Bioresource Technology**, v. 243, p. 339-346, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.097>.

GREFF, B.; SZIGETI, J.; VARGA, A.; LAKATOS, E.; S'AH'O, A.; VARGA, L. Effect of bacterial inoculation on co-composting of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) waste and cattle manure. **Biotechnology**, v. 11, n. 306, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02860-2>.

HARINDINTWALI, J. D.; ZHOU, J. L.; YU, X. B. Lignocellulosic crop residue composting by cellulolytic nitrogen-fixing bacteria: a novel tool for environmental sustainability. **Science of the Total Environment**, v. 715, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136912>.

HEIDARZADEH, M. H.; AMANI, H.; JAVADIAN, B. Improving municipal solid waste compost process by cycle time reduction through inoculation of *Aspergillus niger*. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 17, p. 295-303, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00348-z>.

HENRY, A. B.; MAUNG, C. E. H.; KIM, K. Y. Metagenomic analysis reveals enhanced biodiversity and composting efficiency of lignocellulosic waste by thermoacidophilic effective microorganism (tEM). **Journal of Environmental Management**, v. 276, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111252>.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J. O. Método simples e acessível para determinar amônia liberada pela cama aviária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 824-829, 2001.

JANNI, K. A.; ENDRES, M. I.; RENEAU, J. K.; SCHOPER, W. W. Compost Dairy Barn Layout and Management Recommendations. **American Society of Agricultural and Biological Engineer**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2007. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.22333>.

JIANG, J. S.; LIU, X. L.; HUANG, Y. M.; HUANG, H. Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. **Waste Management**, v. 39, p. 78-85, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.025>.

JIANGANG, L.; DMITRI, V.; DONG, M. Y. Effect of rock dust-amended compost on the soil properties, soil microbial activity, and fruit production in an apple orchard from the Jiangsu province of China. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 10, p. 1313-1326, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1795136>.

JURADO, M. M.; SU'AREZ-ESTRELLA, F.; VARGAS-GARCÍA, M. C.; L'OPEZ, M. J.; L'OPEZ-GONZ'ALEZ, J. A.; MORENO, J. Increasing native microbiota in lignocellulosic waste composting: effects on process efficiency and final product maturity. **Process Biochemistry**, v. 49, p. 1958-1969, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.08.003>.

JURADO, M. M.; SU'AREZ-ESTRELLA, F.; L'OPEZ, M. J.; VARGAS-GARCÍA, M. C.; L'OPEZ-GONZ'ALEZ, J. A.; MORENO, J. Enhanced turnover of organic matter fractions by

microbial stimulation during lignocellulosic waste composting. **Bioresource and Technology**, v. 186, p. 15-24, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.059>.

KAUSAR, H.; ISMAIL, M. R.; SAUD, H. M.; HABIB, S. H.; OTHMAN, R.; BHUIYAN, M. S. H. Changes of physical and chemical characteristics during microbial composting of rice straw at various pH levels. **Compost Science and Utilization**, v. 22, p. 153-163, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2014.918864>.

KIEHL, J. C. Comentário do artigo “Como evitar a perda de nitrogênio de adubos por volatilização”. **Boletim Informativo**, v. 21, n. 3, p. 118-119, 1996.

KIEHL, J. E. **Manual de compostagem: Maturação e Qualidade do composto**. 3 ed. Piracicaba: Edição do autor, 2002. 171p.

KIM, Y. J.; CHOO, B. K.; CHO, J. Y. Effect of gypsum and rice straw compost application on improvements of soil quality during desalination of reclaimed coastal tideland soils: Ten years of long-term experiments. **Catena**, v. 156, p. 131-138, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.008>.

KURATA, Y.; MORI, Y.; ISHIDA, A.; NAKAJIMA, M.; ITO, N.; HAMADA, M.; YAMASHITA, K.; FUJIWARA, T.; TONOSAKI, M.; KATAYAMA, Y. Variation in hemicellulose structure and assembly in the cell wall associated with the transition from earlywood to latewood in *Cryptomeria japonica*. **Journal Wood Chemistry and Technology**, v. 38, n. 3, p. 254-263, 2018.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? **Chemical Geology**, v. 60, p. 361-370, 1987. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90143-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90143-4).

LI, J. G.; DONG, Y. H. Effect of a rock dust amendment on disease severity of tomato bacterial wilt. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 103, n. 1, p. 11-22, 2013. DOI: [10.1007/s10482-012-9781-4](https://doi.org/10.1007/s10482-012-9781-4).

LI, R.; WANG, J. J.; ZHANG, Z.; SHEN, F.; ZHANG, G.; QIN, R.; LI, X.; XIAO, R. Nutrient transformations during composting of pig manure with bentonite. **Bioresource Technology**, v. 121, p. 362-368, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.065>.

LI, Y.; LUO, W.; LI, G.; WANG, K.; GONG, X. Performance of phosphogypsum and calcium magnesium phosphate fertilizer for nitrogen conservation in pig manure composting. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 53-59, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.172>.

LI, J.; MAVRODI, D. V.; DONG, Y. Effect of rock dust-amended compost on the soil properties, soil microbial activity, and fruit production in an apple orchard from the Jiangsu province of China. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 10, p. 1313-1326, 2021.

LIU, D.; LIAN, B.; WANG, B.; JIANG, G. Degradation of potassium rock by earthworms and responses of bacterial communities in its gut and surrounding substrates after being fed

with mineral. **PLoS One**, v. 6, n. 12, p. e28803, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028803>.

LIU, N.; ZHOU, J. L.; HAN, L. J.; HUANG, G. Q. Characterization of lignocellulosic compositions' degradation during chicken manure composting with added biochar by phospholipid fatty acid (PLFA) and correlation analysis. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 1003-1011, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.081>.

MAEDA, K.; HANAJIMA, D.; MORIOKA, R.; OSADA, T. Characterization and spatial distribution of bacterial communities within passively aerated cattle manure composting piles. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 24, p. 9631-9637, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.07.057>.

MANNING, D. A.; THEODORO, S. H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. The **Extractive Industries and Society**, v. 7, n. 2, p. 480-487, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002>.

MATOS, A. T. **Apostila do Curso sobre Tratamento de Resíduos Agroindustriais- Tratamento de resíduos agroindustriais**. Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental/UFV. Universidade Federal de Viçosa. Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005.

MEENA, V. S.; MAURYA, B. R.; VERMA, J. P.; MEENA, R. S. Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture. **Springer India**, p. 293-313, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2>.

NAUJOKIENE, V.; BAGDONIENÉ, I.; BLEIZGAYS, R.; RUBEŽIUS, M. A biotreatment effect on dynamics of cattle manure composition and reduction of ammonia emissions from agriculture. **Agriculture**, v. 11, n. 303, p. 1-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11040303>.

OLIVEIRA, A. L. M.; COSTA, K. R.; FERREIRA, D. C.; MILANI, K. M. L.; SANTOS, O. J. A. P.; SILVA, M. B.; ZULUAGA, M. Y. A. Biodiversity of soil bacteria and its applications for a sustainable agriculture. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, p. 56-77, 2014.

OLIVEIRA, C. E. A.; DAMASCENO, P. F. P.; FERRAZ, J. A. C.; NASCIMENTO, G. A. S.; BARBARI, M. Geostatistics applied to evaluation of thermall conditions and noise in compost dairy barns with different ventilation systems. **Agronomy Research**, v. 17, n. 3, p. 783-796, 2019.

ONWOSI, O. C.; IGBOKWE, V. C.; ODIMBA, J. N.; EKE, I. E.; NWANKWOALA, M. O.; IROH, I. N.; EZEUGU, L. I. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects, **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 140-157, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>.

PARADELO, R.; MOLDES, A. B.; BARRAL, M. T. Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes. **Journal Environmental Management**, v. 116, p. 18-26, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.001>.

PICCOLO A. In memoriam Prof. F.J. Stevenson and the question of humic substances in soil. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 3, p. 1-3, 2016.

QU, G.; CAI, Y.; LV, P.; MA, X.; XIE, R.; XU, Y.; NING, P. Effect of EM microbial agent on aerobic composting for dairy cattle manure. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, p. 6945-6958, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2146-4>.

RAMOS, C. G.; HOWER, J. C.; BLANCO, E.; OLIVEIRA, M. L. S.; THEODORO, S. H. Possibilities of using silicate rock powder: An overview, **Geoscience Frontiers**, v. 13, p. 101185, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101185>.

RASTOGI, M.; NANDAL, M.; KHOSLA, B. Microbes as vital additives for solid waste composting. **Heliyon**, v. 6, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343>.

RIBEIRO, I. D. A.; VOLPIANO, C. G.; VARGAS, L. K.; GRANADA, C. E.; LISBOA, B. B.; PASSAGLIA, L. M. P. Use of mineral weathering bacteria to enhance nutrient availability in crops: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 590774, 2020.

SHAH, G. M.; SHAH, G. A.; GROOT, J.; OENEMA, O.; LANTINGA, E. A. Irrigation and lava meal use reduce ammonia emission and improve N utilization when solid cattle manure is applied to grassland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 160, p. 59-65, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.017>.

SHAH, G. A.; SHAH, G. M.; RASHID, M. I.; GROOT, J.C.J.; TRAORE, B.; LANTINGA, E. A. Bedding additives reduce ammonia emission and improve crop N uptake after soil application of solid cattle manure. **Journal of Environmental Management**, v. 209, p. 195-204, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.035>.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SOUDEJANI, H. T.; KAZEMIAN, H.; INGLEZAKIS, V. J.; ZORPAS, A. A. Application of zeolites in organic waste composting: A review. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 22, p. 2-29, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101396>.

SOUZA, M. A.; CALHEIROS, A. R.; ARAUJO, K. D.; GOMES, D. L.; LIRA, E. S.; SANTOS, E. M. C. S. Chemical composition and leaf decomposition rate by *Byrsonima gardneriana*. **Diversitas Journal**, v. 4, n. 2, p. 323-331, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i2.750>.

SWOBODA, P.; DORING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review, **Science of the Total Environment**, v. 807, p. 150976, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>.

TAVARES, L. F.; CARVALHO, A. M. X.; CAMARGO, L. G. B.; PEREIRA, S. G. F.; CARDOSO, I. M. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 7, n. 2, p. 89-98, 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574p.

THEODORO, S. H.; MEDEIROS, F. P.; IANNIRUBERTO, M.; JACOBSON, T. K. B. Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, 2021, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103014>.

VAN STRAATEN, P. **Agrogeology: the use of rocks for crops**. Enviroquest & Peter van Straaten, Ontario: Canada, 2007.440 p.

VOROPAEV, V.; ALFIMOVA, N.; NIKULIN, I.; NIKULICHEVA, T.; TITENKO, A.; NIKULICHEV, V. Influence of gypsum-containing waste on ammonia binding in animal waste composting. **Agriculture**, v. 11, p. 2-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11111153>.

WAN, L. B.; WANG, X. T.; CONG, C.; LI, J. B.; XU, Y. P.; LI, X. Y.; HOU, F. Q.; WU, Y. Y.; WANG, L. L. Effect of inoculating microorganisms in chicken manure composting with maize straw. **Bioresource Technology**, v. 301, p. 1-31, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122730>.

WANG, H. Y.; FAN, B. Q.; HU, Q. X.; YIN, Z. W. Effect of inoculation with *Penicillium expansum* on the microbial community and maturity of compost. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 11189–11193, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.044>.

WEI, Y. Q.; WU, D.; WEI, D.; ZHAO, Y.; WU, J. Q.; XIE, X. Y.; ZHANG, R. J.; WEI, Z. M. Improved lignocellulose-degrading performance during straw composting from diverse sources with actinomycetes inoculation by regulating the key enzyme activities. **Bioresource Technology**, v. 271, p. 66-74, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.081>.

WU, Y. P.; CHEN, Y. X.; SHAABAN, M.; ZHU, D. W.; HU, C. X.; CHEN, Z. B.; WANG, Y. Evaluation of microbial inoculants pretreatment in straw and manure co-composting process enhancement. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, p. 1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118078>.

XI, B. D.; ZHANG, G. J.; LIU, H. L. Process kinetics of inoculation composting of municipal solid waste. **Journal of Hazardous Materials**, v. 124, p. 165-172, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.04.026>.

XI, B. D.; HE, X. S.; DANG, Q. L.; YANG, T. X.; LI, M. X.; WANG, X. W.; LI, D.; TANG, J. Effect of multi-stage inoculation on the bacterial and fungal community structure during organic municipal solid wastes composting. **Bioresource Technology**, v. 196, p. 399-405, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.069>.

XU, J. Q.; LU, Y. Y.; SHAN, G. C.; HE, X. S.; HUANG, J. H.; LI, Q. L. Inoculation with compost-barn thermophilic complex microbial consortium induced organic matters degradation while reduced nitrogen loss during co-composting of dairy manure and sugarcane leaves. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, p. 2467-2477, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0293-y>.

YANG, F.; LI, G.; SHI, H.; WANG, Y. Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. **Waste Management**, v. 36, p. 70-76, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.012>.

YUAN, J.; LI, Y.; CHEN, S.; LI, D.; TANG, H.; CHADWICK, D.; LI, S.; LI, W.; LI, G. Effects of phosphogypsum, superphosphate, and dicyandiamide on gaseous emission and compost quality during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 270, p. 368-376, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.023>.

ZENG, G. M.; HUANG, H. L.; HUANG, D. L.; YUAN, X. Z.; JIANG, R. Q.; YU, M.; YU, H. Y.; ZHANG, J. C.; WANG, R. Y.; LIU, X. L. Effect of inoculating white-rot fungus during different phases on the compost maturity of agricultural wastes. **Process Biochemistry**, v. 44, p. 396-400, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2008.11.012>.

ZHAO, Y.; LU, Q.; WEI, Y. Q.; CUI, H. Y.; ZHANG, X.; WANG, X. Q.; SHAN, S.; WEI, Z. M. Effect of actinobacteria agent inoculation methods on cellulose degradation during composting based on redundancy analysis. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 196-203, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.117>.

**ARTICLE 2 - SPATIAL VARIABILITY CHARACTERIZATION OF THE
THERMAL ENVIRONMENT IN A COMPOST BARN SHED PARTIALLY
COVERED WITH PHOTOVOLTAIC PLATES**

ABSTRACT

Microclimate studies of facilities are essential to ensure animal welfare. In this sense, this work aimed to characterize the spatial variability of the thermal environment inside a compost-bedded pack barn (CB) shed that has photovoltaic panels disposed along one of its roof slopes. The research was carried out in a CB shed located in the municipality of Rio Paranaíba in Minas Gerais during the spring, summer, fall, and winter seasons of 2021. Temperature and globe humidity indexes (BGHI) were determined at heights of 1,0, 2,0, 3,0, and 4,0 meters through the collection of 60 uniformly distributed points along the length of the barn. Radiant thermal load (RTL) was also determined at heights of 1,0, 2,0, 3,0, and 4,0 meters in three different positions inside the barn's cross-section. The BGHI and RTL data were subjected to geostatistical analysis to assess the spatial variability through semivariograms and kriging maps. The modeling proved effective in representing the barn's microclimate. The kriging-estimated maps of BGHI and RTL allowed for the visualization of specific points of potential discomfort for the animals inside the facility. It was not observed changes in the thermal environment inside the barn due to the disposition of photovoltaic panels on the roof, particularly at the cow level.

Keywords: Heat stress. Dairy cattle. Lockdown. Roof. Geostatistics.

1. INTRODUCTION

Dairy cow farming is a crucial activity to ensure the production of high-quality and nutritious food for the population. Furthermore, it presents itself as a highly significant sector for the economic development of many countries. However, like other industries, it requires investments in research and technology to achieve higher levels of productivity and profitability within a sustainable context. Bewley et al. (2017) state that the choice of the production environment for dairy cows is a crucial decision for milk producers, primarily due to their productivity and profitability being strictly dependent on it (VILLETIAZ et al., 2019).

Among the factors that affect the productive performance of dairy cattle, the rearing environment stands out, encompassing everything from the choice of installation model to the equipment used for thermal environment control and management techniques. The rearing environment directly influences the comfort and well-being conditions of the animals, characterized by basic physical elements such as air temperature, relative humidity, air flow velocity, and sunlight (FOURNEL et al., 2017).

Dairy cows in Brazil, especially those of European breeds, are susceptible to heat stress for a significant part of the year, particularly during peak solar radiation hours in tropical regions like Brazil. In this context, daily monitoring of the parameters used to assess the comfort of the animals is essential for adjusting management practices, as climatic elements are dynamic and capable of inducing changes in the behavior and physiological responses of the animals.

For this reason, some indices have been developed, originating from the combination of various climatic elements into a single equation, capable of assessing the level of thermal stress in animals (HERBUT et al., 2018). Among these, the Black Globe Humidity Index (BGHI) (BUFFINGTON, 1981) and the Radiant thermal load (RTL) (SILVA; MAIA, 2013) can be highlighted.

The BGHI is an index proposed by Buffington et al. (1981) that takes into consideration the black globe temperature, replacing the common dry bulb temperature, and also accounts for net radiation. Baêta (1985) classified the BGHI in dairy cows as follows: values below 74 indicate a comfort situation; values ranging from 74 to 78.9 characterize a situation of mild thermal stress, and values from 79 to 84 indicate that the animals are in a dangerous situation, i.e., experiencing high thermal stress. The RTL, as defined by Silva and Maia (2013), is the amount of radiation that falls on one square meter of surface, representing all heat exchanged between a body and the environment through radiation. It is quantified using a black globe

thermometer. Therefore, the RTL is capable of inferring about the influence, for instance, of shadow on the reduction of thermal energy that affects animals through radiation.

In recent years, as part of efforts to achieve higher productivity and profitability, there has been a growing adoption of intensive farming systems among rural producers, with the Compost Barn (CB) standing out as one of the prominent choices. According to Barberg et al. (2007a), the CB system is essentially a confinement barn consisting of an area with a bed made up of organic materials rich in carbon, which undergo a composting process over time due to the mixture of animal excreta and urine with the bed material (JANNI et al., 2007). Inside the barn, there may be a concrete corridor where feeding troughs and water troughs are arranged. In the absence of such a concrete area, feeding and water troughs can be placed in another concrete area, which may be external to the barn or even at one of the ends of the CB bed area (FAVERO et al., 2015).

The widespread recognition of this farming system is justified by its ability to increase productivity, provide greater comfort and well-being to animals, achieve better cleanliness scores, reduce the incidence of leg and hoof disorders, minimize odors and fly populations, lower water usage, decrease expenses related to manure storage, and utilize the composted bed material for agricultural purposes. These benefits have been demonstrated in studies conducted by Barberg et al. (2007a), Barberg et al. (2007b), Bewley et al. (2013), Black et al. (2013), Eckelkamp et al. (2016), and Shane et al. (2010). On the other hand, these researchers report the existence of several disadvantages, including a higher demand for labor, increased fuel consumption for machinery, and elevated electricity costs for operating the ventilation systems (GALAMA, 2014).

In this regard, while intensive farming systems have gained increasing popularity in dairy farming, there is a certain concern about the rising production costs due to the higher demand for electricity, particularly for maintaining the necessary requirements for animal thermal comfort. An alternative to deal with these challenges is based on the use of photovoltaic solar panels on the properties. This enables the producer to manage their high energy consumption while saving on the monthly payments to the electricity distribution networks through energy compensation between the photovoltaic system and the electrical grid, as outlined by the Brazilian National Electric Energy Agency (ANNEL, 2012).

In general, photovoltaic panels are installed on rooftops to make use of the available space required for their installation. In some cases, they have also been used in parking lots and sidewalks to provide shade and consequently improve the local thermal environment, as reported by Hatvani-Kovacs et al. (2018), who highlight that their use enhances thermal comfort

and resilience to heat. However, when it comes to dairy cattle confinement facilities, most of the time, photovoltaic panels are installed on the roofs of the buildings themselves. However, there is a lack of studies regarding the influence of installing photovoltaic panels on the roofs on the indoor environment of these facilities, specifically where the animals are confined.

In this context, the aim of this study was to characterize the spatial variability of the thermal environment inside a Compost Barn facility, where one side of the roof was covered with photovoltaic panels. This was achieved by using the Black Globe Humidity Index (BGHI) and the Radiant thermal load (RTL) as measurement parameters.

2. MATERIALS AND METHODS

The data for this study were collected in a commercial Compost Barn (CB) located in the county of Rio Paranaíba - MG, at coordinates 19°20'36,45"S and 46° 8'3,67"W, at an altitude of 1.073 m in the year 2021. The climate of the region is classified as Cwa according to the Köppen classification (ALVARES et al., 2013).

The barn has dimensions of 54,0 x 84,0 m and is oriented (ridge of the roof) in the direction 163°20'51"N, with a stocking density of 10 to 11 m² cow⁻¹. The installation has a ceiling height of 4,20 m. The two sides of the shed have feeding corridors measuring 4,0 meters in width and 84,0 meters in length. Along each of the corridors, there are 5 salt troughs and 12 water troughs with dimensions of 2,70 meters in length and 0,30 meters in width, as shown in Figure 1.

Figure 1 - A) Feeding corridor, B) Bedding area, and C) Salt troughs and water troughs of the characterized CB shed.



Source: By the Author.

The resting area of the animals (bedding) has dimensions of 38,0 x 54,0 m, totaling 2.052 m². The facility features 30 High Volume Low Speed (HVLS) fans, Magnum Evolution™ XC brand, installed every 18,0 m along the length of the shed. The fan blades have

dimensions of 1,52 m x 1,52 m, with a power rating of 745,7 W, rotating at 430 rpm, and providing an airflow rate of 70.000 m³ per hour. These fans were operational 24 hours a day. These fans were installed at a height of 4,0 m from the floor, with a 45° inclination, facing towards the animals.

The shed's roof is composed of galvanized steel tiles in a gabled structure, with a 35% slope and a 1,5 m opening at the ridge (skylight). On one side of the roof (northeast face), spanning its entire length, the shed has 87 photovoltaic panels installed for the collection of solar radiation. These panels have individual dimensions of 1,65 m x 0,991 m x 0,035 m, totaling an area of 142.25 m², as shown in Figure 2.

Figure 2 - Arrangement of photovoltaic panels on the roof of the Compost Barn (CB) under study.



Source: By the Author.

The panels have a direct current power rating of 272,25 kWp, IP 54, working voltage of 220/127 V, and a short-circuit current (Isc) of 15,05 kA. A total of 990 modules were connected in series. The system is equipped with 4 inverters (4BB) with a power rating of 60 kW each. They operate with maximum and minimum voltages of 997 Vdc and 611 Vdc, respectively, and a current of 114,04 A, depending on the incident solar radiation. The energy conversion efficiency of the photovoltaic modules corresponds to 16,51%, as reported by JA Solar (2016). The power generation of the photovoltaic panels follows the Power-Voltage curves presented in the manufacturer's manual (JA Solar, 2016).

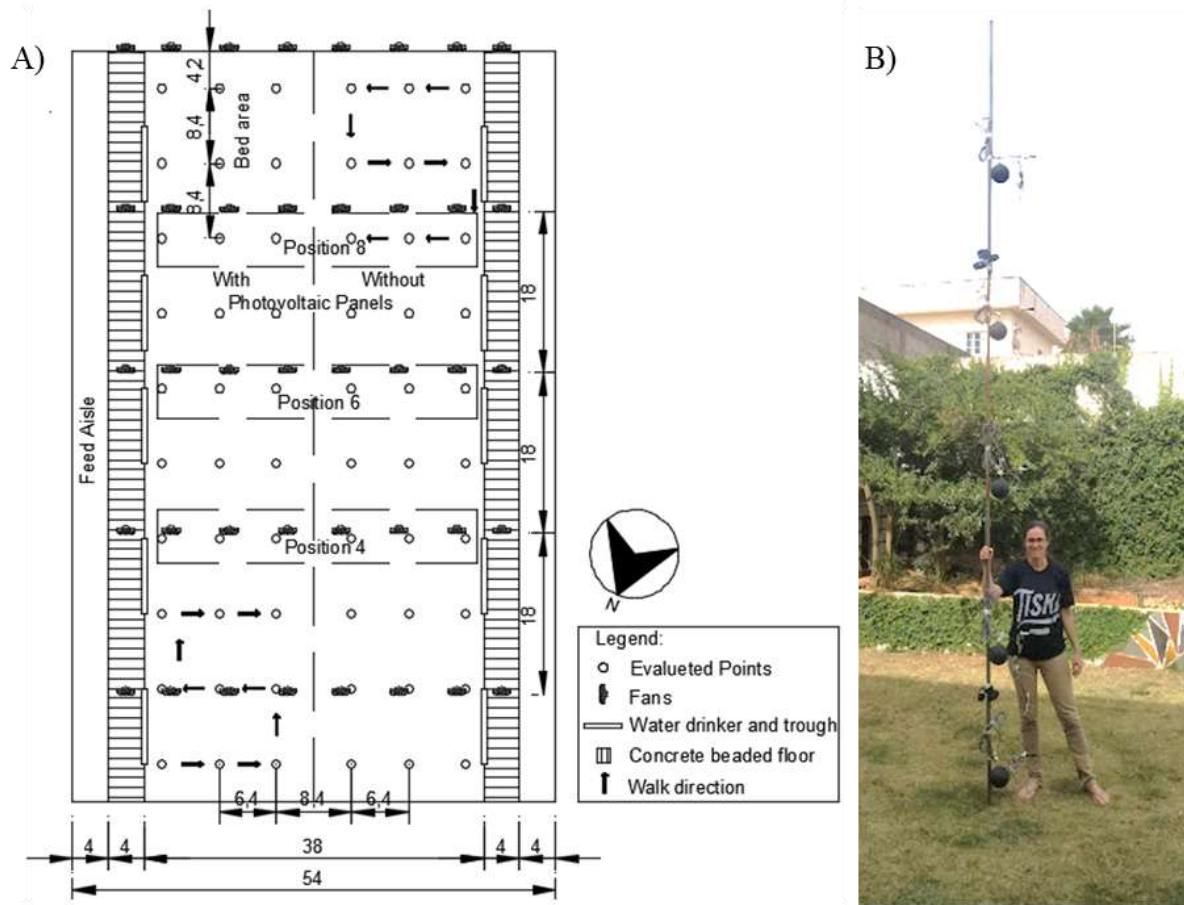
The energy generated by each photovoltaic panel is dependent on the incident solar radiation. For the shed under study, the estimated average daily solar irradiation for the evaluated months corresponding to the spring, summer, autumn, and winter seasons are 5,47, 5,61, 4,45, and 4,49 kWh m⁻² day⁻¹, respectively, according to the Center of Reference for Solar and Wind Energy Sérgio Brito (CRESESB). In this context, the estimated energy produced by the panels in the respective seasons, spring, summer, autumn and winter, corresponded to 128,46, 131,75, 104,51, and 105,45 kWh day⁻¹, respectively. It is worth noting that during the

evaluations, the photovoltaic panels were in full operation, and there was also an absence of cloudiness.

The material used for the bedding in the CB of this shed was coffee husk. The floor base is made up of compacted earth. The new bedding was placed inside the shed with an initial height of 0,30 m and was stirred twice a day using a scarifier pulled by a tractor while the animals were being milked. The replenishment of bedding, approximately 0,10 m in depth, was carried out based on its moisture level, assessed through a visual and tactile analysis. This replenishment was done approximately every 40 days, especially during rainy periods. The animals received 5 minutes of water wetting through sprinklers twice a day, near the feeders, after the morning and afternoon milkings. The sprinkler activation was done manually. In the shed, 200 Holstein cattle were housed, ranging in age from 20 to 56 months, with a total daily milk production of approximately 11.500 liters.

The characterization of the thermal environment of the facility was carried out during the spring, summer, autumn, and winter seasons of the year 2021. Data collection was performed on three consecutive days for each season. To assess the spatial distribution of bioclimatic conditions inside the shed, the bedding area was divided into 60 evenly distributed points, as shown in Figure 3A.

Figure 3- Layout of the CB shed, with indications of the experimental evaluation direction, position of the fans, and location of the assessed points.



Source: By the author.

At each of the 60 points, during each season of the year, the dry bulb temperature (T_{bs}), black globe temperature (T_{gn}), and relative humidity (UR) were measured using portable HOBOWare[®] dataloggers, model U12-011, with an accuracy of $\pm 3\%$. Additionally, the wind speed (v) was measured using an Accusense[®] hot wire anemometer, model F900-P-10-0, which recorded values ranging from 0,15 to 10 $m s^{-1}$ with an accuracy of $\pm 0,05 m s^{-1}$. The dataloggers were calibrated before the experimental evaluation using a thermal stress meter, model TGD-400 Instrutherm[®], with a sampling rate of 1 sample per second, a range of -10 to 150 $^{\circ}C$, resolution of 0,1 $^{\circ}C$, and an accuracy of $\pm 0,5 ^{\circ}C$ for measurements of black globe temperature, dry bulb temperature, and wet bulb temperature. For air flow measurements, the meter has a range of 0 to 20 $m s^{-1}$, a resolution of 0,1 $m s^{-1}$, and an accuracy of $\pm 4\%$. The sensors were installed on a 4,0 m high mast at positions 0,3 m, 1,0 m, 2,0 m, and 4,0 m above the ground (Figure 3B). The dataloggers were programmed to record the variables every 10 seconds, remaining at each collection point for 1 minute to stabilize. The last 3 values were noted at each point for later calculation of the average data for each variable at that specific point. The

collections were always performed at 11:00 a.m., considering that the sun would be shining on the canopy more closely perpendicular to it for the longest period of time until the end of each evaluation. A datalogger HOBOWare[®] was also installed in the external area of the shed to monitor the climatic conditions. It measured dry bulb temperature, black globe temperature, and relative humidity every one minute during all evaluation periods. The direction of movement for obtaining the climatic variables was established according to the logistics imposed by the structural characteristics and distribution of equipment at the site, as can be visualized in Figure 3A.

After collecting the data, thermal environmental indices inside the shed were evaluated. The black globe humidity index (BGHI) at heights corresponding to 0,3 m, 1,0 m, 2,0 m, 3,0 m and 4,0 m were determined according to Equation 1 (BUFFINGTON et al. 1981).

$$BGHI = T_{gn} + 0,36T_{po} - 330,08 \quad (1)$$

em que:

T_{gn} = black globe temperature (K),

T_{po} = dew point temperature (K).

The radiant thermal load (RTL) of the vertical profile of the shed was also determined at heights corresponding to 0,3 m, 1,0 m, 2,0 m, 3,0 and 4,0 m for positions 4, 6 and 8 (Figure 3A) using Equations 2 and 3, respectively, proposed by Esmay (1969) and cited by Leitão et al. (2013):

$$RTL = \sigma (TRM)^4 \quad (2)$$

Where σ is the Stefan-Boltzmann constant ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) and TRM is the mean radiant temperature, K, calculated by:

$$TRM = 100 \sqrt[4]{2,51\sqrt{v}(T_{gn}-T_{bs}) + \left(\frac{T_{gn}}{100}\right)^4} \quad (3)$$

where,

v = wind speed (m s^{-1}) e

T_{bs} = dry bulb temperature (K)

The average of the three days for each season of the thermal comfort indices, BGHI and RTL, were subjected to geostatistical modeling to assess the spatial distribution of the

microclimate within the facility and the dependence between the sampling points. The spatial dependence of the environmental variables BGHI and RTL was analyzed through the fitting of a semivariogram, followed by ordinary kriging interpolation, which allowed the generation of spatial distribution maps for the evaluated variables along the vertical profile and the length of the shed. This method was used to predict the levels of variables at unsampled locations within the shed.

The Matheron's estimator (1962) was used to estimate the semivariogram according to Equation 4, aiming to quantify the spatial dependence of the indices inside the installation.

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (4)$$

where $N(h)$ is the number of observation pairs, $Z(X_i)$ and $Z(X_i+h)$, separated by a distance h .

onde $N(h)$ é número de pares de observação, $Z(X_i)$ e $Z(X_i+h)$ separados por uma distância h . From the adjustment of a mathematical model $\hat{\gamma}(h)$, the coefficients of the theoretical model were obtained for the semivariogram, called nugget effect (C_0), contribution (C_1), sill ($C_0 + C_1$), and range (A).

The spatial dependence index (SDI) was used to analyze the spatial dependence and calculated from the ratio between the nugget effect (C_0) and the sill ($C_0 + C_1$). To analyze the SDI of the attributes under study, the classification by Cambardella et al. (1994), in which a strong dependence is considered in semivariograms with $SDI \leq 25\%$; moderate dependence on semivariograms with $25\% < SDI \leq 75\%$ and weak dependence on semivariograms with $SDI > 75\%$. The semivariogram was adjusted by the Ordinary Least Squares method.

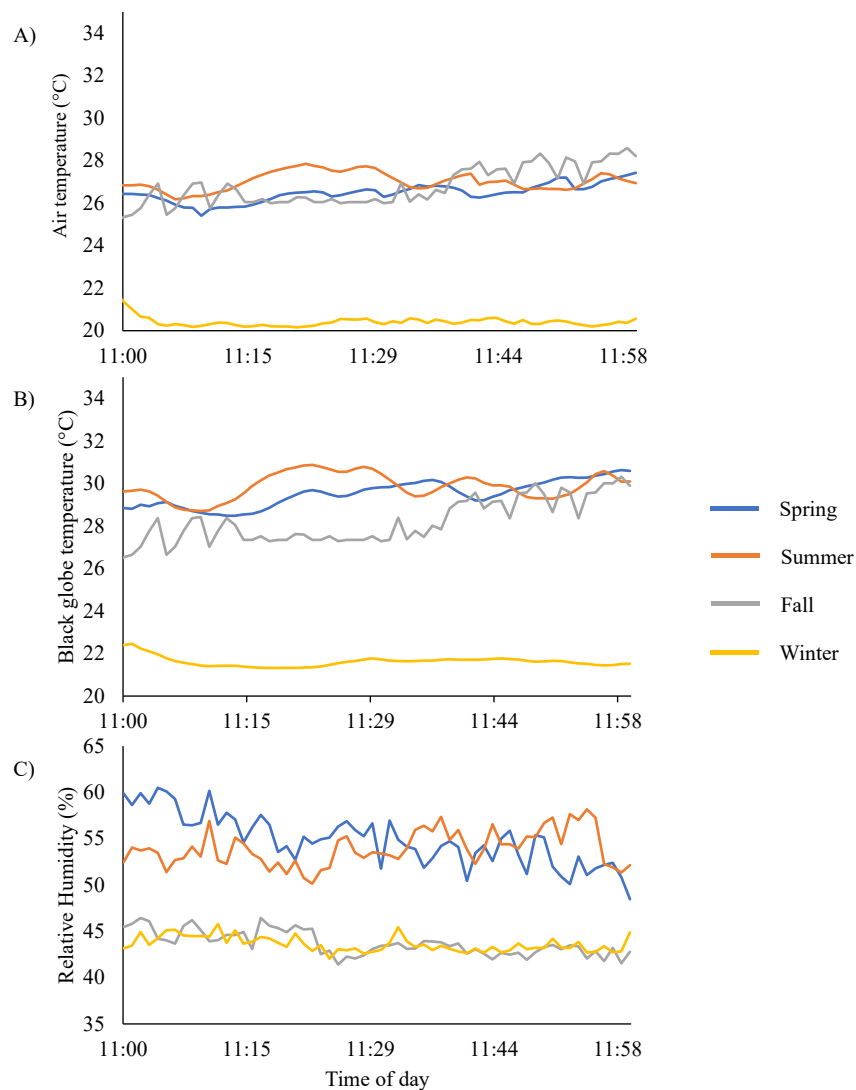
The models tested for the adjustment of the experimental semivariogram were spherical, exponential, and Gaussian, according to Vieira et al. (2010), and through the geoR library (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001) of the software R Development Core Team (2016).

Subsequently, once the semivariogram of the variables was known and spatial dependence occurred, the levels of spatial distribution maps of the variables IBGH at heights 0,3 m, 1,0 m, 2,0 m, 3,0 and 4,0 m of each season of the year and RTL in positions 4, 6 and 8 (Figure 3A) of each season of the year (VIEIRA, 2000). From the interpolated data, maps of the response surface were generated using the SurferR software, version 13.4.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of air temperatures (T_{ar}) and black globe temperatures (T_{gn}), expressed in °C, and relative humidity (UR), expressed in %, during the spring, summer, autumn, and winter seasons, collected in the external environment of the Compost Barn, while data on the internal environment of the barn were being collected, are presented in Figure 5.

Figure 5 - A) Mean air temperature (T_{ar}) in °C, B) Black globe temperature (T_{gn}) in °C and C) Relative humidity (UR) in % during the spring, summer, autumn, and winter seasons, in the external environment of the Compost Barn, throughout the evaluation periods.



Source: By the author.

It can be observed that the average T_{gn} in each season did not undergo abrupt changes during the experimental periods, varying from 28,48 to 30,63°C in spring, 28,70 to 30,9°C in summer, 26,19 to 30,32°C in autumn, and 21,31 to 22,45°C in winter. Typically, T_{gn} shows

higher values than the ambient temperature (T_{ar}) because it is capable of representing the effect of radiation received by the animal in a specific environment, as the thermometer is placed inside a hollow and black sphere, which ensures maximum absorptivity and emissivity (SANTOS; CABRAL, 2021).

The main environmental factors that, when combined, cause thermal stress in animals are ambient temperature, relative humidity, and solar radiation (WEST; MULLINIX; BERNARD, 2003). Berman et al. (1985) suggested that the upper limit of ambient temperature at which Holstein cattle can maintain a stable body temperature is 25 to 26°C and that above 25°C, measures should be implemented to minimize the increase in body temperature. For Holstein breed, feed intake and milk production are affected when the ambient temperature ranges from 24°C to 26°C, from 27°C to 29°C for Jersey breed, and 29.5°C for Brown Swiss breed (PEREIRA, 2005).

It can also be observed from Figure 5 that the relative humidity (UR) during the spring and summer seasons ranged from 48,45% to 60,5% and from 50,13% to 58,15%, respectively. However, during the autumn and winter, the UR ranged from 41,41% to 46% and from 42,03% to 45,79%, respectively. High UR combined with high temperatures can compromise the performance of dairy cow due to the reduction in the thermal gradient. These effects can lead to a decrease in dry matter intake and subsequently reduce milk production in cows (WEST, 2003). In this context, regardless of the season, during the present evaluation period, the climatic conditions associated with T_{gn} and UR outside the Compost Barn remained mild and within an acceptable climatic range.

Table 1 presents the method, model, and estimated semivariogram parameters for BGHI (Index of Temperature and Humidity Globe) inside the Compost Barn during the experimental periods of spring, autumn, summer, and winter. The data were collected at heights of 0,3, 1,0, 2,0, 3,0, and 4,0 meters above the bedding surface.

Table 1 - Method, model, and estimation of experimental semivariogram parameters for the mean values of each season for the Index of Temperature and Humidity Globe (BGHI) at different heights inside the Compost Barn.

Height (m)	Method	Model	C ₀	C ₁	C ₀ +C ₁	A	SDI	ME	SDR	RE	SDm
Spring											
0,30	OLS	S	1,262	2,027	3,289	44,212	38,368	0,001	0,958	0,000	1,308
1,00	OLS	G	0,233	151,483	151,716	732,685	0,154	0,003	0,936	0,003	0,467
2,00	OLS	G	0,214	18,747	18,961	198,894	1,129	0,002	0,991	0,002	0,481
3,00	OLS	G	0,308	0,835	1,143	31,997	26,919	0,002	0,708	0,002	0,427
4,00	OLS	G	0,183	2,390	2,573	54,075	7,120	0,002	0,897	0,002	0,412
Summer											
0,30	OLS	G	0,183	2,390	2,573	54,075	7,120	0,002	0,897	0,002	0,412
1,00	OLS	G	0,076	0,528	0,605	18,490	12,618	0,006	1,193	0,007	0,403
2,00	OLS	E	0,012	0,659	0,672	28,094	1,831	0,005	0,985	0,006	0,380
3,00	OLS	G	0,069	0,523	0,592	26,741	11,598	0,006	1,007	0,006	0,300
4,00	OLS	G	0,107	0,867	0,973	26,002	10,942	0,004	1,007	0,005	0,374
Fall											
0,30	OLS	G	0,150	0,796	0,946	22,647	15,816	0,005	0,975	0,005	0,460
1,00	OLS	G	0,042	0,213	0,255	35,000	16,458	0,003	0,988	0,006	0,235
2,00	OLS	G	0,078	0,429	0,508	27,998	15,445	0,008	1,228	0,012	0,415
3,00	OLS	G	0,071	6,968	7,039	117,374	1,004	0,009	0,920	0,012	0,353
4,00	OLS	G	0,079	0,727	0,806	31,971	9,813	0,008	1,185	0,012	0,393
Winter											
0,30	OLS	E	0,020	0,527	0,547	16,810	3,712	0,001	0,905	0,001	0,404
1,00	OLS	S	0,022	0,115	0,137	41,000	16,120	0,002	0,989	0,005	0,237
2,00	OLS	S	0,059	0,458	0,517	46,521	11,354	0,004	0,916	0,005	0,368
3,00	OLS	S	0,053	0,546	0,599	57,977	8,910	0,005	0,876	0,006	0,345
4,00	OLS	G	0,157	0,587	0,743	33,077	21,095	0,005	0,900	0,005	0,396

C₀ – nugget effect; C₁ – contribution; C₀+C₁ – sill; A – range; SDI (%) – spatial dependence; ME – mean error; SDR – Standard Deviation of Reduced Error; RE – Reduced Error; SDm – Standard Deviation of Mean Error; S – Spherical; G – Gaussian; E – Exponential; OLS – Ordinary Least Squares method.

Source: By the author.

It can be observed from Table 1 that the best fits of the semivariogram obtained for the Globe Temperature and Humidity Index (BGHI) were the Gaussian model, followed by the

Spherical model. Based on the cross-validation data, it can be verified that the fits found were adequate, as the ME (Mean Error) and RE (Reduced Error) values were close to zero ($<0,0100$), as well as the SDR (Standard Deviation of Reduced Error) values were close to one, as recommended by Isaaks and Srivastava (1989).

Among the geostatistical parameters, the nugget effect (C_0) can be highlighted as one of the main factors, indicating unexplained variability considering the sampling distance used (FERRAZ et al., 2017). For ITGU (Table 1), most C_0 values were low (close to or equal to zero), except at the height of 0,30 m in spring ($C_0=1,262$), which indicates that the evaluated variables and indices showed low unexplained variability, and the adjusted semivariograms did not show discontinuity.

On the other hand, according to Trangmar, Yost, and Uehara (1986), when detecting discontinuity represented by C_0 , which can be attributed to various factors such as collection and/or analysis errors, local variations, etc., it is not possible to quantify the contribution of each factor. In this case, it is important to use other forms of C_0 evaluation. One way is to use the Spatial Dependency Index (SDI) and express C_0 in relation to the sill ($C_0 + C_1$) and correlate this through the classification of Cambardella et al. (1994).

When SDI was used to evaluate the contribution of unexplained variability to BGHI (Table 1), it was found that, except for heights of 0,30 m (SDI = 38,37%) and 3,0 m (SDI = 26,92%) in spring, all SDI values obtained were less than 25%, indicating strong spatial dependence. In these cases, SDI showed moderate correlation, according to Cambardella et al. (1994), with the highest observed values corresponding to 38,36% and 26,91% at the respective heights (Table 1). Therefore, it can be inferred that the results obtained using ordinary kriging are representative for ITGU since the low contributions of the nugget effect related to the sill returned good results through the interpolation technique used in ordinary kriging (CURI et al., 2017).

Table 2 presents the method, model, and parameters of the semivariogram estimated for the Radiant Thermal Load (RTL) inside the Compost Barn during the experimental periods of spring, autumn, summer, and winter, collected at three different positions: 4, 6, and 8 (Figure 2).

Table 2 - Method, model, and estimated parameters of the experimental semivariogram for the mean values of Radiant Thermal Load (RTL) during each season at positions 4, 6, and 8 inside the Compost Barn.

Pos	Method	Model	C_0	C_1	C_0+C_1	A	SDI	ME	SDR	RE	SDm
Spring											
4	OLS	G	55,45	403,56	459,01	1,01	12,08	-0,46	0,99	-0,01	18,62
6	OLS	E	2566,44	1134522,98	1137089,43	19406,66	0,23	-0,10	0,93	0,00	50,79
8	OLS	E	303,79	381139,23	381443,02	46000,59	0,08	-0,08	1,05	0,00	19,77
Summer											
4	OLS	S	231,31	71059,39	71290,71	23152,96	0,32	0,00	1,14	0,00	18,62
6	OLS	G	280,74	61423,53	61704,28	638,54	0,45	0,02	1,08	0,00	18,79
8	OLS	S	103,60	436,94	540,55	1,83	19,17	-0,12	1,11	0,00	24,36
Fall											
4	OLS	G	421,56	440,26	861,81	159,09	48,92	0,00	1,03	0,00	21,67
6	OLS	E	0,00	97,19	97,19	0,96	0,00	-0,25	0,83	-0,01	7,26
8	OLS	G	253,15	96,83	349,99	801,82	72,33	0,00	1,00	0,00	16,17
Winter											
4	OLS	E	146,61	36140,51	36287,13	112823,58	0,40	0,00	1,02	0,00	12,71
6	OLS	G	70,66	1811,94	1882,60	867,12	3,75	0,00	1,05	0,00	8,97
8	OLS	E	72,03	152289,20	152361,23	89828,72	0,05	-0,05	1,00	0,00	9,16

C_0 – nugget effect; C_1 – contribution; C_0+C_1 – sill; A – range; SDI (%) – spatial dependence; ME – mean error; SDR – Standard Deviation of Reduced Error; RE – Reduced Error; SDm – Standard Deviation of Mean Error; S – Spherical; G – Gaussian; E – Exponential; OLS – Ordinary Least Squares method.

Source: By the author.

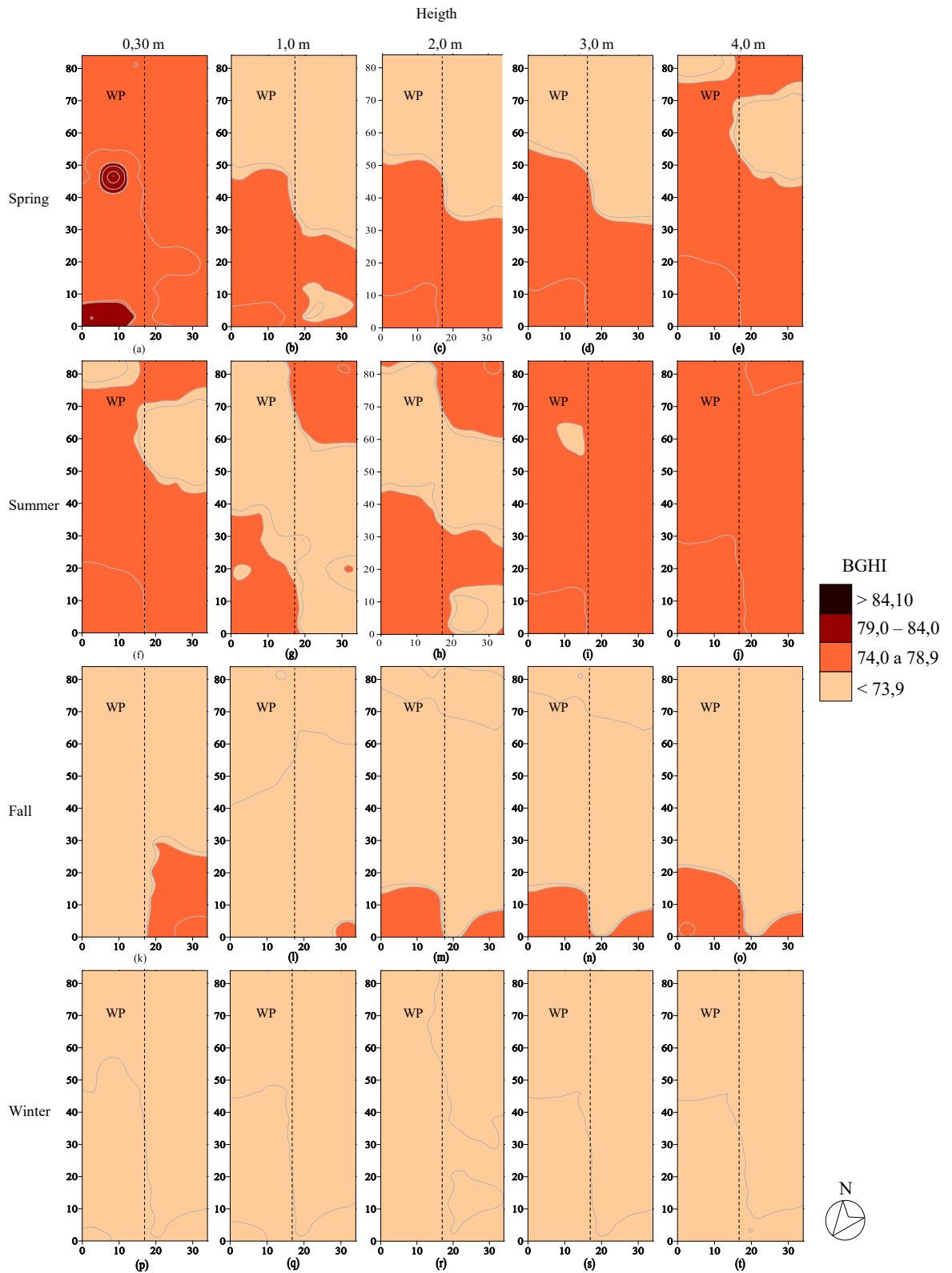
By Table 2, it is also observed that the semivariograms obtained for the RTL were fitted to Gaussian, exponential, and to a lesser extent, spherical models. Based on cross-validation, it can be verified that the obtained fittings were adequate, as ME and RE were close to zero (<0,0100), as well as SDR values close to one, as recommended by Isaaks and Srivastava (1989).

Unlike the BGHI, the nugget effect (C_0) for the RTL was low only at position 6 in the autumn, indicating high unexplained variability. However, according to SDI, strong spatial dependence was observed in all seasons and positions, except in the autumn, at positions 4 (SDI = 48,92%) and 8 (SDI = 72,33%), which showed a moderate correlation, according to Cambardella et al. (1994). Therefore, it can be inferred that the results obtained using ordinary kriging for the RTL are representative and do not have random spatial distribution, and the interpolation technique of ordinary kriging returned good results (CURI et al., 2017).

Mota, Andrade, and Leite (2019) evaluated BGHI and RTL in a Compost Barn in Minas Gerais at different times, with fans on and off, in the summer and winter of 2016. The researchers found strong spatial dependence for these indexes at 9:00 am with the fans on. In the absence of fans at this time, they found moderate and strong spatial dependence for BGHI and RTL, respectively. In the same evaluation, at 3:00 pm, the researchers concluded that these variables were random, with no spatial dependence. On the other hand, in winter, BGHI and RTL showed weak spatial dependence at 9:00 am with the ventilation system on and strong spatial dependence at 3:00 pm, with both fans on and off. Nonetheless, these researchers concluded that the geostatistical modeling was efficient in representing and studying the microclimate inside a Compost Barn.

Figure 6 shows the spatial distribution of BGHI in the spring, summer, autumn, and winter at 0,30 m, 1,0 m, 2,0 m, 3,0 m, and 4,0 m above the bed level, represented through kriging maps.

Figure 6 - Kriging maps of the interior of the barn for the index of temperature and humidity (BGHI) during the seasons of spring, summer, autumn, and winter at 0,30 m, 1,0 m, 2,0 m, 3,0 m and 4,0 m above the bed level.



*WP = Water on the roof with photovoltaic solar panels.

Source: By the author.

Through Figure 6, one can observe the variability of BGHI values in some regions inside the barn during different seasons and at different evaluated heights. The highest average values of this index were obtained during the spring and summer seasons, while the lowest average values were observed during the autumn and winter seasons. These results were expected, as higher values of air temperature and greater solar radiation incidence are typically observed during the spring and summer seasons.

In the spring season, at a height of 0,30 m, the BGHI presented an average value of 76,12, with maximum values of 84,0 observed in two regions, one ranging from 0 to 8,0 m and the other from 40,0 to 50,0 m along the length of the barn, in the area where photovoltaic panels were present on the roof (Figure 6a). According to Baêta (1985), these values indicate that the animals were in a situation of mild thermal stress throughout the barn. However, in these two specific regions, the animals experienced high thermal stress. It can be inferred that these higher BGHI values occurred due to a greater release of radiation from the bedding, which can be associated with various factors such as microbial activity and diversity, temperature, humidity, and aeration, as pointed out by Barberg et al. (2007a), Bewley et al. (2013), Black et al. (2013), Janni et al. (2007), Cotta et al. (2015), and Oliveira et al. (2019). Damasceno et al. (2020) mention that the more intense the microbial activity, the more efficient the composting process will be due to increased heat production; however, this heat release can lead to discomfort for the animals. It is worth noting that periodic bedding mixing at the same depth is essential, as highlighted by Cotta et al. (2015), who emphasize that aeration is the main mechanism capable of controlling the bedding temperature during the composting process, increasing the speed of organic material oxidation, reducing moisture, and decreasing odor concentration. Black et al. (2013) also comment that bedding mixing, in addition to promoting microbial activity, provides a fresh and dry surface for cattle to lie down.

In the spring season, at heights of 1,0, 2,0, 3,0, and 4,0 m (Figure 6b, 6c, 6d, and 6e), average BGHI values of 73,97, 74,21, 74,20, and 74,73 were observed, respectively. According to Baêta (1985), these values indicate that the animals were in a situation of mild thermal stress. However, at heights of 1,0, 2,0, and 3,0 m in the regions ranging from approximately 30,0 to 84,0 m, towards the middle of the barn and extending towards its final end, regardless of the presence or absence of photovoltaic panels, BGHI values were below 73,9. In these regions, it can be inferred that the animals present in these areas were in a state of comfort.

In Figure 6f, 6g, 6h, 6i, and 6j, the results of BGHI in the barn at different heights are shown, with average values of this index equal to 74,73, 73,89, 74,03, 74,89, and 75,52, respectively. In general, according to Baêta (1985), the animals were in a situation of mild

thermal stress throughout the barn, except in some regions at heights of 1,0 and 2,0 m, which correspond to the animal levels. At a height of 1,0 m (Figure 6g), BGHI values below 73,9 are observed in the region without photovoltaic panels until approximately 60,0 m, and then BGHI values increase after this distance. Near 40,0 m, this index also becomes lower than 73,9 in the region with photovoltaic panels. At the height corresponding to 2,0 m (Figure 6h), BGHI values below 73,9 are also observed in the region from 30,0 to 60,0 m on the side without photovoltaic panels. These values extend from approximately 42,0 m on the side with photovoltaic panels to the end of the barn.

The presence of heterogeneity and variability in BGHI within the facilities, especially when these values reflect thermal discomfort, are regions avoided by the animals. In this sense, they tend to reject such areas, grouping together in locations with lower levels of this index. According to Damasceno et al. (2020), these behaviors can lead to increased thermal discomfort due to overcrowding, higher risks of accidents from trampling of udders and tails, compaction, and deterioration of bedding quality.

In the autumn season (FIGURES 6k, 6l, 6m, 6n, 6o), the average BGHI values were 73,14, 72,22, 72,72, 72,72, and 73,16 at heights of 0,30, 1,0, 2,0, 3,0, and 4,0 m, respectively. According to Baêta (1985), the animals were in a comfortable situation, although it can be observed at heights of 2,0, 3,0 m, and 4,0 m (FIGURES 6m, 6n, and 6o) BGHI values between 74,0 and 78,9 within the first 15,0 m inside the barn, regardless of the presence or absence of photovoltaic panels. In the winter season (FIGURES 6p, 6q, 6r, 6s, and 6t), average BGHI values of 65,91, 65,85, 66,27, 65,71, and 65,86 were obtained at heights of 0,30, 1,0, 2,0, 3,0, and 4,0 m, respectively. According to Baêta (1985), the animals were in a comfortable situation in all regions of the barn, regardless of the roof's orientation.

It is worth noting that during the evaluation, it was possible to detect that factors such as the ceiling height, slope, and orientation of the facility allowed for direct solar radiation incidence inside the barn, especially during the fall and winter, which are times of the year with higher magnetic declination. Although the BGHI reflected comfortable conditions for the animals, it is recommended to install shading devices in the area called the gable of the roof, aiming to reduce direct solar incidence inside the facility, on the bedding, and on the animals (BAÊTA; SOUZA, 2010), which could further lower the average BGHI levels. Baêta and Souza (2010) emphasize that the orientation of the facility is a crucial aspect that should be considered even before the project's conception to avoid direct solar incidence inside the installations.

The presence or absence of photovoltaic panels on the roof did not seem to influence the BGHI values along the barn, regardless of the evaluated height. It is worth noting that there

was a considerable distance from the roof to the assessed heights. Additionally, the ventilation fans were in full operation during the evaluations, which might have masked the BGHI values, especially at the 4.0 m height.

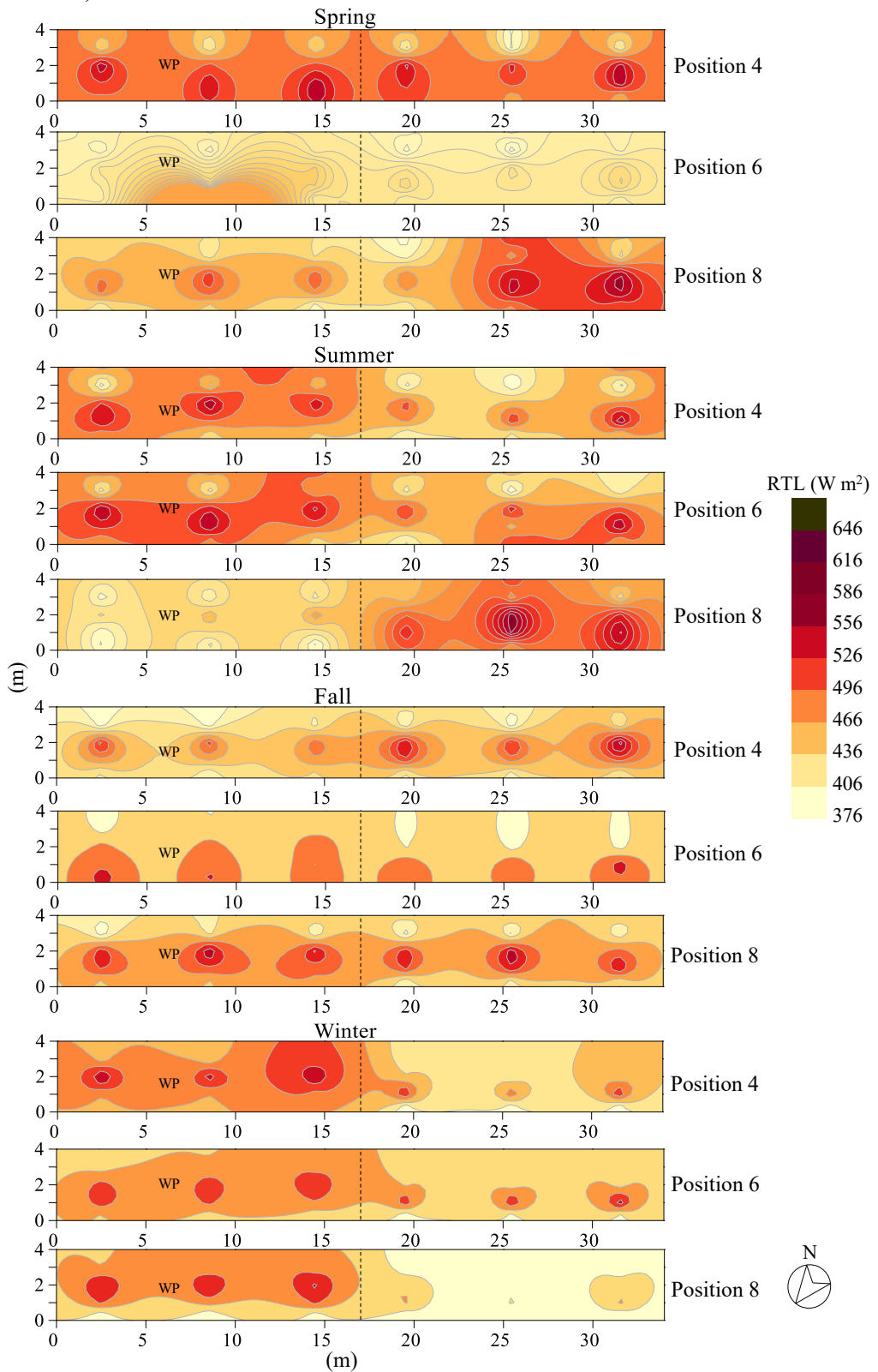
Mota, Andrade, and Leite (2019) obtained BGHI values and represented them using geostatistics in a Compost Barn (CB) in Minas Gerais during the summer and winter seasons of 2016, both in the presence and absence of ventilation fans. They observed lower BGHI values in the central region of the barn with the presence of fans and noticed that in the absence of fans, the areas with lower BGHI values decreased. They also found greater thermal discomfort, as indicated by BGHI, near the resting area of the animals, even with the presence of fans.

In another study by Siqueira et al. (2022), they characterized the spatial variability of thermal comfort indexes for dairy cows in CBs in the state of Sergipe during the end of the dry season and the beginning of the rainy season. They concluded that only the early morning and night periods provided ideal environmental conditions for dairy cattle, as during the other periods of the morning and afternoon, the animals experienced mild to dangerous levels of thermal stress.

BGHI has been used in several studies to compare thermal environments in extensive grazing with or without shade, such as in the works of Ávila et al. (2013), Deniz et al. (2021), Sousa et al. (2021), and Oliveira et al. (2022). In other cases, this index has been determined by correlating it with animal behavior, as in the case of Campos et al. (2023). The use of BGHI in dairy cattle confinement barns is crucial, as it allows for a more comprehensive inference about the animal's thermal sensation and provides valuable insights for human interventions in the animals' environment. Although BGHI may involve instruments that can sometimes be challenging to access, such as the black globe thermometer, it can be indirectly obtained through other easily measurable variables, as shown in the works of Abreu et al. (2011) and Hajizadeh et al. (2017), and can thus be visualized with the aid of geostatistics to detect any critical points inside the facilities.

Figure 7 illustrates the vertical spatial distribution of radiant thermal load (RTL) during the spring, summer, autumn, and winter seasons in positions 4, 6, and 8 inside the barn, represented through kriging maps.

Figure 7 - Kriging maps of Radiant thermal load (RTL) along the vertical profile in the interior (positions 4, 6, and 8) of the Compost Barn during the spring, summer, autumn, and winter seasons.



*WP = Water on the roof with photovoltaic solar panels.

Source: By the author.

The Figure 7 shows a heterogeneity of Radiant Thermal Load (RTL) along the vertical profile of the barn, regardless of the seasons and longitudinal positions, with higher RTL values forming islands in some regions. The RTL was higher during the spring and summer, except for position 6 in the spring, where the environment exhibited more uniform values ranging from 406 to 466 W m⁻². The highest RTL intensities were evident at positions 8, near 32,0 m in the spring (603,48 W m⁻²), and near 25,5 m in the summer (587,17 W m⁻²). Mota, Andrade, and Leite (2019) found low variability in RTL during the summer at 15:00 hours in a Compost Barn, with average values of 476,81 W m⁻² and 471.7 W m⁻² in the presence and absence of fans, respectively. Campos et al. (2004) evaluated the cross-section of stalls in a north-south oriented free-stall barn in the Western region of Paraná and concluded that shading provided by vegetation at a distance of 4,0 m on the east side mitigated the effects of radiation, and consequently, the RTL in this area was lower, while higher values were observed on the west side. At 11:30 am, these researchers obtained average RTL values of 507,9 and 515,54 W m⁻² in the stalls on the west and east sides, respectively. These results are generally consistent with the findings in this study.

The Figure 7 clearly shows a pattern of higher RTL values in all seasons at similar heights (between 1,0 and 2,0 m) along the vertical profile, particularly between the lines of fans where the animals are located. This pattern is less evident only at position 8 during winter, where the lowest RTL values were obtained. This observation can be attributed to the distance between fans, as they might be spaced far enough apart, resulting in islands of higher RTL values. This highlights the importance of using techniques like geostatistics, which allows for easy visualization of critical points indicating where mitigations should occur within the facilities. Oliveira et al. (2016), Oliveira et al. (2019), Oliveira et al. (2022), and Mota, Andrade, and Leite (2019) also emphasize the relevance of using this tool in animal production systems.

Additionally, it is evident that the lowest RTL values and the least heterogeneity were detected in different vertical positions during the autumn and winter seasons. However, in these seasons, the ambient air temperature is lower. Consequently, for the same fan flow rate and lower air humidity, as shown in Figure 5, it can be concluded that the RTL in these seasons would be lower, which is justifiable. Mota, Andrade, and Leite (2019) found average RTL values of 485,4 W m⁻² and 460,9 W m⁻² with fans on and off, respectively, in a Compost Barn during the winter of 2016 at 9:00 am, which were higher than the values obtained at 3:00 pm. These researchers pointed out that, in general, lower RTL values are always desirable. Furthermore, in the same study, they also observed higher RTL values in the summer compared to winter, which aligns with the results obtained in this research.

Through Figure 7, it can be observed that in position 8 during the spring season, the RTL is higher on the side of the barn without photovoltaic panels compared to the side with panels. This observation is also evident in the same position during the summer season. However, these results cannot be attributed to the presence of photovoltaic panels on one side of the roof, as there is no visible gradient of RTL in the vertical profile of the represented regions. Additionally, this evaluation was limited to a height of 4,0 m, and there was still a relatively large distance from the roof; in other words, the points closest to the roof at a height of 4,0 m were still 2,5 m away. This, combined with the fan flow rate, possibly made it impossible to detect any influences of the panels on the microclimate inside the facility. Some researchers have made inferences about the possible impact of the microclimate of urban installations in regions below and surrounding photovoltaic panels, as seen in the works of Chen et al. (2023), Masson et al. (2014), Pham et al. (2019), Salamanca et al. (2016), Shen et al. (2022), Tan et al. (2023), and Zonato et al. (2021). These studies, through numerical simulations, observed that the use of photovoltaic panels has a certain impact on the surrounding temperatures.

For example, Middel et al. (2016) conducted a subjective comparison of the thermal sensation impact in a hot city in Arizona, comparing locations without shade to those shaded by trees and photovoltaic panels. They found that locations shaded by trees and photovoltaic panels are equally efficient in mitigating thermal stress in hot and dry climates.

Masson et al. (2014) detected that photovoltaic panels were capable of reducing the urban heat island effect when simulating the microclimate under the roofs of buildings in the metropolitan area of Paris. They discuss in their work that photovoltaic panels alter the radiation received by the roof and, consequently, the energy balance of the building. Salamanca et al. (2016) also concluded that using solar photovoltaic systems on roofs reduces the air temperature near the surface during the diurnal cycle and can reduce daily cooling energy demand by 8-11%, making them effective in reducing urban heat islands. The results of Chen et al. (2023) also corroborate these findings in subtropical cities.

The research conducted by Shen et al. (2022), using numerical simulations, assessed the implementation of photovoltaic panels in cooling the thermal environment of a semi-arid city in China. They found that this implementation can decrease air temperature by up to 2,0 meters away from the panels due to their albedo and higher emissivity. However, they emphasize the need to improve energy conversion efficiency to achieve better thermal and energy benefits.

On the other hand, Zonato et al. (2021) performed mesoscale numerical simulations in urban areas for typical winter and summer conditions. They found that, unlike green roofs or

cool roofs, photovoltaic panels induce a temperature increase during the day and a slight decrease during the night. Based on the results and discussions of these researchers, it can be observed that studies like these are important and relatively scarce in the literature, especially on-site and in rural installations. Considering the significant impact of microclimates on the well-being and productivity of animals, it can be assumed that studies like these may contribute to a better understanding of the effects of photovoltaic panels on rooftops. Besides being renewable energy sources, their use could also contribute to improved thermal conditions inside animal housing facilities.

In summary, further studies and research in this area could shed light on the potential benefits and challenges of using photovoltaic panels in animal housing facilities, considering their impact on microclimate and the well-being of the animals. The integration of renewable energy sources like photovoltaic panels in agricultural settings can be a promising approach for sustainable livestock production, and the implementation of such measures should be carefully considered and tailored to specific environmental conditions and animal husbandry practices.

4. CONCLUSION

The use of geostatistics proved to be a valuable tool in this study, allowing the identification of points of animal discomfort inside the Compost Barn (CB) through the assessment of thermal comfort indices BGHI and RTL. This approach enabled the visualization of the heterogeneity of the animal rearing environment and the identification of areas with mild thermal stress at different heights in the barn during the spring and summer seasons.

However, regarding the influence of the presence or absence of photovoltaic panels on the barn's roof, the results obtained from the thermal comfort indices BGHI and RTL did not allow for a definitive conclusion on this aspect. The data did not show a clear pattern of the panels' influence on the microclimate of the barn, and factors such as the distance of the ventilators and the arrangement of the panels may have contributed to this result.

Therefore, despite not reaching a definitive conclusion about the influence of photovoltaic panels on the thermal environment of the CB barn, this study offers important insights into the spatial distribution of thermal comfort variables and highlights the significance of geostatistics as a useful tool for improving the animal rearing environment. It is possible that future studies with different arrangements of photovoltaic panels and ventilation configurations may provide a more comprehensive understanding of the impact of these structures on the microclimate of rural facilities. This would enable the development of more effective measures

to improve the comfort and well-being of the animals while harnessing the advantages of renewable energy provided by photovoltaic panels.

REFERENCES

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N.; FRANCISCON, L.; COLDEBELLA, A.; AMARAL, A. G. Estimativa da temperatura de globo negro a partir da temperatura do bulbo seco.

Engenharia na Agricultura, v. 19, n. 6, p. 557-563, 2011. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i6.273>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acessado em: 19 agosto 2021.

ALVARES C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS P. C.; MORAES, J. L. D. G.; SPAROVEK G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acessado em: 19 agosto 2021.

ÁVILA, A. S.; JÁCOME, I. M. T. D.; FACCENDA, A.; PANAZZOLO, D. M.; MÜLLER, ÉDERSON R. Avaliação e correlação de parâmetros fisiológicos e índices bioclimáticos de vacas holandês em diferentes estações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 14, n. 14, p. 2878-2884, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236117010747>.

BAÊTA, F. C. **Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season**. Tese (Ph.D.) - University of Missouri, Columbia, 1985. 218p.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: conforto térmico**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010. 269p.

BARBERG, A. E.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Compost dairy barns in Minnesota: A descriptive study. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 23, p. 231-238, 2007a. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.22606>.

BARBERG, A. E.; ENDRES, M. I.; SALFER, J. A.; RENEAU, J. K. Performance and welfare of dairy cows in an alternative housing system in Minnesota. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 1575-1583, 2007b.

BERMAN, A.; FOLMAN, Y.; KAIM, M.; MAMEN, M.; HERZ, D.; WOLFENSON, D.; ARIELI, A.; GRABER, Y. Upper Critical Temperatures and Forced Ventilation Effects for High-Yielding Dairy Cows in a Subtropical Climate. **Journal of Dairy Science**, v. 68, p. 1488-1495, 1985. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80987-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80987-5).

BEWLEY, J. M.; TARABA, J. L.; MCFARLAND, D.; GARRETT, P.; GRAVES, R.; HOLMES, B.; KAMMEL, D.; PORTER, J.; TYSON, J.; WEEKS, S.; WRIGHT, P. Guidelines for managing compost bedded-pack barns. **The Dairy Practices Council**, 2013.

BEWLEY, J. M.; ROBERTSON, L. M.; ECKELKAMP, E. A. A 100-Year Review: Lactating dairy cattle housing management. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 12, p. 10418-10431, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13251>.

BLACK, R. A.; TARABA, J. L.; DAY, G. B.; DAMASCENO, F. A.; BEWLEY, J. M. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. **Journal of Dairy Science**, v. 96, p. 8060-8074, 2013.

BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981. DOI: 10.13031/2013.34325.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>.

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; SANTOS, W. B. R.; GASPARINO, E.; CAMPOS, A. T. Caracterização do microambiente em secção transversal de um galpão do tipo “free-stall” orientado na direção norte-sul. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 24, n.1, p. 1-8, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162004000100001>

CAMPOS, J. C. D.; PASSINI, R.; SOUSA, L. J. M. P. E.; AMARAL, A. G. Behavioral changes in dairy calves raised in outdoor holding pens with alternative roofing. **Ciência Animal Brasileira**, v. 24, p. 1-10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v24e-73923E>.

CHEN, B.; WANG, W.; YOU, Y.; ZHU, W.; DONG, Y.; XU, Y.; CHANG, M. Influence of rooftop mitigation strategies on the thermal environment in a subtropical city, **Urban Climate**, v. 49, p. 101450, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101450>.

COTTA, J. A. O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. S.; REZENDE, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 20, p. 65-78, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864>.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Potencial Solar – SunData v. 3.0**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acessado em: 22 de mar. 2023.

CURI, T. M. R. C.; CONTI, D.; VERCELLINO, R. A.; MASSARI, J. M.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M.; Montanari, R. Positioning of sensors for control of ventilation systems in broiler houses: A case study. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 2, p. 101-109, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2015-0369>.

DAMASCENO, F.A. **Compost Barn Como Uma Alternativa para a Pecuária Leiteira**. 1 ed. Adelante: Divinópolis, Brazil, 2020. 396p.

DENIZ, M.; SOUSA, K. T.; MORO, M. F.; VALE, M. M.; DITTRICH, J. R.; MACHADO FILHO, L. C. P.; HOTZEL, M. J. Social hierarchy influences dairy cow's use of shade in a silvopastoral system under intensive rotational grazing. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 244, p. 105467, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105467>.

ECKELKAMP, E. A.; TARABA, J. L.; AKERS, K. A.; HARMON, R. J.; BEWLEY, J. M. Understanding compost bedded pack barns: Interactions among environmental factors, bedding characteristics, and udder health. **Livestock Science**, v. 190, p. 35-42, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.05.017>.

FÁVERO, S.; PORTILHO, F. V. R.; OLIVEIRA, A. C. R.; LANGONI, H.; PANTOJA, J. C. F. Factors associated with mastitis epidemiologic indexes, animal hygiene, and bulk milk bacterial concentrations in dairy herds housed on compost bedding. **Livestock Science**, v. 181, p. 220-230, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.09.002>.

FERRAZ, G. A. S.; SILVA, F. M.; OLIVEIRA, M. S.; CUSTÓDIO, A. A. P.; FERRAZ, P. F. P. Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 81-91, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170009>.

FOURNEL, S.; ROUSSEAU, A. N.; LABERGE, B. Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. **Biosystems Engineering**, v. 155, p. 96-123, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.12.005>.

GALAMA, P. J. **On farm development of bedded pack dairy barns in The Netherlands**. Wageningen UR Livestock Research, 2014. 35p.

HAJIZADEH, R.; FARHANG DEHGHAN, S.; GOLBABAIE, F.; JAFARI, S. M.; KARAJIZADEH, M. Offering a model for estimating black globe temperature according to meteorological measurements. **Meteorological Applications**, v. 24, p. 303307, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/met.1631>.

HATVANI-KOVACS, G.; BUSH, J.; SHARIFI, E.; BOLAND, J. Policy recommendations to increase urban heat stress resilience. **Urban Climate**, v. 25, p. 51-63, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.05.001>.

HERBUT, P.; ANGRECKA, S.; WALCZAK, J. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle - a review. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 12, p. 2089-2097, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p

JA SOLAR. **JAM6(K) 60/265-285/4bb F 35-35**. Disponível em: <https://si-datastore.s3.us-west-2.amazonaws.com/documents/AfGMBcZpXv71gxvI5wJZNb664ffSyDWCUNj7Scyb.pdf>. Acessado em: 22 mar. 2023

- JANNI, K. A.; ENDRES, M. I.; RENEAU, J. K.; SCHOPER, W. W. Compost dairy barn layout and management recommendations. **American Society of Agricultural and Biological Engineer**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2007. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.22333>.
- LEITÃO, M. M.; OLIVEIRA, G. M. D.; ALMEIDA, A. C. D.; SOUSA, P. H. Conforto e estresse térmico em ovinos no Norte da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200015>.
- MASSON, V.; BONHOMME, M.; SALAGNAC J. L.; BRIOTTET, X.; LEMONSU, A. Solar panels reduce both global warming and urban heat island. **Frontiers in Environmental Science**, v. 14, p. 1-10, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00014>.
- MATHERON G. Treaty of applied geostatistics. **Vol. I: Memoires du Bureau de Recherches Geologiques et Minieres**, n. 14, 1962.
- MIDDEL, A.; SELOVER, N.; HAGEN, B.; CHHETRI, N. Impact of shade on outdoor thermal comfort a seasonal field study in Tempe, Arizona. **International Journal Biometeorological**, v. 60, p. 1849-1861, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1172-5>.
- MOTA, V.; ANDRADE, E. T.; LEITE, D. F. Caracterização da variabilidade espacial dos índices de conforto animal em sistemas de confinamento Compost Barn. **Pubvet**, v. 13, n. 02, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n3a276.1-14>.
- OLIVEIRA, C. E. A.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, G. A. S.; NASCIMENTO, J. A. C.; SILVA, E.; FERREIRA, M. R. Geostatistics applied to spatial distribution of thermal conditions and noise in Compost Barn systems with different ventilation systems. **Ciência et Praxis**, v. 09, n. 18, p. 41-48, 2016. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/praxys/article/view/2626/1496>. Acesso em: 02 março 2023.
- OLIVEIRA, C. E. A.; DAMASCENO, F. A.; FERRAZ, P. F. P.; NASCIMENTO, J. A. C.; FERRAZ, G. A. S.; BARBARI, M. Geostatistics applied to evaluation of thermal conditions and noise in compost dairy barns with different ventilation systems. **Agronomy Research**, v. 17, n. 3, p. 783-796, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.116>.
- OLIVEIRA, A. V. D.; REIS, E. M. B.; FERRAZ, P. F. P.; BARBARI, M.; SANTOS, G. S.; CRUZ, M. V. R.; SILVA, G. F.; SILVA, A. O. L. Effects of thermal environment on dairy cattle under a grazing system in the Western Amazon, Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 74, n. 6, p. 1119-1126, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12743>.
- PEREIRA, J. C. C. **Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195p.
- PHAM, J. V.; BANIASSADI, A.; BROWN, K. E.; HEUSINGER, J.; SAILOR, D. J. Comparing photovoltaic and reflective shade surfaces in the urban environment: Effects on surface sensible heat flux and pedestrian thermal comfort. **Urban Climate**, v. 29, p. 1-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100500>.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2016. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 03 de dezembro de 2022.

RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-News**, v. 1, p. 14-18, 2001.

SALAMANCA, F., GEORGESCU, M., MAHALOV, A., MOUSTAOU, M., & MARTILLI, A. Citywide impacts of cool roof and rooftop solar photovoltaic deployment on near-surface air temperature and cooling energy demand. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 161, n. 1, p. 203–221, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10546-016-0160-y> et al. (2016)

SANTOS, G. C. L.; CABRAL, A. M. D. Bioclimatic indices, mathematical modeling and statistical indices for the evaluation of models used to estimate animal thermal comfort. Research, **Society and Development**, v. 10, n. 3, p. 1-12, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13328>.

SHANE, E. M.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Alternative bedding materials for compost bedded pack barns in Minnesota: descriptive study. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 26, p. 465-473, 2010.

SHEN, L.; LI, H.; GUO, L.; HE, B. Thermal and energy benefits of rooftop photovoltaic panels in a semi-arid city during an extreme heatwave event. **Energy and Buildings**, v. 275, n. 15, p. 112490, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112490>.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. The environment. In: SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. **Principles of animal biometeorology**. Springer, 2013. p. 1-37. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-5733-2> Acesso em: 30 nov. 2022.

SIQUEIRA, I. H. S.; VALE, P. Z. C. B.; VALE, W. G.; BARRETO, L. M. G.; MENESES, M. D.; DOS SANTOS, E. J.; RIBEIRO JÚNIOR, V.; BRÊTASM A. A. Characterization of the spatial variability of thermal comfort indices for dairy cows breeding in compost barn. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 38001-38014, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-347>.

SOUSA, K. T.; DENIZ, M.; MORO, M. F.; GOMES, I. C.; VALE, M. M.; DITTRICH, J. R. Developing of a model to predict lying behavior of dairy cows on silvopastoral system during the winter season. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, p. 1871-1786, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02121-0>.

TAN, H.; KOTAMARTHI, R.; WANG, J.; QIAN, Y.; CHAKRABORTY, T. C. Impact of different roofing mitigation strategies on near-surface temperature and energy consumption over the Chicago metropolitan area during a heatwave event. **Science of the Total Environment**, v. 860, p. 1-14, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160508>

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-94, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60673-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60673-2).

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; SCHAEFER, G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54. 2000.

VIEIRA, S. R.; CARVALHO, J. R. P. D.; GONZÁLEZ, A. P. Jack knifing for semivariogram validation. **Bragantia**, v. 69, p. 97-105, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000500011>.

VILLETZAZ, R. M.; PASSILL, R. J.; VASSEUR, A. M. E.; ORSEL, K.; PELLERIN, D. Associations between on-farm animal welfare indicators and productivity and profitability on Canadian dairies: I. On free-stall farms. **Journal of Dairy Science**, v. 102, p 4341-4351, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14817>.

WEST, J. W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 6, p. 2131-2144, 2003. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).

WEST, J. W.; MULLINIX, B. G.; BERNARD, J. K. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 1, p. 232-242, 2003. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73602-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73602-9).

ZONATO, A.; MARTILLI, A.; GUTIERREZ, E.; CHEN, F.; HE, C.; BARLAGE, M.; ZARDI, L.; GIOVANNINI, L. Exploring the Effects of Rooftop Mitigation Strategies on Urban Temperatures and Energy Consumption. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 126, n. 21, p. 1-23, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021JD035002>