

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO

**Avaliação econômica da produção de carne bovina em sistemas
integrados submetidos a protocolos ambientais**

Josianny Limeira Figueira

CAMPO GRANDE, MS

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

CURSODE DOUTORADO

Avaliação econômica da produção de carne bovina em sistemas integrados submetidos a protocolos ambientais

Economic evaluation of beef production in integrated systems under environmental protocols

Josianny Limeira Figueira

Orientador: Prof. Dr. Luís Carlos Vinhas Ítavo

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Carneiro Brumatti

Coorientadora: Dra. Giovana Alcantara Maciel

Coorientadora: Dra. Renata Felisberto Henriques

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

CAMPO GRANDE, MS

2025



Certificado de aprovação

JOSIANNY LIMEIRA FIGUEIRA

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE CARNE BOVINA EM SISTEMAS INTEGRADOS
SUBMETIDOS A PROTOCOLOS AMBIENTAIS**

**ECONOMIC EVALUATION OF BEEF PRODUCTION IN INTEGRATED SYSTEMS UNDER
ENVIRONMENTAL PROTOCOLS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 16-12-2025

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Ricardo Carneiro Brumatti
(UFMS) – Presidente

Dr. Alexandre Menezes Dias
(UFMS)

Dr. Gustavo de Faria Theodoro
(UFMS)

Dr. Ricardo Antonio Amaral de Lemos
(UFMS)

Dr. Roberto Giolo de Almeida
(EMBRAPA)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Menezes Dias, Professor do Magisterio Superior**, em 17/12/2025, às 15:36, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Giolo de Almeida, Usuário Externo**, em 17/12/2025, às 15:37, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Carneiro Brumatti, Professor do Magisterio Superior**, em 17/12/2025, às 16:04, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo de Faria Theodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 18/12/2025, às 08:07, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Antonio Amaral de Lemos, Professor do Magisterio Superior**, em 18/12/2025, às 08:23, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6139384** e o código CRC **325DCF01**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Dedicatória

Primeiramente a Deus, pela vida e força constante, guia de todos os meus caminhos.

Aos meus pais Maria e Jorge, pelo alicerce, aos meus irmãos Gehovany e Jefferson pelo incentivo, ao meu esposo Alex e filhos Alexandre e Marya Sophia pelo amor e sacrifício partilhado, que transformaram a solidão da pesquisa em um porto seguro de apoio e compreensão e aos meus sobrinhos José Ricardo, Marina Gehovana e Luis Guilherme, a quem dedico esta conquista. Esta Vitória é acima de tudo, nossa Obrigada, por tudo!

Dedico

Agradecimento

A DEUS, pela vida, saúde, discernimento, ciência e sabedoria, fundamentos que sustentam cada etapa desta etapa acadêmica e pessoal.

Ao meu orientador, Doutor Luís Carlos Vinhas Ítavo, pela orientação, ensinamentos e oportunidade de condução do meu trabalho.

Agradeço aos meus coorientadores Doutor Ricardo Carneiro Brumatti, Doutora Giovana Alcantara Maciel e Doutora Renata Felisberto Henriques pelas orientações, paciência, disponibilidade, apoio constante, contribuições científicas e prontidão em auxiliar nas etapas essenciais para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao pesquisador da Embrapa Doutor Roberto Giolo de Almeida, pelas valiosas contribuições científicas.

Ao Professor Doutor Gustavo de Faria Theodoro pelas orientações, conhecimento compartilhado e disponibilidade ao longo do processo.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, estendo meus agradecimentos aos professores, servidores e colegas.

Agradeço a Associação Brasileira dos Criadores de Zebu – ABCZ, pelo incentivo e apoio à realização da pesquisa.

Ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul - IFMS pelo suporte disponibilizado durante o período de estudos.

À minha família, minha base de motivação: minha mãe Maria Limeira Figueira, meu pai Jorge Dorico Lemes Figueira, meu esposo Alex Pereira do Carmo, meus filhos Alexandre Limeira Pereira e Marya Sophia Limeira Pereira, aos meus irmãos Gehovany Limeira Figueira e Jefferson Limeira Figueira. Aos meus sobrinhos José Ricardo Costa Figueira, Marina Gehovana Costa Figueira, Luis Guilherme Loureiro Limeira, Gabriel Infran, as tias Therezinha Figueira Cardoso e Idalina Limeira Leite, aos meus Primos Diva Figueira Cardoso e Silvio Limeira Leite, sogra Maria Pereira do Carmo, sogro Vicente Pereira do Carmo, cunhados Ilma Lene Pereira do Carmo, Luciano Pereira do Carmo (*in memoriam*) e todos demais familiares, que com apoio e carinho, fizeram parte dessa jornada.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, deixo registrado meu sincero agradecimento.

EPIGRAFE

“Aqueles que esperam no Senhor renovam suas forças, caminham e não perdem a energia, correm e não se cansam, e sobem, voando como águias”

Isaiás 40:29-31

RESUMO

FIGUEIRA, J. L. **Avaliação econômica da produção de carne bovina em sistemas integrados submetidos a protocolos ambientais.** Tese (Doutorado)- Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

Conduziram-se estudos na Fazenda Experimental da Associação Brasileira de Criadores de Zebu (ABCZ), em Uberaba-MG, objetivando-se estudar a avaliação econômica da produção de carne bovina em sistemas produtivos submetidos a protocolos ambientais, com foco na sustentabilidade e eficiência produtiva da pecuária brasileira. O trabalho está estruturado em duas sessões principais e apresenta uma abordagem multidisciplinar que integra aspectos silviculturais, zootécnicos e econômicos. Para o estudo de simulação da rentabilidade da madeira e o estoque de carbono por meio do crescimento e produção, foram analisadas quatro espécies madeiráveis: *Tectona grandis*, *Azadirachta indica*, *Khaya spp* e *Acacia mangium*, cultivadas em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), com base em métodos não destrutivos, foram utilizados dados de inventário florestal, alometria e modelos de crescimento para estimar o volume comercial de madeira e o carbono acumulado, associando tais estimativas ao potencial econômico da madeira e aos créditos de carbono. Para estimar a rentabilidade da produção madeireira em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), foram considerados os preços médios de mercado da madeira em tora (valores atualizados para 2025), conforme segue: *Tectona grandis* (teca) a US\$ 350.00/m³; *Acacia mangium* a US\$ 120.00/m³; *Azadirachta indica* (nim) a US\$ 150.00/m³; e *Khaya spp* (mogno africano) a US\$ 500.00/m³. O mogno africano apresentou a maior rentabilidade (US\$ 23,026.00) considerando o valor presente líquido (VPL) de 10 anos e melhor desempenho técnico-econômico, com período de retorno de investimento estimado em 6 anos, ponderando destaque para o valor de mercado da madeira. Para a análise foram utilizados os dados técnico-econômicos gerados por animais produzidos na Associação Brasileira dos Criadores de Zebu (ABCZ), nos programas Zebu Carne de Qualidade, seguindo os protocolos ambientais, Carne Baixo Carbono (CBC) e Carne Carbono Neutro (CCN). Foram avaliados indicadores zootécnicos e econômicos dos grupos genéticos participantes, considerando desempenho animal, eficiência alimentar, emissões de gases de efeito estufa e retorno financeiro por arroba produzida. A média do custo por arroba produzida R\$ 259,52, o custo produtivo geral está mais próximo das carnes com certificações. Os projetos CBC e CCN apresentaram menores custos médios por arroba de R\$ 252,44 e 255,48, respectivamente, quando comparados ao rebanho do Programa Carne de Qualidade de R\$261,08. A abordagem comparativa entre os programas permitiu identificar as vantagens produtivas e econômicas dos sistemas certificados ambientalmente, destacando os impactos positivos na cadeia produtiva da carne bovina.

Palavras-chaves: Crédito de carbono. Sequestro de carbono. Rentabilidade.

Espécies Madeiráveis

ABSTRACT

FIGUEIRA, J. L. Economic evaluation of beef production in integrated systems under environmental protocols. Thesis (Doctorate) - Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

Studies were conducted at the Experimental Farm of the Brazilian Association of Zebu Breeders (ABCZ), in Uberaba-MG, aiming to study the economic evaluation of beef production in production systems subjected to environmental protocols, focusing on the sustainability and productive efficiency of Brazilian livestock farming. The work is structured in two main sections and presents a multidisciplinary approach that integrates silvicultural, zootechnical, and economic aspects. For the study simulating the profitability of wood and carbon stock through growth and production, four timber species were analyzed: *Tectona grandis*, *Azadirachta indica*, *Khaya* spp., and *Acacia mangium*, cultivated in an Integrated Crop-Livestock-Forestry (ICLF) system. Based on non-destructive methods, forest inventory data, allometry, and growth models were used to estimate the commercial volume of wood and accumulated carbon, associating these estimates with the economic potential of the wood and carbon credits. To estimate the profitability of timber production in Integrated Crop-Livestock-Forestry (ICLF) systems, the average market prices of logs (values updated to 2025) were considered, as follows: *Tectona grandis* (teak) at US\$350.00/m³; *Acacia mangium* at US\$120.00/m³; *Azadirachta indica* (neem) at US\$150.00/m³; and *Khaya* spp (African Mahogany) at US\$ 500.00/m³. African Mahogany presented the highest profitability (US\$23,026.00) considering the 10-year net present value (NPV) and the best technical-economic performance, with an estimated investment payback period of 6 years, highlighting the market value of the wood. For the analysis, technical and economic data generated by animals produced at the Brazilian Association of Zebu Breeders (ABCZ) were used, in the Zebu Quality Meat programs, following environmental protocols, Low Carbon Beef (CBC) and Carbon Neutral Beef (CCN). Zootechnical and economic indicators of the participating genetic groups were evaluated, considering animal performance, feed efficiency, greenhouse gas emissions, and financial return per arroba produced. The average cost per arroba produced was R\$ 259.52; on average, the overall production cost is closer to that of certified meats. The CBC and CCN projects presented lower average costs per arroba of R\$ 252.44 and R\$ 255.48, respectively, when compared to the herd of the Quality Meat Program (R\$ 261.08). The comparative approach between the programs allowed the identification of the productive and economic advantages of the environmentally certified systems, highlighting the positive impacts on the beef production chain.

Keywords: Carbon credit. Carbon sequestration. Profitability. Timber species

Sumário

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 11 |
| 2.1 MERCADO DO GADO DE CORTE | 11 |
| 2.2 SISTEMAS DE PRODUÇÕES SUSTENTÁVEIS..... | 16 |
| 2.2.1 <i>Carne Carbono Neutro (CCN)</i> | 16 |
| 2.2.2 <i>Carne Baixo Carbono (CBC)</i> | 17 |
| 2.2.3. <i>Espécies de florestais e sequestro de carbono</i> | 18 |
| 2.2.3.1 <i>Tectona grandis (teca)</i> | 19 |
| 2.2.3.2 <i>Khaya spp. (mogno africano)</i> | 21 |
| 2.2.3.3 <i>Azadirachta indica A. Juss., Meliaceae (nim)</i> | 26 |
| 2.2.3.4 <i>Acacia mangium (Acacia)</i> | 27 |
| 2.3 MITIGAÇÃO DO GÁS EFEITO ESTUFA..... | 27 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 30 |
| CAPÍTULO 1 - SIMULAÇÃO DE ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA E DE SEQUESTRO DE CARBONO DE QUATRO ESPÉCIES MADEIRÁVEIS EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA UTILIZANDO MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS | 39 |
| RESUMO..... | 39 |
| ABSTRACT | 40 |
| 1 - INTRODUÇÃO | 41 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 43 |
| 3. RESULTADOS..... | 47 |
| 3.1 VALORES MÉDIOS DE PRODUÇÃO DE MADEIRA EM UMA DÉCADA | 47 |
| 3.2 VALORES MÉDIOS DE PRODUÇÃO DE MADEIRA ANUAL | 48 |

| | |
|--|----|
| 3.4 SIMULAÇÃO DE RECEITA E INDICADORES ECONÔMICOS PROVENIENTE DA COMERCIALIZAÇÃO DA MADEIRA E DO CRÉDITO DE CARBONO | 51 |
| 4. DISCUSSÃO | 54 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 56 |
| REFERÊNCIAS..... | 57 |
| CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO ECONÔMICO DA PECUÁRIA SUSTENTÁVEL CONTRIBUINDO PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA | 62 |
| RESUMO..... | 62 |
| ABSTRACT | 63 |
| 1. INTRODUÇÃO | 64 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 65 |
| 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL | 65 |
| 2.2 GRUPOS DE CRUZAMENTOS E PERÍODO DE AVALIAÇÃO..... | 65 |
| 2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA | 67 |
| 3. RESULTADOS..... | 67 |
| 3.1 APRESENTAÇÃO DOS PROGRAMAS..... | 67 |
| 3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA | 67 |
| 3.2 EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO | 71 |
| 3.3 PROGRAMA CARNE CARBONO NEUTRO E CARNE BAIXO CARBONO | 71 |
| 3.5 COMPARAÇÃO E RESULTADOS TÉCNICO-ECONÔMICOS DO CUSTO PRODUTIVO POR GRUPOS DE CRUZAMENTOS E PROGRAMAS | 73 |
| 3.6 ANÁLISE ECONÔMICA DE INDICADORES | 74 |
| 3.7 INDICADORES POR GRUPOS DE CRUZAMENTOS | 76 |
| 3.8 DEMONSTRATIVO DE RESULTADO ECONÔMICO DA SAFRA 2022/2023 .. | 77 |
| 4. DISCUSSÃO | 78 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA | 78 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 80 |
| REFERÊNCIAS..... | 82 |

1 Introdução

Um dos maiores desafios da pesquisa agropecuária brasileira é manter a produtividade, impedindo a contínua degradação do meio ambiente pela agricultura convencional (Abadias et al., 2020; Paciullo et al., 2014). Na busca de atender esta demanda, os sistemas integrados de produção, como os sistemas silvipastoris (SSP) têm despertado a atenção de produtores e pesquisadores (Furtado et al., 2019; Joseph et al., 2019; Schimitt Filho e Farley, 2020). Estes sistemas apresentam práticas agroflorestais integradas simultaneamente à pecuária, usando tanto espécies florestais nativas como exóticas (Peri et al., 2016).

Os sistemas agroflorestais são definidos por atividade que reúne em seu processo produtivo práticas agrícolas, pecuárias e florestais, que quando combinadas garantem a sustentabilidade do sistema (Cordeiro et al., 2018). Esse método de produção/recuperação promove inúmeros benefícios ambientais, sociais e econômicos por meio da interação temporal ou sequencial de seus componentes (Alves; et. al.,2020).

Segundo Silva, Creste, Medrado e Rigolin (2014), esses sistemas podem ser classificados de acordo com as características de seus arranjos e componentes, sendo esses: sistemas silviagrícolas ou agrossilviculturais, aqueles constituídos de árvores e/ ou de arbustos com culturas agrícolas; sistema silvipastoris (SSPs), cultivos de árvores e/ou de arbustos associados com pastagens e animais; e sistema agrossilvipastoris, cultivo de árvores e/ou arbustos com culturas agrícolas, pastagens e animais.

O restabelecimento da capacidade produtiva das plantas forrageiras em pastagens degradadas é fundamental para a intensificação da atividade pecuária no Brasil, e a consorciação de espécies pelos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) desponta como opção viável na recuperação e na renovação de áreas degradadas (Oliveira et.al., 2015).

As árvores proporcionam redução da temperatura do ar, o aumento da umidade relativa no entorno e, com a sombra projetada, melhoram o microclima local (Deniz et al., 2018; Kretzer, 2019) e o bem-estar do rebanho (Broom, 2017; Deniz et al. 2020). Os serviços ecossistêmicos (SE) globais e regionais dos sistemas silvipastoris (SSP) são aditivos aos SE locais e a multifuncionalidade da paisagem (Huntsinger et al., 2004). Estes sistemas são reconhecidamente importantes para a transição da produção pecuária tradicional extensiva, para produção sustentável (Alves et al., 2015).

Esta revisão tem como objetivo realizar uma análise bibliográfica acerca da avaliação econômica da produção de carne bovina em sistemas produtivos que adotam

protocolos ambientais. Destaca-se, nesse contexto, o potencial econômico e ecológico dos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) com espécies madeiráveis, cuja combinação entre elevada produtividade, capacidade de sequestro de carbono e retorno financeiro evidencia-se como estratégica para a consolidação de sistemas agroflorestais resilientes e economicamente viáveis. Tais características são fundamentais para uma gestão de custos mais eficiente e sustentável na atividade agropecuária.

2. Revisão de literatura

2.1 Mercado do gado de corte

Com um rebanho estimado em 197 milhões de cabeças em 2023, a pecuária bovina brasileira mais do que dobrou desde os anos 1970 (ABIEC, 2024). Esse crescimento foi acompanhado por avanços significativos em diversos indicadores zootécnicos, consolidando o Brasil como uma referência mundial no setor.

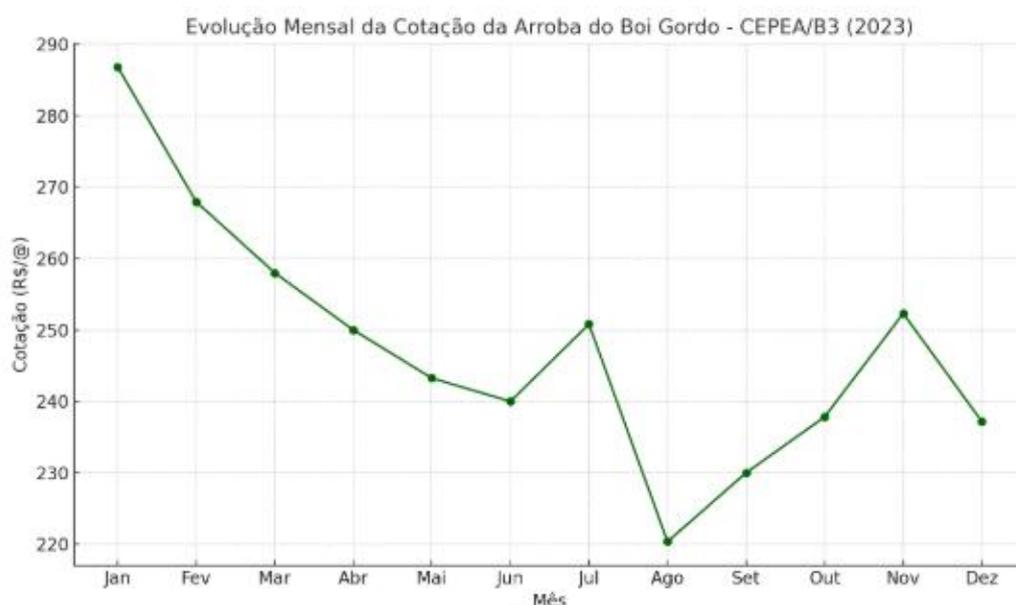
Em 2023, 71,5% da produção foi destinada ao mercado doméstico, garantindo um consumo médio de 37,5 kg por habitante ao ano, um dos mais elevados do mundo. Além disso, com apenas 28,5% da produção voltada para exportação, o Brasil mantém desde 2004 a posição de maior exportador global de carne bovina (ABIEC, 2024).

O gráfico evidencia uma tendência de queda nas cotações ao longo de 2023, especialmente acentuada a partir de agosto. Segundo análises do setor, essa desvalorização foi influenciada por fatores como o aumento da oferta de animais para abate, devido ao descarte de fêmeas, e a queda dos preços internacionais da carne bovina (Biscola & Malafaia, 2025).

Com base nos dados mais recentes do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) para o ciclo 2023/2024, apresentado na Tabela 1, lista os maiores produtores de carne bovina do mundo, incluindo a produção proveniente de rebanhos bubalinos (búfalos), especialmente relevante em países como Índia e China.

Segue abaixo a evolução mensal da cotação da arroba do boi gordo (em reais) ao longo do ano de 2023, com base nos dados do Indicador do Boi Gordo CEPEA/B3 para o estado de São Paulo.

Gráfico 1-Evolução mensal da cotação da arroba do boi gordo segundo os dados do CEPEA/B3 para o ano de 2023



Fonte: CEPEA 2023

Tabela 1 - Produção de carne bovina em Toneladas por país

| Posição | País | Produção (milhões de toneladas) | Participação Mundial (%) |
|---------|----------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Estados Unidos | 12,3 | 20,0 |
| 2 | Brasil | 11,9 | 19,5 |
| 3 | China | 7,8 | 12,7 |
| 4 | União Europeia | 6,4 | 10,4 |
| 5 | Índia | 3,4 | 5,5 |
| 6 | Argentina | 3,0 | 4,9 |
| 7 | Austrália | 2,4 | 3,9 |
| 8 | México | 2,3 | 3,7 |
| 9 | Canadá | 1,3 | 2,1 |
| 10 | Nova Zelândia | 0,7 | 1,1 |

Fonte: Adaptado de USDA (2023); Beef Point (2024).

A carne bovina continua em crescimento no mundo. Segundo o relatório mais recente do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), divulgado em outubro, a produção global deve aumentar 2,37% em 2024, alcançando 61,38 milhões de toneladas. Assim o USDA, Estados Unidos, Brasil e China lideram o ranking de países produtores. Somados, os volumes dos três países representam mais da metade de toda a carne bovina produzida no mundo (Beef Point,2024).

Tabela 2 - Maiores produtores de carne bovina do mundo em 2022, considerando rebanho bubalino nos países de maior expressão.

| Posição | País | Volume Exportado (milhões de toneladas) | Participação Mundial (%) |
|----------------|----------------|--|-------------------------------------|
| 1 | Brasil | 2,85 | 25,0 |
| 2 | Austrália | 1,60 | 13,4 |
| 3 | Índia | 1,46 | 12,3 |
| 4 | Estados Unidos | 1,29 | 10,8 |
| 5 | Argentina | 0,90 | 7,6 |
| 6 | Nova Zelândia | 0,65 | 5,5 |
| 7 | Canadá | 0,55 | 4,6 |
| 8 | Uruguai | 0,45 | 3,8 |
| 9 | Paraguai | 0,40 | 3,4 |
| 10 | União Europeia | 0,35 | 2,9 |

Fonte: Adaptado de Beef Point (2024)

A Tabela 3 apresenta dados da evolução da produção de carne bovina dos principais países produtores de 2013 a 2023, disponibilizados pelo USDA. O mundo deve produzir 59,5 milhões de toneladas equivalente carcaça de carne bovina em 2023, crescendo 0,4% em relação a 2022. Os dados revelam ainda, que a produção mundial cresceu no período 2,87%. Segundo as projeções, os Estados Unidos seguem como o principal produtor mundial com 20,78% do volume global produzido, seguido do Brasil com 17,87% e a União Europeia aparecendo em terceiro lugar com 11,07%.

A China, quarto maior produtor mundial de carne bovina, também deve apresentar crescimento da produção de 4,46%, contudo, sua produção ainda está muito aquém do seu consumo interno. Com relação a Índia e Argentina, quinto e sexto no ranking dos

maiores produtores do mundo, aparecem como destaques com aumento de produção, respectivamente, 16,84% e 11,23% no período analisado. A Austrália, teve diminuição de sua produção no período (-12,71%), mas apresenta sinais de recuperação em 2023 em relação a 2022 (aumento de 9,57%).

Ressalta-se que o Brasil apresentou taxa de crescimento positivo no período (6,5%) e em 2022 superou pela primeira vez na história a marca de 10 milhões de toneladas (Malafaia e Biscola,2023).

Tabela 3 - Produção mundial de carne bovina, em mil toneladas equivalente carcaça, 2013 a 2023.

| Ano | Mundo | EUA | Brasil | UE | China | Índia | Argentina | Austrália | Outros |
|--------------------------|--------------|------------|---------------|-----------|--------------|--------------|------------------|------------------|---------------|
| 2013 | 57.910 | 11.750 | 10.000 | 7.390 | 6.130 | 3.800 | 2.850 | 2.360 | 13.630 |
| 2014 | 57.650 | 11.080 | 9.720 | 7.440 | 6.160 | 4.000 | 2.700 | 2.600 | 13.950 |
| 2015 | 57.550 | 10.820 | 9.430 | 7.680 | 6.170 | 4.080 | 2.720 | 2.550 | 14.100 |
| 2016 | 55.300 | 11.510 | 9.400 | 6.940 | 6.170 | 4.170 | 2.650 | 2.130 | 12.330 |
| 2017 | 56.530 | 11.940 | 9.750 | 6.950 | 6.350 | 4.230 | 2.840 | 2.150 | 12.320 |
| 2018 | 57.820 | 12.260 | 9.980 | 7.070 | 6.440 | 4.240 | 3.050 | 2.310 | 12.470 |
| 2019 | 58.540 | 12.390 | 10.050 | 6.960 | 6.670 | 4.270 | 3.130 | 2.430 | 12.640 |
| 2020 | 57.700 | 12.390 | 9.980 | 6.900 | 6.720 | 3.760 | 3.170 | 2.120 | 12.660 |
| 2021 | 58.400 | 12.730 | 9.750 | 6.880 | 6.980 | .200 | 3.000 | 1.900 | 12.960 |
| 2022 | 59.330 | 12.890 | 10.350 | 6.710 | 7.180 | 4.350 | 3.140 | 1.880 | 12.830 |
| 2023 | 59.570 | 12.380 | 10.650 | 6.600 | 7.500 | 4.440 | 3.170 | 2.060 | 12.770 |
| Tx cresc. período (%) | 2,87 | 5,36 | 6,50 | -10,69 | 22,35 | 16,84 | 11,23 | -12,71 | -6,31 |
| Var. 2022 / 2023 (%) | 0,40 | -3,96 | 2,90 | -1,64 | 4,46 | 2,07 | 0,96 | 9,57 | -0,47 |

Fonte: USDA (2023)

2.2 Sistemas de produções sustentáveis

Os sistemas de produção sustentáveis vêm sendo implementados como ferramenta para auxiliar na redução dos impactos ambientais. Assim, neste estudo, destacam-se, os modelos de produção de carne carbono neutro e carne de baixo carbono, os quais aliam produtividade à responsabilidade ambiental.

Na agropecuária esses sistemas são caracterizados pela adoção de práticas como a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o pastejo rotacionado e a recuperação de pastagens degradadas, que favorecem o sequestro de carbono no solo e na vegetação, contribuindo para a redução das emissões líquidas de gases de efeito estufa e para o equilíbrio climático.

Pesquisas apontam que a ILPF, por exemplo, pode sequestrar de 1,8 a 8,0 toneladas de CO₂ por hectare ao ano (EMBRAPA, 2020), tornando-se uma alternativa eficaz para uma pecuária de baixo impacto ambiental.

Os sistemas integrados de produção agropecuária podem ser feitos combinando dois componentes apenas, ou os três, da seguinte forma:



Figura 1 - Componentes de sistemas de integração na produção agropecuária, Lavoura-pecuária, Lavoura-floresta, Pecuária-floresta e lavoura pecuária-floresta.

Fonte: Reis (2023)

2.2.1 Carne Carbono Neutro (CCN)

Visando superar os desafios mencionados anteriormente, a Embrapa desenvolveu o conceito “Carne Carbono Neutro”, ou CCN, que é representado por um selo alusivo à produção de bovinos de corte sob sistemas de integração, com a introdução obrigatória do componente arbóreo como diferencial. Este conceito contribuirá para fomentar a implementação de sistemas de produção pecuários mais sustentáveis, especialmente quanto ao aspecto ambiental, com a introdução do componente arbóreo, capaz de

neutralizar o metano emitido pelo rebanho, de forma a agregar valor à carne produzida nestes sistemas (Alves, 2015).

O conceito visa, também, difundir a importância estratégica da sustentabilidade nas cadeias produtivas associadas (carne, grãos e silvicultura), fomentar o uso de sistemas em integração e, por consequência, otimizar o uso dos insumos e fatores de produção, com efeitos sinérgicos positivos (Alves, 2015).

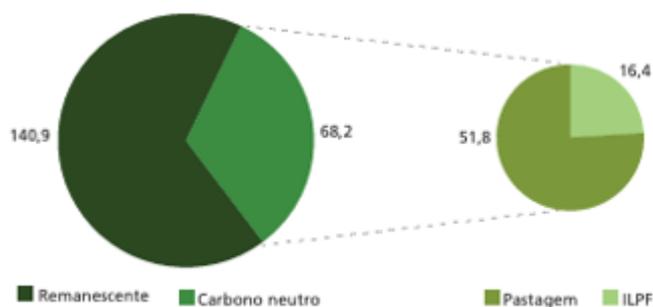


Figura 2 - Projeção da composição adicional de rebanho nacional carbono neutro (2030) (Em milhões de cabeças)

Fonte: Assad et al. (2020)

2.2.2 Carne Baixo Carbono (CBC)

A partir do início da década de 2010, o Brasil se comprometeu a reduzir, nos 10 anos subsequentes, suas emissões de GEEs por meio de um ambicioso programa nacional, o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)¹ (BRASIL, 2012), que priorizou, no âmbito da pecuária, o estímulo à adoção de tecnologias como a recuperação de pastagens degradadas em uma área de 15 M ha, e, como os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) em uma área de 4 m/ ha⁻¹ (Almeida et al., 2012).

Assim como a marca-conceito Carne Carbono Neutro (CCN) valoriza sistemas pecuários com a presença do componente florestal que neutralizam a emissão de gases de efeito estufa (Alves et al., 2015, 2017; Almeida et al., 2016), e representam cerca de 2% da área de pastagens cultivadas do Brasil, a marca Carne Baixo Carbono (CBC) surge no sentido de contemplar sistemas pecuários que não possuem o componente florestal, mas que apresentam potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

A oportunidade para o desenvolvimento de uma nova marca conceito, “Carne Baixo Carbono a marca-conceito CBC pressupõe produção em sistemas cujas emissões

de metano sejam mitigadas durante o processo de produção em função da recuperação do pasto e/ou manejo sustentável de animais em pasto, bem como pelo aumento do estoque de carbono no solo (Almeida & Alves, 2020). Ressaltando que, globalmente, há de duas a três vezes mais carbono nos solos, em relação ao estocado na vegetação e cerca do dobro em comparação com a atmosfera, o que demonstra a importância que os solos assumem no cenário atual (Cerri et al., 2006). Carbono (CBC)”, ou “Low Carbon Brazilian Beef (LCBB)” (Figura 1), concebida e elaborada pela Embrapa, cujo objetivo é a valorização de sistemas de produção pecuários sustentáveis capazes de mitigar o metano emitido pelo rebanho durante o processo produtivo, em pastagens tropicais bem manejadas. Em linhas gerais, propõem-se à utilização em carnes provenientes de animais cujas respectivas emissões de metano foram mitigadas, durante o processo de produção, pelo aumento do estoque de carbono no solo, por meio da adoção de recuperação e manejo sustentável das pastagens e/ou sistemas de ILP, e cujo processo produtivo é reconhecido, certificável e auditável.

Quanto à visão econômica, as análises comprovaram maior lucratividade do CBC em comparação ao manejo convencional, devido à maior produção por área ao longo do período analisado e, na segunda safra, à possibilidade dos animais CBC terem alcançado o peso mínimo de entrada no confinamento e, posteriormente, terem sido abatidos. “Logo, os resultados indicam que a implementação do protocolo CBC proporciona maior produção por área de carne, com aumento da lucratividade (Aragão, 2024).

2.2.3. Espécies de florestais e sequestro de carbono

O Brasil possui aproximadamente sete milhões de hectares de plantios florestais. Os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul se destacam no cenário nacional como os Estados detentores de 87,7% da área total de plantios florestais, no qual Minas Gerais ocupa o primeiro lugar. (ABRAF, 2012).

No presente experimento foram utilizadas quatro espécies florestais, *Tectona grandis* (teca), *Acacia mangium* (acácia), *Azadirachta indica* A. Juss., *Meliaceae*, (nim) e *Khaya spp.* (mogno africano), que desempenharam papel importante ao estocar carbono.

O ciclo global do carbono e nitrogênio é fortemente influenciado pelas florestas, de modo que o crescimento e a dinâmica florestal reduzem suas emissões para a atmosfera. No solo, o aumento desses elementos pode melhorar a sua qualidade, atuando

como indicador de práticas sustentáveis de uso e potencialmente contribuindo para mitigar as mudanças climáticas (Volkova et al., 2015). O mogno-africano (*Khaya* spp.) vem ganhando destaque nesse cenário, justificado pelo seu retorno econômico, características adaptativas, relativa resistência a pragas e boa produtividade (Ribeiro et al., 2018). Dentre as espécies desse gênero, o *Khaya grandifoliola* é o mais plantado no Brasil, com aproximadamente 33.000 hectares (Ferraz Filho et al., 2021).

Almeida (2005) determinou o estoque de carbono em teca na área de solo com plantio em diferentes idades em espaçamento de 3,0 m x 2,0 m. Observou que o estoque de carbono foi de 322,3 t/ha na idade de 5,5 anos, sendo 91% estocada no solo, 5% se encontram na parte aérea, 3% nas raízes e 1% na liteira.

2.2.3.1 *Tectona grandis* (teca)

Cerca de 59% do território brasileiro é coberto por florestas, tanto naturais como plantadas. O Brasil é o segundo entre os países detentores da maior área de florestas do mundo, com aproximadamente 10 milhões de hectares de florestas plantadas (BRASIL, 2018).

O gênero *Tectona* pertence ao Reino Plantae, Filo Tracheophyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Lamiales, Família Lamiaceae e Subfamília Tectonoideae, sendo anteriormente classificado na Família Verbenaceae (Li et al., 2016; IUCN, 2020). Consiste em um pequeno gênero tropical asiático que compreende espécies arbóreas decíduas, distribuídas principalmente no sul e sudeste da Ásia (Li; Olmstead, 2017; Zhao et al., 2021).

O gênero *Tectona* é composto por quatro espécies: *T. grandis* L. f., *T. hamiltoniana* Wall, *T. philipinensis* e *T. abludens* (UGALDE ARIAS, 2013). Conhecida popularmente como Teca (FIGUEIREDO et al., 2005), a espécie *T. grandis* é a mais importante em termos de produção de madeira e programas de plantações (KAOSA-ARD, 1998).

A teca é uma espécie florestal pertencente à família Lamiaceae (MISSOURI BOTANICAL GARDEM, 2013), originária das florestas tropicais de monção do sudeste da Ásia (Índia, Mianmar, Tailândia e Laos) (FAO, 2012). Adaptou-se em vários lugares como em Java (Indonésia) e ao longo dos trópicos: Ásia, África tropical (Costa do Marfim, Nigéria, Serra Leoa, Tanzânia e Togo), além da América Latina e do Caribe (Costa Rica, Colômbia, Equador, El Salvador, Panamá, Trinidad e Tobago e Venezuela). Foi introduzida em algumas ilhas da região do Pacífico (Nova Guiné, Fiji e Ilhas Salomão) e no norte da Austrália de forma experimental (PANDEY e BROWN, 2000).

A superfície de florestas naturais de teca diminuiu 385.000 hectares em todo o mundo, ou seja, 1,3%, entre os anos de 1992 a 2010. Diminuições significativas foram registradas especialmente no Laos (68.500 há), na Índia (até 2,1 milhões ha) e Myanmar (1,1 milhões ha). As diminuições foram decorrentes da exploração de florestas naturais da espécie. Na Tailândia, a proibição de exploração de florestas naturais em 1989 pode ter contribuído para a recuperação de florestas naturais de teca, as quais aumentaram 2,9 milhões de hectares (FAO, 2012). Conforme Nair e Souvannavong (2000), a partir do século XX os plantios da Teca tiveram um aumento considerável, tendo como principal objetivo compensar o esgotamento da espécie nas regiões naturais. A incorporação de plantios de Teca em vários países da África, do Caribe e da América Central aumentou a oferta, o que impulsionou o mercado de madeira mundial que respondeu positivamente à demanda crescente da madeira produzida nos países de origem.

E atualmente, a espécie arbórea *Tectona grandis L. f.*, conhecida como teca, tem se destacado em cultivos homogêneos no país e em consórcios agroflorestais (BRASIL, 2019), apresentando potencial para o sequestro de CO₂ do ponto de vista econômica.

A teca é nativa das florestas tropicais de monção do sudeste da Ásia, possui alta adaptabilidade a diferentes ambientes (condições climáticas e solos), e é apreciada pela qualidade de sua madeira (Brasil, 2003; Andrade, 2010; Bonaldo et al., 2011), que é empregada para diversas finalidades, como na construção civil, naval, movelaria, lenha e carvão vegetal (Pelissari et al., 2014). Os plantios comerciais dessa espécie, além da grande relevância econômica, com o fornecimento de madeira na construção civil, também merecem atenção quanto a sua relevância ecológica, como no sequestro de CO₂, uma vez que, a madeira pode reter este elemento por um longo período fora da atmosfera, armazenando até 0,5 toneladas de CO₂ por metro quadrado de construção (Higa et al., 2017).

Os ecossistemas florestais são capazes de absorver e armazenar grandes quantidades de CO₂, configurando-se como estoques de carbono ou pool de carbono. Para avaliação do estoque de CO₂ nestes ambientes, quantifica-se a biomassa de cada componente, como folhas, galhos, fuste, casca e raízes, e os seus respectivos teores de CO₂, bem como as quantidades presentes na serapilheira e as concentrações no solo (Soares et al., 2005).

A capacidade de estocagem de CO₂ varia conforme a espécie cultivada, a idade, suas características fisiológicas e estágio sucessional (Almeida et al., 2010), o manejo empregado e as condições climáticas. O potencial de fixação é maior na fase inicial de

crescimento, visto que o processo de fotossíntese é acelerado nessa fase, e as florestas estabelecidas exercem função de reservatório (Lemos et al., 2010).

Seguindo este contexto, visto a crescente preocupação com as mudanças climáticas geradas pela emissão de gases poluentes na atmosfera, a busca por alternativas compensatórias para enfrentar este problema ambiental é de fundamental importância. Logo, cultivos de povoamentos florestais, a exemplo da espécie teca, denotam-se como estratégia no sequestro de CO₂ em razão do acúmulo deste elemento na madeira e o aumento do estoque no solo. Além de gerar benefícios econômicos, com a comercialização da madeira e dos créditos de carbono, e ao meio ambiente com o sequestro deste elemento.

2.2.3.2 *Khaya spp.* (mogno africano)

O mogno africano (*Khaya spp.*), do qual uma das espécies é a *Khaya ivorensis* A. Chev., é árvore de origem africana pertencente à família botânica Meliaceae, mesma família do mogno nativo, da andiroba e do cedro. Possui madeira nobre de grande potencial econômico para comercialização interna e externa, podendo ser empregada na indústria moveleira, naval, construção civil, painéis e laminados, entre outros usos (Pinheiro et.al., 2011).

No Brasil, a espécie teve seus primeiros plantios instalados na região Norte no ano de 1976 e a crescente demanda por madeira tropical está levando a novos investimentos em plantios comerciais de mogno africano em todo o país, aquecendo o mercado florestal em torno da espécie. Diversos plantios de *Khaya spp.* já foram instalados na Austrália, Ásia e América tropical, porém poucos estudos foram publicados discutindo resultados dos sistemas silviculturais adotados, do crescimento e da produtividade, da análise econômica e demais que forneçam aos manejadores e investidores florestais mais informações para a tomada de decisão na condução da espécie (Ribeiro et.al., 2017).

Conforme Silva e Costa (2023), a distinção entre o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) e o mogno africano (*Khaya spp.*) está fundamentalmente em suas origens biogeográficas e características dendrológicas. Enquanto o mogno brasileiro é nativo das florestas neotropicais, o mogno africano foi introduzido em diversas regiões, incluindo o Brasil, para fins de silvicultura, demonstrando notável adaptação edafoclimática, apesar de sua aloctonia.

O mogno africano demonstra uma suscetibilidade consideravelmente menor a infestantes, notadamente à broca-das-meliáceas (*Hypsipylla grandella*), o que confere maior robustez e viabilidade em plantios comerciais, mitigando perdas e custos associados ao manejo de pragas (Pereira et al., 2022). Esta característica posiciona o mogno africano como uma alternativa promissora em sistemas agroflorestais e de reflorestamento.

Tabela 1. Quantidade e valores de diferentes produtos de mogno-africano (*Khaya* spp.) importados e exportados por diferentes países

| País | Produto | Ano | Importação | | Exportação | |
|---------------|--|------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | | | Volume (1.000 m ³) | Preço (US\$/ m ³) | Volume (1.000 m ³) | Preço (US\$/ m ³) |
| França | Toras (<i>Khaya</i> <i>spp.</i>) | 2013 | 18,90 | 435,88 | 0,20 | 688,99 |
| | | 2014 | 15,60 | 517,07 | 0,50 | 745,84 |
| | | 2015 | 21,00 | 455,18 | 1,60 | 608,41 |
| | Madeira laminada (<i>Khaya</i> spp.) | 2013 | 65,70 | 1.032,04 | 0,20 | 3.774,41 |
| | | 2014 | 61,70 | 1.044,10 | 0,10 | 7.676,48 |
| | | 2015 | 70,60 | 842,05 | 0,40 | 3.865,04 |
| Coreia do Sul | Toras (<i>Khaya</i> <i>spp.</i>) | 2013 | 0,60 | 673,78 | - | - |
| | | 2014 | 0,30 | 758,31 | - | - |
| | | 2015 | 0,80 | 669,32 | - | - |
| | Madeira Serrada (<i>Khaya</i> spp.) | 2013 | 0,90 | 660,06 | 0,00 | 1.100,00 |
| | | 2014 | 0,50 | 474,33 | - | - |
| | | 2015 | 1,20 | 282,34 | - | - |
| Nova Zelandia | Toras (<i>Khaya</i> <i>spp.</i>) | 2014 | 0,00 | 1.384,24 | - | - |
| | | 2015 | 0,10 | 1.377,95 | - | - |

| | | | | | | | |
|-----------------------|--|---|------|------|-----------|------|----------|
| | | Madeira | 2014 | 0,00 | 4.545,99 | 0,00 | 2.116,14 |
| | | laminada (<i>Khaya spp.</i>) | 2015 | 0,00 | 9.103,19 | 0,00 | 1.161,65 |
| | | Madeira Serrada (<i>Khaya spp.</i>) | 2015 | 0,30 | 841,37 | - | - |
| Malta | | Toras (<i>Khaya spp.</i>) | 2014 | 0,00 | 1.486,24 | - | - |
| | | | 2015 | 0,10 | 1.016,13 | - | - |
| Mali | | Madeira serrada (<i>K. senegalensis</i>) | 2013 | 0,00 | 1.765,00 | - | - |
| | | | 2014 | 0,00 | 601,43 | - | - |
| | | | 2015 | 0,10 | 369,44 | - | - |
| Estônia | | Madeira laminada (<i>Khaya spp.</i>) | 2013 | 0,00 | 4.269,94 | 0,00 | 2.383,93 |
| | | | 2014 | 0,00 | 3.565,94 | 0,00 | 1.966,79 |
| | | | 2015 | 0,00 | 10.191,53 | 0,20 | 1.991,81 |
| | | Painéis (<i>Khaya spp.</i>) | 2014 | 0,20 | 1.539,04 | 0,00 | 2.003,58 |
| | | | 2015 | 0,10 | 1.380,94 | 0,10 | 841,82 |
| Letônia | | Painéis (<i>Khaya spp.</i>) | 2014 | 0,50 | 1.006,80 | 0,00 | 448,46 |
| | | | 2015 | 0,10 | 1.083,68 | 0,00 | 183,60 |
| República do Congo | | Madeira serrada (<i>Khaya spp.</i>) | 2013 | - | - | 2,00 | 189,13 |
| | | | 2014 | - | - | 4,00 | 193,00 |
| | | | 2015 | - | - | 5,00 | 186,44 |

| | | | | | | |
|------------------|----------------------------------|------|------|--------|------|----------|
| República do | Madeira serrada | 2013 | - | - | 8,30 | 898,54 |
| Gana | (<i>K. ivorensis</i>) | 2014 | - | - | 7,40 | 496,06 |
| | | 2015 | - | - | 7,90 | 1.007,71 |
| | Madeira | 2013 | - | - | 1,70 | 1.531,65 |
| | laminada (<i>K. ivorensis</i>) | 2014 | - | - | 1,70 | 1.236,17 |
| | | 2015 | - | - | 2,10 | 1.364,36 |
| | Painéis (<i>K.</i> | 2013 | - | - | 5,70 | 453,95 |
| | <i>ivorensis</i>) | 2014 | - | - | 5,90 | 247,09 |
| | | 2015 | - | - | 0,60 | 329,45 |
| Holanda | Toras (<i>Khaya</i> | 2013 | 0,70 | 766,41 | - | - |
| | <i>spp.</i>) | | | | | |
| Chipre | Painéis (<i>Khaya</i> | 2013 | 0,40 | 811,01 | - | - |
| | <i>spp.</i>) | | | | | |
| República Tcheca | Toras (<i>Khaya</i> | 2014 | 0,70 | 687,71 | - | - |
| | <i>spp.</i>) | | | | | |

Fonte: Adaptado de ITTO (2016)

2.2.3.3 *Azadirachta indica* A. Juss., *Meliaceae* (nim)

O nim (*Azadirachta indica* A. Juss., *Meliaceae*) é nativo da Índia e Myanmar (antiga Burma), onde cresce em florestas de regiões tropicais e subtropicais. Nessas regiões o nim se apresenta como árvore de crescimento rápido e perenifolia (Maithani et al., 2011). É uma planta utilizada há mais de 4.000 anos em virtude de suas propriedades medicinais apresentadas por seus frutos, sementes, folhas, cascas e raízes conterem compostos com comprovada ação antisséptica, anti-inflamatória e antifúngicas, entre outros (Girish & Bhat, 2008). Por isto, em países onde a espécie é nativa o extrato das folhas do nim é usado no tratamento de úlcera, de diabete e em procedimentos periodônticos (Pankaj et al., 2011).

Quanto aos produtos da árvore, a aplicação do óleo de nim a 0,6% no solo é uma boa alternativa ao uso de inseticidas químicos para controle de pupas das moscas *Lucilia cuprina*, *Chrysomya megacephala*, *Cochliomyia hominivorax* e *Musca doméstica* (DELEITO e BORJA, 2008).

Na Índia o nim é conhecido por sua tolerância à seca pois cresce em áreas com regime de chuva que varia de 400 a 1200 mm e em diferentes tipos de solo (Maithani et al., 2011) porém esses autores mencionam que o nim apresenta melhor crescimento quando cultivado em solos profundos, arenosos, bem drenados e com pH entre 6,2 e 7,0.

No Brasil a condução de plantios com nim em regiões dos biomas Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Amazônia impõe mudanças no manejo e na adubação adotado. Isto requer que nesses biomas o cultivo do nim seja conduzido preferencialmente em solos com características edafoclimáticas similares às mencionadas por Maithani et al. (2011).

A madeira do nim é dura, relativamente pesada (0,56 – 0,85 g/cm³), muito utilizada na confecção de carretas, ferramentas e implementos agrícolas, pois apresenta resistência ao ataque de cupins e ao apodrecimento. Seu cerne é rico em tanino e sais inorgânicos de cálcio, potássio e ferro. O manejo adequado do estande em floresta pura pode propiciar rendimentos de madeira de alta qualidade de até 15 m³/ha/ano até o quarto ano de idade e 40 m³/ha/ano aos dez anos (NEVES et al., 2003). Por ser durável e resistente, é utilizada também na fabricação de postes para cercas, casas e móveis finos, sendo os postes de nim especialmente importantes nos países em desenvolvimento (VIETMEYER, 1992; NEVES et al., 2003).

A madeira do nim indiano apresentou poder calorífico de 4.088 kcal/kg, com rendimento em carvão de 38,20%, teor de cinzas de 2,11% e porcentagem de carbono de 81,82%, o que revela a qualidade desta espécie também como material energético

(ARAÚJO, et al., 2000). O nim pode ser usado estrategicamente como quebra-vento e, em áreas de poucas chuvas e ventos fortes, protege as culturas da dessecação. Segundo Benge (1988), na Nigéria, o nim é usado como quebra-vento em plantações de milho, resultando em 20% de aumento na produção de grãos.

2.2.3.4 *Acacia mangium* (Acacia)

A *Acacia mangium Willd* pertence à família Fabaceae, subfamília Mimosoidae, sendo popularmente conhecida no Brasil como acácia-australiana, cássia ou simplesmente acácia. A família Fabaceae contém mais de 727 gêneros e 19325 espécies diferentes ao redor de todo o mundo, o que a torna a terceira maior família de angiospermas (Lewis et al. 2005).

O gênero *Acacia* possui mais de 1200 espécies botânicas catalogadas, em sua grande parte pioneiras e de rápido crescimento, as quais ocorrem naturalmente em quase todo o mundo, com exceção da Europa e da Antártida (RODRIGUES et al., 2008), sendo a Austrália identificada como o principal centro de diversidade do gênero, dentro do qual se encontra a *Acacia mangium* (ROSSI et al., 2003).

A leguminosa arbórea *Acacia mangium* é uma espécie promissora, usada para lenha, madeira para fabricação de móveis, fornecimento de polpa para papel, conforto térmico para animais e produção de mel, e ser adaptada a solos ácidos e com baixo teor de fósforo (GONÇALVES; LELIS, 2012; NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1983).

A acácia apresenta crescimento rápido, com até 3,5 metros de altura e oito centímetros de DAP no segundo ano, podendo apresentar até 0,9 m³ por árvore com 10 anos, requerendo desramas para condução de madeira para processamento em serrarias. O poder calorífico da espécie (4.900 kcal/kg) favorece seu uso para produção de energia, sendo seu uso quatro vezes mais eficiente do que a madeira de espécies nativas, tradicionalmente usadas em olarias e fornos no Amazonas (AZEVEDO et al., 2002).

2.3 Mitigação do Gás Efeito Estufa

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), responsável pela regulamentação dos inventários globais de GEE, estabelece as diretrizes metodológicas a serem seguidas pelos países que são partes signatárias do acordo global para a mitigação desses gases.

Para fins de contabilidade da emissão de GEEs pela certificação CBC, foram adotados fatores de emissão do relatório mais atualizado do IPCC para o Brasil (América Latina) ou, quando disponível, valor oficial suportado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) ou, em seu lugar, outro órgão reconhecido pelo governo brasileiro com o papel de definir fatores de emissão.

A Rede PECUS, desenvolveu a primeira equação empírica de emissão entérica de metano a partir de dados brasileiros publicados entre 2003 e 2012 (n=50, MEDEIROS et al., 2014). Como indicativo de projeção, a figura 3, refere-se a importância da evolução do balanço de emissões do sistema ILPF, por componente do sistema (2020-2030).

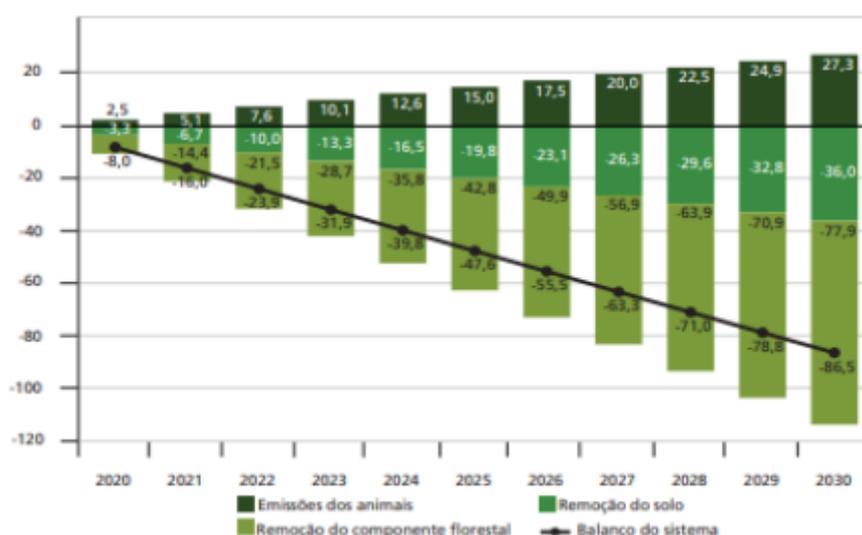


Figura 3- Projeção da evolução do balanço de emissão do sistema ILPF, por componente do sistema (2020-2030) em milhões de CO₂.

Fonte: Assad et al (2020)

Nesse conjunto, 60% dos dados eram de bovinos em pastagem e 80% dos animais da raça Nelore.

2.4 Equação Pecus

A equação empírica PECUS, com seus coeficientes e erros-padrão (entre parênteses), é:

$$\text{CH}_4 \text{ (kg/d)} = -0,1011 (\pm 0,02903) + 0,02062 (\pm 0,002834) \times \text{IMS} + 0,001648 (\pm 0,000417) \times \text{FDN onde:}$$

CH₄ = emissão de metano entérico,

IMS = ingestão de matéria seca (kg/dia),

FDN = fibra em detergente neutro da dieta (%).

Para o cálculo acima, pode-se levar em consideração modelos do NRC (2000) para estimativa de ingestão de matéria seca. Em simulação na qual a abordagem acima foi empregada (ALVES et al., 2015).

Referências bibliográficas

Associação Brasileira De Produtores De Florestas Plantadas – ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília: ABRAF; 2013. 148 p.

ABADIAS, M. I., FONSECA, P. R. B., & BARBOS, C. H. (2020). Manejo Da Pecuária: Uma Análise Sobre Impactos Ambientais. Revista EDUC Amazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente, Humaitá, 13, 113–125.

ABIEC– Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil. 2024. Disponível em: <https://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>. Acesso em: 10 de abril de 2025.

ALMEIDA, R. G.; GOMES, R. C.; SILVA, V. P.; ALVES, F. V.; FEIJÓ, G.L.D.; FERREIRA, A. D.; OLIVEIRA, E.; BUNGENSTAB, D. J. Carbon Neutral Brazilian Beef: testing its guidelines through a case study. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GREENHOUSE GASES IN AGRICULTURE, 2, 2016, Campo Grande, MS. Proceedings... Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2016. p. 277-281.

ALMEIDA, E. M. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L. f.) em diferentes idades. 2005. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

ALMEIDA, R. G., & ALVES, F. V. (2020). *Diretrizes técnicas para produção de carne com baixa emissão de carbono certificada em pastagens tropicais: Carne Baixo Carbono (CBC)*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte. Retrieved in 2024, July 23, from <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1120985/diretrizes-tecnicas-para-producao-de-carne-com-baixa-emissao-de-carbono-certificada-em-pastagens-tropicais-carne-baixo-carbono-cbc>

ALMEIDA, E. M.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; FINGER, Z. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L. f.) em diferentes idades. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n.4, p. 559-568, 2010.

ALVES, R. M.; CHAVES, S. F. da. S.; GAMA, M. A. P.; PEDROZA NETO, J. L.; SANTOS, T. G. dos. Seleção simultânea de genótipos de cupuaçuzeiro e mogno brasileiro, em um sistema Agroflorestal no Pará, Brasil. *Acta amazônica*, Manaus, v. 50, n. 3, p. 183-191, setembro de 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202000711>

ALVES, F. V., LAURA, V. A., & DE ALMEIDA, R. G. (2015). *Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável*. Embrapa Gado de Corte-Livro técnico (INFOTECA-E). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1010949/sistemas-agroflorestais-a-agropecuaria-sustentavel>.

ALVES, F. V. ALMEIDA, R. G. de LAURA, V. A. *Carne Carbono Neutro – um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos*. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1056155/carne-carbono-neutro-um-novo-conceito-para-carne-sustentavel-produzida-nos-tropicos>.

ANDRADE, W. F. Indução do rejuvenescimento de Teca (*Tectona grandis*) através de enxertia seriada e micropropagação. 2010. 76f. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

AQUINO, H. Gestão de Florestas de Mogno Africanos. Instituto Brasileiro de Florestas (IBF). 2018. Acessado em: 16 dezembro 2024. Disponível em <<http://edu.ibflorestas.org.br/wp-content/uploads/2016/05/higino-aquino-4workshop.pdf>>

ARAÚJO, L. V. C.; RODRIGUEZ, L. C. E.; PAES, J. B. Características físico-químicas e energéticas da madeira de nim indiano. *SCIENTIA FORESTALIS* n. 57, p.153-159, jun. 2000.

ARNOLD, R. J. *Khaya senegalensis*: current use from its natural range and its potential in Sri Lanka and elsewhere in Asia. In: PROSPECTS for high-value hardwood timber plantations in the 'dry' tropics of northern Australia, Mareeba, Queensland, 2004. Proceedings...Queensland: Private Forestry North Queensland Association Inc, 2004. CD-ROM.

AZEVEDO, T. L. F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do programa de Ciências Agro-ambientais**, Alta Floresta, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2002.

BAHIA, N. C. et al. Viabilidade econômica do cultivo de *Khaya senegalensis* em sistemas agroflorestais. *Revista Árvore*, v. 44, e4432,2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-90882020000200002>. Acesso em 20 de junho de 2025.

BANDY, D. E. ICRAF's strategies to promote agroforestry systems. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1.; ENCONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAISES DO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Velho. Anais... Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994. v. 1, p. 15-31. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 27).

BARROS, R. P. et al. Desempenho de *Acacia mangium* em sistemas silvipastoris no Cerrado. *Agropecuária Técnica*, v. 1, p.30-37, 2022.

BEEF POINT. Quais são os maiores produtores de carne bovina do mundo? Veja o ranking? (2024). Disponível em: <https://beefpoint.com.br/quais-sao-os-maiores-produtores-de-carne-bovina-do-mundo-veja-o-ranking/>. Acesso em 12 de dezembro de 2024.

BENGE, M. D. Cultivation and propagation of neem tree. In.: JACOBSON, M. Focus and phytochemical pesticides: the neem tree. Boca Raton: p.2-18. CRC Press, 1988.

BENTO, G. P.; SCHMITT FILHO, A. L.; FAITA, M. R. Sistemas silvipastoris no Brasil: uma revisão sistemática. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, p. 1-25, 2020. BISCOLA, P. H. N; MALAFAIA, G.C. Anuário Carne da cadeia produtiva da carne bovina: 2024 - 2025. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2025. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1174114>.

BONALDO, S. M. et al. Relato oficial da ocorrência de Olivea tectonea em teca (Tectona grandis) no Brasil. Summa Phytopathologica, v. 37, n. 3, p. 153-153, 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Árvores. Relatório 2019. Brasília: IBÁ, ed. 6, p. 77, 2019. Disponível em: Acesso em: 16 nov 2024.

BRASIL. Instituto de Pesquisas e Estudos de Florestas. Tectona grandis Linn. f. (Teca), 2003. Disponível em: Acesso em: 16 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano ABC+: Plano Setorial de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária. Brasília, 2020."

BROOM, D. M. (2017). Components of sustainable animal production and the use of silvopastoral systems. Revista Brasileira de Zootecnia, 46(8), 683–688. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000800009>.

CASTRO, A. C.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B.; SANTOS, N. F. A.; MONTEIRO, E. M. M.; AVIZ, M. A. B.; GARCIA, A. R. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. Ciência Rural, n. 38 v. 8, p. 2.395- 2.402, 2008. DOI: 10.1590/S0103-84782008000800050.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; LAL, R. Challenges and Opportunities of Soil Carbon Sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. *Carbon Sequestration in Soils of Latin America*. Haworth Press, 2006, p. 41-48.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. L. da; OLIVEIRA NETO, S. N. de; OLIVEIRA, T. M. Simulação da variação do espaçamento na viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. Floresta e Ambiente, v.25 n.1, p. 1-8, 2018.

CUBBAGE, F. et al., Timber Investment Returns for Selected Plantations and Native Forest in South America and North America. New Forests, v. 45, n. 2, p. 283-301, 2014.

DENIZ, M., SCHMITT FILHO, A. L., HÖTZEL, M. J., DE SOUSA, K. T., PINHEIRO MACHADO FILHO, L. C., & SINISGALLI, P. A. (2020). Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. International Journal of Biometeorology, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01975-0>.

DELEITO, C. S. R.; BORJA, G. E. M. Nim (Azadirachta indica): uma alternativa no controle de moscas na pecuária. Pesq. Vet. Bras, vol. 28, no. 6, p.293-298, 2008.

DENIZ, M., SCHMITT FILHO, A.L., HOETZEL, M.J., FARLEY, J. Quadros, S.F. (2018). High Biodiversity High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. International Journal of Biometeorology, 63:83- 92. DOI: 10.1007/s00484-018-1638-8.

DIAS, L.C. et al. Potencial de espécies florestais para sistemas agroflorestais no semiárido brasileiro. Revista Ciência Florestal, v.30 n. 1, p. 167-178, 2020.

DUBOIS, J. C. L. Para utilizar de forma correta a terminologia SAF. Rio de Janeiro: Rebraf, 2004. Disponível em: Acesso em: 09 abril. 2025.

EMBRAPA. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: estratégia para intensificação sustentável da agropecuária brasileira. Brasília: Embrapa, 2020.

EMBRAPA. Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF): Estratégia de Produção Sustentável. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-ilpf>>. Acesso em: 19 abr. 2025.

FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Teca: Los bosques naturales disminuyen, mientras que los plantados aumentan. Roma, 2012.

FERRAZ FILHO, A.C.; RIBEIRO, A.; BOUKA, G.U.D.; FRANK JUNIOR, M.; TERRA, G. African Mahogany plantation highlights in Brazil. *Floresta e Ambiente*, v.28, n.3, p. 1-3, 2021. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0081>.

FIGUEIREDO, E. O; OLIVEIRA, L. K; BARBOSA, L. K. F. Teca (*Tectona grandis* L.f.): principais perguntas do futuro empreendedor florestal. EMBRAPA – Embrapa Acre, Rio Branco, n. 97, p. 87, 2005.

FURTADO, R. C., ABREU, L. S. DE, & FURTADO, A. T. (2019). Sistemas agroflorestais. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 35(3), 427–451. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.CCT2018.V35.26319>.

GIRISH, K.; BHAT, S. S. Neem - A green treasure. *Electronic Journal of Biology*, v.4, p.102-111, 2008.

GONÇALVES FG, LELIS RCC. Caracterização tecnológica da madeira de *Acacia mangium* Willd em plantio consorciado com eucalipto. *Floresta e Ambiente* 2012; 19(3): 286-295. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.034>.

HAMRICK, K.; GALLANT, M. Voluntary Carbon Market Insights 2022. *Forest Trends*, 2022.

HIGA, R. C. V.; ZANATTA, J. A.; RACHWAL, M. F. G. Plantações florestais comerciais e a mitigação na mudança do clima. In: OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. (ed.). *Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental*. Brasília, DF: Embrapa Florestas, p. 69-112, 2017.

HUNTSINGER, L., SULAK, A., GWIN, L., & PLIENINGER, T. (2004). Oak Woodland Ranchers in California and Spain. In *Sustainability and Management* 309–326.

IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>. Acesso em: 19 abr. 2025.

ITTO. International Tropical Timber Organization. Annual review and assessment of the world timber situation 2012. Disponível em: . Acesso em 22 de abril de 2025.

ITTO. International Tropical Timber Organization. Biennial review and assessment of the world timber situation 2015-2016. Disponível em: . Acesso em: 22 de abril de 2025.

ITTO. International Tropical Timber Organization. Market Information Service: Tropical Timber Market Report. Yokohama: ITTO, 2023.

IUCN. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. The IUCN Red List of Threatened Species 2020. Cambridge, 2020. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/32123/126992854>. Acesso em: 16 set. 2025.

JOSEPH, L., SCHMITT FILHO, A. L., SINISGALLI, P. A., FARLEY, J., ZAMBIAZI, D. C. (2019) Sistemas silvipastoris e serviços ecossistêmicos: a visão dos produtores de leite da capital da agroecologia no Sul do Brasil. Revista de Ciências Agrárias, 42 (3): 829-841. <https://doi.org/10.19084/rca.17116>

KAOSA-ARD, A. Overview of problems in teak plantation establishment. REGIONAL SEMINAR ON TEAK. Bangkok: FAO, p. 49–59, 1998.

KLEINPAUL, I. S.; SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M.; NAVROSKI, M. C. (2010) Plantio misto de Eucalyptus urograndis e Acacia mearnsii em sistema agroflorestal: I - Produção de biomassa. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 621-627.

KRETZER, S. G. (2019). Influência do Sistema Silvipastoril com Núcleos de alta diversidade na dinâmica e microclima forrageiro. Orientador, Schmitt Filho, A. L., Coorientador, Kazama, D. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) Programa de Pós-Graduação, Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 82.

LAMB, D.; BORSCHMANN, G. Agroforestry with high value trees. Canberra: Rural Industries Research and Development Corporation. 1998. 59 p.

LEMMENS, R. H. M. J. *Khaya ivorensis*. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A. A.; BRINK, M. (Ed.). Plant resources of tropical Africa. Wageningen: PROTA Foundation, 2008. Disponível em: . Acesso em: 22 de abril de 2025.

LEMOS, A. L. F.; VITAL, M. H. F.; PINTO, M. A. C. As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 32, p. 153-192, 2010.

LEWIS, G.; SCHRINE, B.; MACKINDER, B. & LOCK, M. Legumes of the world. Royal Botanic Gardens, Kew, 577p, 2005.

LI, B.; CANTINO, P. D.; OLMSTEAD, R. G.; BRAMLEY, G. L. C.; XIANG, C. L.; MA, Z. H.; TAN, Y. H.; ZHANG, D. X. A large-scale chloroplast phylogeny of the Lamiaceae sheds new light on its subfamilial classification. Nature: Scientific Reports, v. 6, article number 34343, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep34343>.

LI, B.; OLMSTEAD, R. G. Two new subfamilies in Lamiaceae. Phytotaxa, v. 313, n. 2, p. 222-226, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.313.2.9>.

MAITHANI, A.; PARCHA, V.; PANT, G.; DHULIA, I.; KUMAR, D. *Azadirachta indica* (neem) leaf: A review. Journal of Pharmacy Research, v.4, p.1824-1827, 2011.

MALAFAIA, G. C.; BISCOLA, P. H. N. Anuário Cia Carne da cadeia produtiva da carne bovina - 2023. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2023. 30p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1160117>
Acesso em: 01 de dezembro de 2024.

MISSOURI BOTANICAL GARDEN. *Tectona grandis* L.f. 2013 Disponível em: <http://www.tropicos.org/name/33700544>. Acesso em: 17 nov. 2024.

MONTAGNINI, F. (Coord.). *Sistemas agroflorestales: principios y aplicaciones en los trópicos*. 2. ed. ver. aum. San José: Organización para Estudios Tropicales, 1992. 622 p.

NAIR, C. T. S.; SOUVANNAVONG. O. Nuevos temas de investigación en la ordenación de la Teca. *Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales*, Rome, v.51, n.201, p.45-54, 2000.

NAIR, P. K. State-of-the-art of agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 45, p. 5-29, 1991.

National Research Council. (1983). *Mangium: Silviculture and utilization with considerations for thermal comfort and ecological adaptation*. National Academy Press.

NEBA, N. E. Management of woody plants in indigenous land use systems of the Sahel: Example of north Cameroon. *International NGO Journal*, v. 4, n. 11, p. 480-490, 2009.

NEVES, B. P. das; OLIVEIRA, I. P. de; NOGUEIRA, J. C. M. Cultivo e utilização do nim indiano. Santo Antônio de Goiás: 12p., (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 62). Embrapa Arroz e Feijão, 2003.

NIERI, E. M.; MACEDO, R. L. G.; MARTINS, T. G. V.; MELO, L. A. de; VENTURIN, R.P.; VENTURIN, N. Comportamento silvicultural de espécies florestais em arranjo para integração pecuária floresta. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 48, n. 2, p. 195-202, abr/jun. 2018.

OLIVEIRA, F. L. R. DE ., CABACINHA, C. D., SANTOS, L. D. T., BARROSO, D. G., SANTOS JÚNIOR, A. DOS ., BRANT, M. C., & SAMPAIO, R. A. (2015). CRESCIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO E ACÁCIA, EM DIFERENTES ARRANJOS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA. *CERNE*, 21(2), 227–233. <https://doi.org/10.1590/01047760201521021489>

PACIULLO, D. S. C., PIRES, M. F. A., AROEIRA, L. J. M., MORENZ, M. J. F., MAURÍCIO, R. M., GOMIDE, C. A. M., & SILVEIRA, S. R. (2014). Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, 8(8), 1264–1271. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000767>.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno., *Pesquisa Agropecuária Brasileira* Brasília, v. 42, p. 573-579, 2007.

PANDEY, D.; BROWN, C. La teak: una visión global. *Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales*, Roma, v. 51, n. 201, p. 3-13, 2000.

PELLISSARI, A. L. et al. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. *Agrarian Academy*, Goiânia, v. 1, n. 01, p. 127- 145, 2014.

PEREIRA, A. C., SANTOS, R. V., & OLIVEIRA, F. G. (2022). Resistência de espécies de *Khaya* a *Hypsipylla grandella*: Implicações para a silvicultura de mognos. *Ciência Florestal*, 32(4), 567-578.

PERI, P. L., DUBE, F., & VARELLA, A. (2016). *Silvopastoral Systems in Southern South America* 11o ed, Vol. 11. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24109-8>.

PINHEIRO AL, COUTO L, PINHEIRO DT, BRUNETTA JMFC. *Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilizações dos mognos-africanos (Khaya ssp.)*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura; 2011.

REZENDE, G. C. de; OLIVEIRA, A. M. de. Rentabilidade econômica de espécies florestais: teca, eucalipto, mogno africano e seringueira. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 55, n. 2, p. 279-296, 2017.

RIBEIRO. A, FERRAZ A. C. F. O, SCOLFORO J. R.S. O Cultivo do Mogno Africano (*Khaya spp.*) e o Crescimento da Atividade no Brasil. *Floresta e Ambiente* 2017. 24: e00076814 <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.076814> ISSN 2179-8087 (online).

RIBEIRO, A.; SILVA, C.S.J.; FERRAZ FILHO, A.C.; SCOLFORO, J.R.S. Financial and risk analysis of African Mahogany plantations in Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, v.42, n.2, p.148-158, 2018. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018422026717>.

RODRIGUES, A. P. D. C. et al. Tratamentos para superar a dormência de sementes de *Acacia mangium* Willd. *Revista Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, n. 2, p. 279-283, 2008.

ROSA, R., SANO, E. E., & ROSENDO, J. DOS S. (2014). Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. *Sociedade & Natureza*, 26(2), 333–351. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140210>.

ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P.; SOUZA, C. R. *Acacia mangium*. Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 28. Manaus, 29p. 2003.

SCHMITT FILHO, A. L., & FARLEY, J. (2020). Transdisciplinary case study approaches to the ecological restoration of rainforest ecosystems. In *Ecological Economic and Socio Ecological Strategies for Forest Conservation: A Transdisciplinary Approach Focused on Chile and Brazil* (p. 185–212). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35379-7_10.

SILVA, J. P., & COSTA, L. M. (2023). Análise comparativa da adaptabilidade e crescimento de *Swietenia macrophylla* e *Khaya ivorensis* em diferentes biomas brasileiros. *Revista Brasileira de Silvicultura*, 45(2), 123-135.

SILVA, R. A. da; CRESTE, J. E.; MEDRADO, M. J. S.; RIGOLIN, I. M. Sistemas integrados de produção – o novo desafio para a agropecuária brasileira. *Colloquium Agrariae*, v. 10, n.1, p. 55-68, Jan-Jun. 2014.

SILVA, F. C. da; LIMA, R. M. B. de. Modelos alométricos para estimativa de volume e biomassa em espécies florestais. *Floresta*, Curitiba, v. 50, n. 2, p. 145-158, 2020.

SILVEIRA, M. C. T., SANTOS, F. C., ALMEIDA, R. G., ALBUQUERQUE FILHO, M. R., VIANA, J., VILELA, L., & PEREIRA, M. A., FEIJO, G. L. D., MACEDO, M. C. M., ALVES, F. V., OLIVEIRA-PAIVA, C. A., OLIVEIRA-PAIVA, C. A., SIMEÃO, R. M., FIGUEIREDO, A. B. A., FREITAS, A. C. R. & BARBOSA, T. (2023). *Produção de carne com baixa emissão de carbono em pastagens tropicais: resultados de validação das diretrizes técnicas em fazenda comercial*. Begé: Embrapa Pecuária do Sul. Acesso em 13 de abril de 2025. Acesso em 12 de maio de 2025. Disponível e: » <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1158163>

SIMIONE, G. F., SCHMITT FILHO, A. L., JONER, F., FANTINI, A. C., FARLEY, J., & MOREIRA, A. T. (2019). Variação da assembleia de aves em áreas pastoris e remanescentes florestais adjacentes. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(4), 884–895. <https://doi.org/10.19084/rca.17601>.

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; GÖRGENS, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. *Revista árvore*, Viçosa, v. 29, n. 5, p.711-718, 2005.

SOUZA, D. H. et al. Avaliação do crescimento e biomassa de espécies madeiráveis em sistemas agroflorestais. *Revista Árvore*, v. 41, n. 5, p. 1-12, 2017.

SOUZA, L. R. de et al. Análise econômica do cultivo de *Tectona grandis* em diferentes espaçamentos. *Revista Floresta*, v. 49,n. 3, p. 453-462, 2019. Disponível em <http://doi.org/10.5380/rf.v49i3.61838>. Acesso em 20 de junho de 2025.

SOUZA, A. N. et al., Viabilidade econômica de sistemas silvipastoris no Cerrado brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 58, n. 3,2020.

PANKAJ, S, LOKESHWAR, T.; MUKESH, B.; VISHNU, B.; Review on neem (*Azadirachta indica*): Thousand problems one solution. *International Research Journal of Pharmacy*, v.2, p.97-102, 2011.

PINHEIRO, A. L, Couto L, Pinheiro DT, Brunetta JMFC. *Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilizações dos mognos- africanos (Khaya ssp.)*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura; 2011.

UGALDE ARIAS, L. A. In: TEAK: New trends in silviculture, commercialization and wood utilization. Cartago, Costa Rica: International Forestry and Agroforest, 2013.

VIETMEYER, N. *Neem - a tree for salving global problems: report of an Ad-Hoc Panel of the Board on Science and Technology for International Development*, National Research Council. Washington: 141p., National Academic Press, 1992.

VOLKOVA, L.; BI, H.; MURPHY, S.; WESTON, C.J. Empirical estimates of aboveground carbon in open eucalyptus forests of south-eastern Australia and its potential implication for national carbon accounting. *Forests*, v.6, n.1, p.3395- 3411, 2015. <https://doi.org/10.3390/f6103395>

ZHAO, F.; CHEN, Y. P.; SALMAKI, Y.; DREW, B. T.; WILSON, T. C.; SCHEEN, A. C.; CELEP, F.; BRÄUCHLER, C.; BENDIKSBY, M.; WANG, Q.; MIN, D. Z.; PENG, H.; OLMSTEAD, R. G.; LI, B.; XIANG, C. L. An updated tribal classification of Lamiaceae based on plastome phylogenomics. *BMC Biology*, v. 19, n. 2, p. 1-27, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12915-020-00931-z>.

Capítulo 1 - Simulação de Análise Técnico-Econômica e de Sequestro de Carbono de Quatro Espécies Madeiráveis em Sistema Integração Lavoura Pecuária Floresta Utilizando Métodos Não Destrutivos

Resumo

Este estudo objetivou avaliar o desempenho produtivo, o sequestro de carbono e a viabilidade econômica de quatro espécies florestais (*Tectona grandis*, *Acácia mangium*, *Azadirachta indica* e *Khaya ivorensis*) cultivadas em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Foi realizada uma simulação da produção e do sequestro de carbono considerando ciclo de crescimento de 10 anos, com base em dados biométricos obtidos por meio de métodos não destrutivos. As variáveis dendrométricas, diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total, foram mensuradas utilizando trena florestal e hipsômetro eletrônico. Posteriormente, os volumes individuais e a biomassa acima do solo foram estimados com base em equações alométricas validadas na literatura científica para cada espécie, possibilitando a conversão dos dados em volume de madeira comercial e estimativas de carbono estocado. Foram utilizados dados de crescimento, volume, biomassa e valores de mercado para estimar a receita de madeira e créditos de carbono, além do custo total por hectare. Para estimar a rentabilidade da produção madeireira em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, foram considerados os preços médios de mercado da madeira em tora. O Mogno africano destacou-se como a espécie de maior retorno econômico e ambiental, com Valor Presente Líquido de US\$ 27,490.00 lucro líquido de US\$ 63,214.00 e sequestro de 30,828 tCO₂ eq/ha em 10 anos. O estudo contribuiu com informações relevantes para o planejamento de sistemas produtivos sustentáveis.

Palavras-chave: Crédito de carbono, biomassa, espécies florestais, silvicultura sustentável.

Chapter 1 - Simulation of Technical-Economic Analysis and Carbon Sequestration of Four Timber Species in an Integrated Crop-Livestock-Forestry System Using Non-Destructive Methods

Abstract

This study aimed to evaluate the productive performance, carbon sequestration, and economic viability of four forest species (*Tectona grandis*, *Acacia mangium*, *Azadirachta indica*, and *Khaya ivorensis*) cultivated in an Integrated Crop-Livestock-Forestry (ICLF) system. A simulation of production and carbon sequestration was performed considering a 10-year growth cycle, based on biometric data obtained through non-destructive methods. The dendrometric variables, diameter at breast height (DBH) and total height, were measured using a forestry tape measure and an electronic hypsometer. Subsequently, individual volumes and aboveground biomass were estimated based on allometric equations validated in the scientific literature for each species, enabling the conversion of the data into commercial timber volume and estimates of stored carbon. Growth, volume, biomass, and market value data were used to estimate timber revenue and carbon credits, as well as the total cost per hectare. To estimate the profitability of timber production in Integrated Crop-Livestock-Forestry systems, average market prices for roundwood were considered. African mahogany stood out as the species with the highest economic and environmental return, with a Net Present Value of US\$23,026.00, a net profit of US\$63,214.00, and sequestration of 30.828 tCO₂ eq/ha over 10 years. The study contributed relevant information for planning sustainable production systems.

Keywords: Carbon credit, biomass, forest species, sustainable forestry.

1 - Introdução

A crescente demanda por sistemas de produção sustentáveis tem impulsionado o uso de arranjos como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agrossilvipastoril, que combinam produtividade, diversificação de renda e benefícios ambientais.

Balbino (2011) define a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agrossilvipastoril, como sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área. O componente “lavoura” restringe-se ou não a fase inicial de implantação do componente florestal.

Os sistemas Integração Lavoura-Pecuária ou Agropastoril, Integração Pecuária-Floresta ou Silvipastoril, Integração Lavoura-Floresta ou Silviagrícola, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta ou Agrossilvipastoril, abrangem os sistemas agroflorestais (SAFs), que são classificados em: silviagrícola, silvipastoril (SSP) e agrossilvipastoril (Nair, 1991; Montagnini et al., 1992; Bandy, 1994; Dubois, 2004), sendo, portanto, a ILPF uma estratégia que apresenta classificação mais abrangente.

A atenção dada aos sistemas integrados, nos últimos anos, justifica-se pela constatação dos potenciais benefícios agronômicos, econômicos, ambientais e sociais desses sistemas. Pelo prisma econômico, inclui-se, ainda, o aumento na produtividade das culturas e da pastagem, o uso mais racional de insumos, máquinas e mão-de-obra, a melhora no fluxo de caixa e o aumento da liquidez. Além disso, a diversificação de atividades é uma alternativa interessante para reduzir os riscos de produção e para tornar menos volátil a renda na propriedade, no tocante a variações de preços e de produtividades entre anos (Balbino et al., 2011).

Este capítulo analisa o desempenho produtivo, o sequestro de carbono e a rentabilidade da madeira de quatro espécies madeiráveis em um sistema ILPF: *Tectona grandis* (teca), *Acacia mangium* (acácia), *Azadirachta indica* (nim) e *Khaya senegalensis* (mogno africano). Para isso, são utilizados métodos não destrutivos de estimativa de volume e biomassa, acompanhados de indicadores técnico-econômicos.

Dentro dos SAFs, os SSPs promovem formas de integração entre espécies florestais e as atividades pecuárias que desencadeiam uma série de benefícios ambientais, econômicos e sociais. Estes refletem no conforto animal, benefícios ao solo, ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono, entre outros, que possibilitam a redução dos impactos causados pela pecuária tradicional e melhorias na produtividade e rentabilidade do produtor rural (Nieri et. al., 2018; Bento et. al., 2020).

Os estudos do ciclo do carbono (C) apresentam grande interesse devido à sua implicação nas mudanças climáticas, por influência da alteração das emissões dos gases de efeito estufa (GEEs).

O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e sua relação com o aquecimento global, tem sido discutido em pesquisas voltadas ao agronegócio, contudo neste estudo, com a finalidade de produzir carne de qualidade adotando práticas sustentáveis.

O constante aumento de gases carbônicos na atmosfera, particularmente o CO₂ e o CO, tem levantado a discussões sobre as alternativas que poderiam diminuir a liberação destes gases visando minimizar o impacto no meio ambiente. Uma alternativa que vem sendo discutida como uma opção viável para solucionar, em parte, a emissão de carbono na atmosfera, trata-se do sequestro e armazenamento de carbono atmosférico, o que pode ser feito pela vegetação (Rosa et. al., 2014).

A produção de madeira é comumente avaliada pelo volume de madeira produzido por unidade de área em um intervalo de tempo, quantificada nos inventários florestais. Durante o inventário florestal, árvores são cubadas para a obtenção do volume e geração de equações matemáticas para estimar o volume das árvores de parcelas. A cubagem pode ser realizada em árvores abatidas ou em árvores em pé (Oliveira, M. et al., 2009).

O método geométrico para quantificação do volume, desenvolvido por Andrade e Leite (2001), baseado na altura relativa, tem como vantagem a rapidez e redução de custos, além de ser um método não destrutivo de árvores. Nesse método, por meio de modificações algébricas feitas no coeficiente angular da reta, formada em intervalos pré-definidos na árvore em pé, ou seja, sem o corte, são geradas as expressões taper. Com essas expressões, pode-se estimar o diâmetro em qualquer altura da árvore e vice-versa e, assim, o perfil dos fustes pode ser reconstituído e os seus volumes, calculados, a partir de fórmulas específicas, como a de Smalian (CHAPMAN; MEYER, 1949).

A hipótese que orienta este estudo é a de que, quando cultivadas em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), as espécies madeiráveis teca (*Tectona grandis L.*), acácia (*Acacia mangium*), nim (*Azadirachta indica*) e mogno africano (*Khaya spp.*) apresentam crescimento suficiente para garantir simultaneamente elevada rentabilidade econômica da madeira e significativo estoque de carbono por hectare, sendo possível estimar ambos por meio de métodos não destrutivos com precisão técnica adequada para a tomada de decisão em sistemas produtivos sustentáveis.

Diante deste contexto, o presente trabalho teve como objetivos simular a rentabilidade da madeira e estoque de carbono através do crescimento e da produção de

quatro espécies madeiráveis: teca (*Tectona grandis* L.), acácia (*Acacia mangium*), nim (*Azadirachta indica*) e mogno africano (*Khaya spp.*) quando cultivados em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, por meio de métodos não destrutivos.

2. Material e métodos

O presente estudo foi conduzido na Fazenda Experimental Orestes Prata Tibery Júnior, localizada no município de Uberaba – MG, situada a 19° 47' 68" latitude sul e 47° 58' 50" de longitude oeste, altitude de 788 m. Clima tropical semiúmido, temperatura média de 34,1 °C, precipitação média de 1430 mm e umidade relativa do ar de 67%, em uma área manejada sob o sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). A área experimental foi composta por quatro espécies madeiráveis — *Tectona grandis* (teca), *Acacia mangium* (acácia), *Azadirachta indica* (nim) e *Khaya senegalensis* (mogno africano), implantadas em linhas simples com espaçamento de 1,0 m entre plantas na linha e 35,0 m entre renques, resultando em uma densidade de 286 árvores por hectare.

A simulação da produção e do sequestro de carbono foi realizada considerando um ciclo de crescimento de 10 anos, com base em dados biométricos obtidos por meio de métodos não destrutivos. As variáveis dendrométricas, diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total, foram mensuradas utilizando trena florestal e hipsômetro eletrônico. O volume dos indivíduos amostrados no estrato arbóreo (DAP \geq 10 cm) foi estimado a partir da equação volumétrica adaptada de Schumacher e Hall, desenvolvida por Rolim et al. (2006).

Posteriormente, os volumes individuais e a biomassa acima do solo foram estimados com base em equações alométricas validadas na literatura científica para cada espécie, possibilitando a conversão dos dados em volume de madeira comercial e estimativas de carbono estocado.

O método adotado permitiu o monitoramento eficiente do crescimento e da produtividade florestal sem a necessidade de abate das árvores, sendo compatível com os princípios de sustentabilidade e multifuncionalidade que regem os sistemas integrados.



Figura 1. Localização da Fazenda Orestes Prata Tibery Jr. em Uberaba, Brasil

Fonte: OPENAI (2025)

Para estimar a rentabilidade da produção madeireira em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), foram considerados os preços médios de mercado da madeira em tora (valores atualizados para 2025).

A estimativa do estoque de carbono se baseou no pressuposto de que 50% da biomassa seca corresponde ao conteúdo de carbono (fator $C = 0,5$), conforme recomendação do IPCC (2006). Para conversão de carbono (C) para dióxido de carbono equivalente ($CO_2\text{-eq}$), utilizou-se o fator de conversão $1\text{ t C} = 3,67\text{ t }CO_2$, adotado amplamente em metodologias de quantificação de sequestro de carbono.

A valoração dos créditos de carbono seguiu o preço médio de mercado voluntário vigente, de US\$ 12 por tonelada de CO_2 , sendo considerada a totalidade do estoque de CO_2 acumulado ao final de 10 anos de crescimento. Este valor permite a estimativa do potencial de receita ambiental gerado pela mitigação de emissões.

Para análise financeira dos fluxos de caixa, foi considerada uma taxa de desconto real de 6% ao ano, refletindo o custo de oportunidade do capital e os riscos associados à atividade florestal em ambiente agropecuário. Foram utilizados os indicadores econômicos tradicionais: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Retorno do Investimento (Payback), os quais permitem avaliar a atratividade do sistema sob diferentes combinações de espécies.

Fórmulas Utilizadas

- Volume Total de Madeira (Vt):

$$V_t = N \times v$$

Em que:

N = número de árvores/ha

v = volume médio por árvore (m³)

- Receita Bruta com Madeira (RB):

$$RB = V_t \times P_m$$

Em que:

P_m = preço da madeira em tora (US\$/m³)

- Estoque de Carbono (EC):

$$EC = B_t \times 0,5$$

onde:

B_t = biomassa total (t/ha)

- Conversão de Carbono para CO₂:

$$CO_2 = EC \times 3,67$$

- Receita com Créditos de Carbono (RCC):

$$RCC = CO_2 \times PCO_2$$

onde:

PCO₂ = preço do crédito de carbono (R\$/t CO₂)

- Valor Presente Líquido (VPL):

$$VPL = \frac{\sum [(R_t - C_t)]}{(1 + i)^t} - I_0$$

Em que:

R_t = receita no tempo t

C_t = custo no tempo t

i = taxa de desconto (6%)

I₀ = investimento inicial

- Taxa Interna de Retorno (TIR):

TIR é a taxa i que anula o VPL: $VPL = 0$

- Payback:

$$\text{Payback} = \text{ano anterior à recuperação} + \frac{\text{Investimento a recuperar no início do ano}}{\text{Fluxo de Caixa Líquido do ano}}$$

Tabela1- Equações alométricas para estimativa de volume (m^3) e biomassa (kg) das espécies madeiráveis *Tectona grandis* (teca), *Acacia mangium* (acácia), *Azadirachta indica* (nim) e *Khaya senegalensis* (mogno africano) em sistemas silvipastoris

| Espécie | Volume (m^3) | Biomassa (kg) |
|----------------|--|----------------------------------|
| Teca | $0,00005 \times \text{DAP}^2 \times \text{H}$ | $0,11 \times \text{DAP}^{2,62}$ |
| Acácia mangium | $0,000048 \times \text{DAP}^2 \times \text{H}$ | $0,112 \times \text{DAP}^{2,62}$ |
| Nim | $0,000046 \times \text{DAP}^2 \times \text{H}$ | $0,13 \times \text{DAP}^{2,53}$ |
| Mogno africano | $0,000047 \times \text{DAP}^2 \times \text{H}$ | $0,12 \times \text{DAP}^{2,60}$ |

Fonte: Adaptado de Higuichi et al.,1998.

Valores de Mercado e Conversões

Preço madeira em tora:

Teca: US\$ 350/ m^3

Acácia: US\$ 120/ m^3

Nim: US\$ 150/ m^3

Mogno Africano: US\$ 500/ m^3

Fator de carbono: 0,5

1 t de C = 3,67 t CO_2

Crédito de carbono: US\$ 12/t CO_2

Taxa de desconto: 6% ao ano

Tabela 2 – Valores de mercado e coeficientes de conversão de toras de *Tectona grandis* (teca), *Acácia mangium* (acácia), *Azadirachta indica* (nim) e *Khaya ivorensis* (mogno africano), considerando custos com mudas, implantação, tratos culturais e estimativas totais por hectare

| Item | Teca | Acácia | Nim | Mogno |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|---------|
| Mudas (US\$/unidade) | 171,6 | 114,4 | 143 | 228,8 |
| Plantio (preparo + coveamento) | 400 | 360 | 400 | 500 |
| Tratos culturais (10 anos) | 1.200 | 1.100 | 1.160 | 1.440 |
| Total estimado | 1771,6 | 1.564 | 1.703 | 2.168,8 |

3. Resultados

3.1 Valores médios de produção de madeira em uma década

A produção de madeira com casca, destinada a madeira para serraria, madeira serrada é expressa em metros cúbicos (m³). A quantidade correspondente de dióxido de carbono (CO₂) removida da atmosfera, é apresentada na Tabela 3, em toneladas de dióxido de carbono equivalente (toneladas de CO₂ eq), representando o sequestro de carbono realizado pelas espécies florestais analisadas.

A espécie *Acácia mangium* apresentou média de produção de madeira com casca de 158,5 m³/ha, dos quais 105,4 m³/ha, foram destinados, à produção de madeira para serraria e 52,7 m³/ha, a produção de madeira serrada. O sequestro de carbono estimado foi de 39,7 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂ eq./ha). Em seguida, destacou-se a espécie *Khaya ivorensis*, com produção de 128 m³/ha de madeira com casca, sendo 81,8 m³/ha utilizados para serraria e 40,9 m³/ha para madeira serrada, resultando em 30,8 tCO₂/ha em sequestro de carbono.

Tabela 3 – Produção de madeira com casca, madeira para serraria, madeira serrada e o sequestro de carbono por quatro espécies madeiráveis teca (*Tectona grandis*), nim (*Azadirachta indica*), mogno africano (*Khaya ivorensis*) e acácia (*Acácia mangium*) utilizados no projeto Carne Carbono Neutro por hectare no período de dez anos

| Espécie | Madeira com casca (m ³) | Madeira para serraria (m ³) | Madeira serrada (m ³) | Carbono Sequestrado (toneladas de CO ₂ eq) |
|----------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| Total por ha - em 10 anos | | | | |
| Teca | 37,0 | 10,9 | 5,4 | 4,1 |
| Nim | 43,6 | 19,0 | 9,5 | 7,1 |
| Mogno | 128,0 | 81,8 | 40,9 | 30,8 |
| Acácia | 158,5 | 105,4 | 52,7 | 39,7 |

Na sequência a espécie *Azadirachta indica* com produção de 43,6 m³/ha de madeira com casca, sendo 19,0 m³/ha utilizados para serraria e 9,5 m³/ha para madeira serrada, resultando em 7,1 tCO₂/ha em sequestro de carbono. A espécie *Tectona grandis* apresentou produção de 37 m³/ha de madeira com casca, sendo 10,9 m³/ha utilizados para serraria e 5,4 m³/ha para madeira serrada, resultando em 4,1 tCO₂/ha em sequestro de carbono.

3.2 Valores médios de produção de madeira anual

A tabela 4 representa os valores médios de produção de madeira com casca, madeira para serraria, madeira serrada e o sequestro de carbono por quatro espécies madeiráveis, o desempenho anual e individual das espécies teca (*Tectona grandis*), nim (*Azadirachta indica*), mogno africano (*Khaya ivorensis*) e acácia (*Acacia mangium*) no contexto Carne Carbono Neutro (sistemas integrados-ILPF). Esta análise por árvore, permite visão precisa da eficiência biológica e do retorno ambiental de cada indivíduo no período de um ano.

A Acácia e o Mogno africano apresentam os maiores índices de produtividade e sequestro de carbono por árvore por ano, o que resulta em alta taxa de conversão em madeira aproveitável e carbono (Tabela 4

Tabela 4 – Produção de madeira com casca, madeira para serraria, madeira serrada e o sequestro de carbono por quatro espécies madeiráveis teca (*Tectona grandis*), nim (*Azadirachta indica*), mogno africano (*Khaya ivorensis*) e acácia (*Acacia mangium*) utilizados no projeto Carne Carbono Neutro por árvore ano

| Espécie | Madeira com casca (m ³) | Madeira para serraria (m ³) | Madeira serrada (m ³) | Carbono Sequestrado (toneladas de CO ₂ eq) |
|-----------------------------|--|--|--------------------------------------|--|
| Por árvore e por ano | | | | |
| Teca | 0,012937063 | 0,003811189 | 0,001888112 | 0,001433566 |
| Nim | 0,015244755 | 0,006643357 | 0,003321678 | 0,002482517 |
| Mogno | 0,044755245 | 0,028601399 | 0,014300699 | 0,010769231 |
| Acácia | 0,05541958 | 0,036853147 | 0,018426573 | 0,013881119 |

A tabela 5 mostra dados médios de DAP (diâmetro à altura do peito), altura total, volume e biomassa seca por árvore ao longo de 10 anos, das espécies florestais *Tectona grandis*, *Acácia mangium*, *Azadirachta indica* e *Khaya ivorensis* (Mogno Africano).

A *Khaya ivorensis* (mogno africano) lidera em todos os atributos: DAP (26,68 cm), altura (13 m), volume (0,447 m³), e biomassa (58,74 kg/árvore), confirmando seu alto desempenho silvicultural.

Tabela 5- Simulação do crescimento médio ao longo de um período decenal das espécies florestais *Tectona grandis* (teca) *Acácia mangium* (acácia) *Azadirachta indica* (nim) e *Khaya ivorensis* (mogno africano)

| Espécie | DAP (cm) | Altura (m) | Volume/árvore (m ³) | Biomassa/árvore (kg) |
|-------------------|-------------|---------------|------------------------------------|-------------------------|
| Teca | 17,64 | 8,82 | 0,129 | 7,83 |
| Acácia mangium | 28,65 | 14,32 | 0,554 | 75,71 |
| Nim | 18,63 | 9,31 | 0,152 | 13,54 |
| Mogno africano | 26,68 | 13,34 | 0,447 | 58,74 |

A *Tectona grandis* apresenta excelente crescimento em DAP (17,64 cm) e altura (8,82 m), volume (0,129 m³), e biomassa (7,83 kg), sendo uma espécie com grande potencial de valor agregado. Já espécies *Azadirachta indica* e *Acácia mangium* exibem respectivamente os seguintes valores, em DAP (18,63 cm e 28,65 cm) e altura (9,315 m e 14,32), volume (0,152 m³ e 0,554 m³), e biomassa (13,54 kg e 75,71 kg).

A tabela 6 apresenta os dados estimados de produção florestal por hectare para 286 indivíduos de quatro espécies madeireiras cultivadas em sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta: *Tectona grandis* (teca), *Azadirachta indica* (nim), *Khaya senegalensis* (mogno africano) e *Acácia mangium* (acácia). Foram avaliados o volume total (m³/ha), a biomassa seca(kg/há), o estoque de carbono (t/há) e o carbono equivalente em dióxido de carbono (tCO₂/ha).

Tabela 6 - Produção por hectare de 286 indivíduos das espécies *Tectona grandis*, *Azadirachta indica*, *Khaya spp.* e *Acácia mangium*, com estimativas de Volume (m³), Biomassa seca (kg/ha), carbono estocado (t/ha) e equivalente em dióxido de carbono (t/ha)

| Espécie | Volume Total (m ³) | Biomassa (kg/ha) | C (t/ha) | CO ₂ (t/ha) |
|----------------|-----------------------------------|---------------------|----------|------------------------|
| Teca | 37,0 | 2.240 | 1,12 | 4,1104 |
| Acácia mangium | 158,5 | 21.654,54 | 10,83 | 39,7461 |
| Nim | 43,6 | 3.872,73 | 1,94 | 7,1198 |
| Mogno Africano | 128,0 | 16.800 | 8,4 | 30,8280 |

3.4 Simulação de receita e indicadores econômicos proveniente da comercialização da madeira e do crédito de carbono

A tabela 7 apresenta a simulação econômica da comercialização da madeira e do crédito de carbono das espécies analisadas. O Mogno africano destacou-se com a maior receita total (US\$ 31.392/ha), seguida pela Teca (US\$ 4.163/ha).

Os custos de implantação e manutenção do sistema apresentam pequena variação entre as espécies. Contudo, os lucros líquidos refletem a superioridade econômica do Mogno africano (US\$26.490,04/ha) e da teca (US\$108.856/ha), reforçando sua viabilidade econômica quando integrados ao ILPF. O nim e a acácia, com lucros líquidos entre US\$36.614,6 e US\$ 4.968,8/ha, demonstram que, apesar de serem menos valorizados comercialmente, ainda apresentam retorno positivo sobre o investimento.

Os dados apresentados evidenciam que a adoção de espécies florestais de alto valor agregado e elevado sequestro de carbono pode promover sinergias positivas entre sustentabilidade ambiental e rentabilidade econômica. Neste contexto, a integração do componente florestal em sistemas ILPF representa uma estratégia eficaz para restaurar áreas degradadas, gerar renda e mitigar as emissões de gases de efeito estufa.

Por se tratar de madeira nobre, com comércio global estabelecido há séculos, e por serem espécies classificadas, segundo “The IUCN Red List of Threatened Species”, como vulneráveis à extinção em seus locais de origem, a viabilidade dos plantios do gênero *Khaya* em países tropicais, para atender o mercado consumidor, é alta e de extrema importância para conservação de árvores nativas.

Tabela 7- Simulação de receita proveniente da comercialização da madeira e do crédito de carbono, custos e Lucro Líquido das espécies madeiráveis *Tectona grandis* (teca), *Azadirachta indica* (nim), *Khaya senegalensis* (mogno africano) e *Acácia mangium* (acácia)

| Espécie | Madeira (US\$) | Carbono (US\$) | Receita Total (US\$) | Custo (US\$) | Lucro Líquido (US\$) |
|----------------|----------------|----------------|----------------------|--------------|----------------------|
| Teca | 12,950.00 | 399.6 | 13,349.6 | 1,771.6 | 11,578.00 |
| Acácia mangium | 19,020.00 | 1,712.40 | 20,732.4 | 1,564.00 | 19,168.00 |
| Nim | 6,540.00 | 470.9 | 7,010.9 | 1,703.00 | 5,308.00 |
| Mogno Africano | 64,000.00 | 1,382.4 | 65,382.4 | 2,168.00 | 63,214.00 |

Tabela 8 - Simulação de indicadores econômicos das espécies *Tectona grandis* (teca), *Azadirachta indica* (nim), *Khaya senegalensis* (mogno africano) e *Acácia mangium* (acácia) com estimativas do Valor Presente Líquido (VPL) em 10 anos, Taxa Interna de Retorno (TIR) (%) e Período de Retorno do Investimento (Payback).

| Espécie | VPL (10 anos) | TIR (%) a.a. | Payback |
|----------------|----------------|--------------|---------|
| Teca | US\$ 3,378.00 | 22,2 | 10 anos |
| Acácia mangium | US\$ 6,429.00 | 28,3 | 10 anos |
| Nim | US\$ 1,000.00 | 14,8 | 10 anos |
| Mogno Africano | US\$ 23,026.00 | 41,4 | 10 anos |

A análise econômica das espécies florestais integradas a sistemas de Integração lavoura pecuária -Floresta (ILPF) é um componente essencial para avaliação da viabilidade dos arranjos produtivos sustentáveis.

Para estimar a rentabilidade da produção madeireira em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), foram considerados os preços médios de mercado da madeira em tora (valores atualizados para 2025), conforme segue: teca a US\$ 350/m³; acácia a US\$ 120/m³; nim) a US\$ 150/m³; e mogno africano a US\$ 500/m³. Estes valores refletem a variação esperada entre espécies de maior valor agregado (como o mogno africano) e espécies de uso múltiplo e rápido crescimento (como acácia e nim), considerando madeira de primeira rotação em sistemas silvipastoris.

A tabla 8 apresenta os resultados simulados de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback (tempo de retorno do investimento) para quatro espécies: teca (*Tectona grandis*), acácia (*Acácia mangium*), nim (*Azadirachta indica*) e Mogno africano (*Khaya spp.*), considerando um horizonte de 10 anos.

O Mogno Africano apresentou a maior rentabilidade e melhor desempenho técnico-econômico, com destaque para o valor de mercado da madeira. Desta forma, o Mogno africano destacou-se como a alternativa mais economicamente atrativa, apresentou VPL de US\$ 23.026 TIR de 41,4% e Payback de 10 anos.

A teca também se mostra altamente lucrativa, com menor risco de mercado por maior liquidez. A teca também apresentou desempenho significativo, com VPL de US\$ 3.378 TIR de 22,2% e retorno do investimento estimado em 10 anos. Embora inferior ao mogno africano, a teca possui mercado consolidado para a exportação, especialmente na Ásia, devido á sua durabilidade e resistência natural (Souza et al., 2019), a rentabilidade da teca pode ser ainda maior quando manejada em ciclos mais longos ou com sortimentos destinados a madeira serrada de alta qualidade.

O Nim, apesar de menos valorizado, destaca-se como alternativa resiliente em ambientes adversos, com VPL de US\$ 1.000 e TIR de 14,8%, apresentou desempenho intermediário.

Por fim, a acácia, com menor valor de madeira, pode ser recomendada para sistemas mistos com maior foco no solo e biomassa, seu uso pode ser justificado em arranjos agroecológicos ou quando se busca a restauração ambiental de áreas degradadas, com VPL de US\$ 6.429, TIR de 28,3% e Payback de 10 anos.

Os métodos não destrutivos se mostram eficazes e recomendáveis para uso em propriedades rurais com apoio técnico, reduzindo custos com inventário florestal.

4. Discussão

Os resultados demonstraram que o mogno africano obteve o segundo maior volume (128 m³/ha) e o estoque de carbono (30,83 tCO₂/ha). Esses dados estão em conformidade com estudos anteriores que apontam o elevado potencial de crescimento e densidade da madeira do mogno africano, tornando-o uma das espécies mais promissoras tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental (ITTO, 2023).

A *Azadirachta indica* e a *Tectona grandis* apresentam resultados mais modestos em relação ao volume de madeira e ao carbono estocado, sendo a Acácia a espécie com maior produção em todos os parâmetros. Ainda assim, estas espécies são recomendadas para uso em sistemas integrados e recuperação ambiental, especialmente devido à sua rusticidade e a capacidade de adaptação a solos de baixa fertilidade (Souza et al., 2020).

Conforme Moraes et al. (2025) ao estimar o estoque volumétrico, acúmulo de biomassa e carbono na Floresta Nacional de Carajás, relataram que a maior quantidade de volume estimado para povoamento, em comparação com os demais trabalhos pode ser atribuída as possíveis variações fitofisionômicas e características específicas de cada área avaliada. Segundo os autores, essas diferenças estruturais e ambientais exercem influência direta sobre os resultados de estimativas volumétricas.

Nesse contexto, Watzlawich (2023) destaca que a diversidade das florestas tropicais resulta na presença de múltiplos estágios sucessionais, distintas distribuições diamétricas e ampla variação na composição de espécies, fatores que influenciam diretamente a quantidade de volume de madeira presente nos ecossistemas florestais. Ademais, a capacidade das árvores em acumular e armazenar em sua biomassa grandes quantidades de carbono desempenha relevante papel no atual cenário de discussões sobre mudanças climáticas.

Os valores observados corroboram com os dados apresentados na tabela 7 e refletem a valorização das madeiras nobres no mercado nacional e internacional, com destaque para o mogno, cujos preços variam entre US\$ 800 e US\$ 1.200/m³ (Itto, 2023).

Os créditos de carbono contribuíram com um acréscimo considerável na receita das espécies com maior estoque de biomassa. Na simulação realizada o mogno africano gerou US\$ 1.382,4/ha em créditos, enquanto a *Acacia mangum* obteve US\$1.712,4/ha. Esses valores estão em consonância com a média observada no mercado voluntário de carbono, que varia entre US\$5 a US\$ 15 por tonelada de CO₂ equivalente (Hamrick & Gallant, 2022).

Corroborando com esses resultados, o relatório quinzenal de maio de 2015 da Internacional Tropical Timber Organization (ITTO, 2015), documentou que o mercado de mogno africano já movimentava R\$ 500 milhões por ano, no Brasil, evidenciando a relevância econômica dessa espécie no setor florestal.

A tabela 8 demonstra resultados que corroboram estudos prévios ao identificarem elevado valor comercial e rápido crescimento dessa espécie, além de ampla aceitação no mercado de madeiras nobres (Bahia et al., 2020; Lima et al., 2023).

Ribeiro et al. (2018) apontaram a viabilidade financeira na condução de um plantio de mogno-africano sob diferentes perspectivas de manejo florestal, mostrando que a probabilidade de insucesso do investimento é praticamente nula. Os autores destacaram que o mogno-africano constitui uma alternativa atrativa para o investimento florestal, desde que o sistema seja bem planejado e conduzido, apresentando taxa interna de retorno (TIR) variando entre 14,00% e 25,00% ao ano.

Em comparação, os resultados obtidos na presente pesquisa indicam uma TIR significativamente superior de 41,4% ao ano, reforçando o elevado potencial econômico do mogno africano quando associado a estratégias de manejo e condições produtivas mais eficientes.

O Nim, apesar de ser uma espécie menos valorizada do ponto de vista madeireiro, possui benefícios ambientais, sombreamento, propriedades repelentes e uso farmacêutico, além da sua rusticidade e adaptabilidade, tornam o Nim interessante em sistemas integrados e agroflorestais (Azevedo et al., 2021; Dias et al., 2020).

Barros et al. (2022) apresentaram resultados referente a Acácia, onde podem ser atribuídos à sua menor valorização comercial, ainda que sua função como fixadora de nitrogênio e promotora de sombreamento de pastagens em sistemas ILPF contribua indiretamente para o desempenho de pastagens e cultivos.

Os resultados de viabilidade econômica observados neste estudo diferem daqueles reportados por Faria et al. (2015), que analisaram a viabilidade econômica de um sistema agrossilvipastoril constituído por eucalipto, milho, capim braquiária e o componente animal, no qual foi encontrado VPL de R\$ 3.222,25 ha/ano e TIR de 14,03%. Em contraste, o sistema silvipastoril avaliado na presente pesquisa, constituído por teca, acácia, nim e mogno africano, capim *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás e o componente animal apresentou valores de TIR variando entre 14,8% e 41,4%, evidenciando desempenho econômico superior e maior atratividade financeira do sistema analisado.

Além do desempenho econômico, a literatura também destaca a importância da avaliação ambiental desses sistemas, CASTRO-Neto et al. (2017) ao estudarem Balanço de carbono – Viabilidade econômica de dois sistemas agroflorestais em Viçosa – MG, observaram para o sistema silvipastoril, o cultivo do eucalipto foi responsável pela emissão total de 0,168 tCO₂ ha, correspondente à 2,905% do total. Para a bovinocultura, obteve-se uma emissão total de 3,494 tCO₂ ha, correspondente à 60,393% do total.

De forma comparativa, a presente pesquisa registrou emissões variando entre 4,1104 e 39,7461 tCO₂ há, evidenciando a necessidade de análises integradas que considerem simultaneamente os aspectos econômicos e ambientais dos sistemas silvipastoris.

5. Conclusão

Este estudo simulado demonstra o potencial econômico e ambiental da ILPF com espécies madeiráveis. A combinação entre alta produtividade, sequestro de carbono e retorno financeiro contribui para sistemas agroflorestais resilientes e viáveis. A escolha da espécie deve considerar o objetivo do produtor, o tipo de solo e o risco de mercado.

Contudo, ações de pesquisa científica são fundamentais para verificar o potencial econômico das espécies madeiráveis estudadas nos sistemas de integração em diferentes arranjos e variadas condições ambientais.

Além disso, o uso de crédito de carbono como fonte adicional de receita, pode incentivar produtores rurais a adotarem práticas de uso sustentável da terra, contribuindo para o cumprimento das metas do Brasil no acordo de Paris. Políticas públicas que valorizem sistemas agroflorestais e a inserção desses produtores no mercado de carbono voluntário e regulado são fundamentais para o sucesso desses modelos produtivos.

O mogno africano, por sua vez, se destaca tanto em rentabilidade quanto em retorno acelerado, sendo indicado como a espécie com melhor desempenho econômico para sistema ILPF voltados à produção de madeira.

Referências

ABADIAS, M. I., FONSECA, P. R. B., & BARBOS, C. H. (2020). Manejo Da Pecuária: Uma Análise Sobre Impactos Ambientais. *Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente*, Humaitá, 13, 113–125.

ALMEIDA, E. M. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L. f.) em diferentes idades. 2005. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

Almeida, R. G., & Alves, F. V. (2020). *Diretrizes técnicas para produção de carne com baixa emissão de carbono certificada em pastagens tropicais: Carne Baixo Carbono (CBC)*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte. Retrieved in 2024, July 23, from <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1120985/diretrizes-tecnicas-para-producao-de-carne-com-baixa-emissao-de-carbono-certificada-em-pastagens-tropicais-carne-baixo-carbono-cbc>

ALMEIDA, R. G.; BARBOSA, R. A.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração. In: BUNGENSTAB, D. J. (Ed.). *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 87-94.

ALMEIDA, E. M.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; FINGER, Z. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L. f.) em diferentes idades. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n.4, p. 559-568, 2010.

Alves, F. V., Almeida, R. G., & Laura, V. A. (2015). *Carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos*. Brasília: Embrapa Gado de Corte. Retrieved in 2024, July 23, from <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1056155>
» <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1056155>

ALVES, R. M.; CHAVES, S. F. da. S.; GAMA, M. A. P.; PEDROZA NETO, J. L.; SANTOS, T. G. dos. Seleção simultânea de genótipos de cupuaçuzeiro e mogno brasileiro, em um sistema Agroflorestal no Pará, Brasil. *Acta amazônica*, Manaus, v. 50, n. 3, p. 183-191, setembro de 2020.

Alves, F. V., Laura, V. A., & de Almeida, R. G. (2015). *Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável*. Embrapa Gado de Corte-Livro técnico (INFOTECA-E).
ALVES, F. V. ALMEIDA, R. G. de LAURA, V. A. *Carne Carbono Neutro – um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos*. Campo Grande, MS : Embrapa Gado de Corte, 2015.

ANDRADE, W. F. Indução do rejuvenescimento de Teca (*Tectona grandis*) através de enxertia seriada e micropropagação. 2010. 76f. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

ANDRADE, V. C. L. Um método para descrever o perfil do tronco em árvores de eucalipto utilizando geometria analítica. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, 2001.

BISCOLA, P. H. N; MALAFAIA, G.C. Anuário Cicarne da cadeia produtiva da carne bovina: 2024 - 2025. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2025.
Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1174114>.

BONALDO, S. M. et al. Relato oficial da ocorrência de *Olivea tectonea* em teca (*Tectona grandis*) no Brasil. *Summa Phytopathologica*, v. 37, n. 3, p. 153-153, 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Árvores. Relatório 2019. Brasília: IBÁ, ed. 6, p. 77, 2019.

BRASIL. Instituto de Pesquisas e Estudos de Florestas. *Tectona grandis* Linn. f. (Teca), 2003.

BROOM, D. M. (2017). Components of sustainable animal production and the use of silvopastoral systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(8), 683–688. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000800009>.

CASTRO NETO F DE, JACOVINE LAG, TORRES CMME, OLIVEIRA NETO SN DE, CASTRO MM DE, VILLANOVA PH, ET AL. Balanço de Carbono – Viabilidade Econômica de Dois Sistemas Agroflorestais em Viçosa, MG. *Floresta Ambient* [Internet]. 2017;24:e00092114. Available from: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.092114>

CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. 1949. **Forest mensuration** McGraw-Hill, New York. 522p.

DENIZ, M., SCHMITT FILHO, A. L., HÖTZEL, M. J., DE SOUSA, K. T., PINHEIRO MACHADO FILHO, L. C., & SINISGALLI, P. A. (2020). Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 1–11. DOI: [10.1007/s00484-020-01975-0](https://doi.org/10.1007/s00484-020-01975-0).

DENIZ, M., SCHMITT FILHO, A.L., HOETZEL, M.J., FARLEY, J. QUADROS, S.F. (2018). High Biodiversity High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. *International Journal of Biometeorology*,. DOI: [10.1007/s00484-018-1638-8](https://doi.org/10.1007/s00484-018-1638-8).

EMBRAPA. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: estratégia para intensificação sustentável da agropecuária brasileira. Brasília: Embrapa, 2020.

FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Teca: Los bosques naturales disminuyen, mientras que los plantados aumentan. Roma, 2012.

FARIA CMA, SILVA ML, FERREIRA LR, NETO SNO, SALLES TT. Análise econômica de sistemas de recuperação e manutenção de pastagens com gado de leite. *Revista Reflexões*. 2015; 1: 85-103.

FIGUEIREDO, E. O; OLIVEIRA, L. K; BARBOSA, L. K. F. Teca (*Tectona grandis* L.f.): principais perguntas do futuro empreendedor florestal. EMBRAPA – Embrapa Acre, Rio Branco, n. 97, p. 87, 2005.

Furtado, R. C., Abreu, L. S. de, & Furtado, A. T. (2019). Sistemas agroflorestais. Cadernos de Ciência & Tecnologia, 35(3), 427–451. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.CCT2018.V35.26319>.

GIRISH, K.; BHAT, S. S. Neem - A green treasure. Electronic Journal of Biology, v.4, p.102-111, 2008.

HIGA, R. C. V.; ZANATTA, J. A.; RACHWAL, M. F. G. Plantações florestais comerciais e a mitigação na mudança do clima. In: OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. (ed.). Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. Brasília, DF: Embrapa Florestas, p. 69-112, 2017.

HIGUCHI N, dos SANTOS J, RIBEIRO RJ, MINETTE L, BIOT Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da Floresta Tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. Acta Amaz [Internet]. 1998Jun;28(2):153–. Available from: <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282166>

HUNTSINGER, L., SULAK, A., GWIN, L., & PLIENINGER, T. (2004). Oak Woodland Ranchers in California and Spain. In Sustainability and Management 309–326.

JOSEPH, L., SCHMITT FILHO, A. L., SINISGALLI, P. A., FARLEY, J., ZAMBIAZI, D. C. (2019) Sistemas silvipastoris e serviços ecossistêmicos: a visão dos produtores de leite da capital da agroecologia no Sul do Brasil. Revista de Ciências Agrárias, 42 (3): 829-841. <https://doi.org/10.19084/rca.17116>

IUCN. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. The IUCN Red List of Threatened Species 2020. Cambridge, 2020. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/32123/126992854>. Acesso em: 16 set. 2025.

KAOSA-ARD, A. Overview of problems in teak plantation establishment. REGIONAL SEMINAR ON TEAK. Bangkok: FAO, p. 49–59, 1998.

LEMOS, A. L. F.; VITAL, M. H. F.; PINTO, M. A. C. As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 32, p. 153-192, 2010.

LEWIS, G.; SCHRINE, B.; MACKINDER, B. & LOCK, M. Legumes of the world. Royal Botanic Gardens, Kew, 577p, 2005.

LIMA, L.D.O., ONGARATTO, F., DALLANTONIA, E.E., LEITE, R.G., ARGENTINI, G.P., FERNANDES, M.H.M.H.D.R., REIS, R.A., VYAS, D., MALHEIROS, E.B., 2023. N-fertilization of tropical pastures improves performance but not methane emission of Nellore growing bulls. J Anim Sci 101. <https://doi.org/10.1093/jas/skac362>

MAITHANI, A.; PARCHA, V.; PANT, G.; DHULIA, I.; KUMAR, D. *Azadirachta indica* (neem) leaf: A review. Journal of Pharmacy Research, v.4, p.1824-1827, 2011.

MISSOURI BOTANICAL GARDEN. *Tectona grandis* L.f. 2013 Disponível em: <http://www.tropicos.org/name/33700544>. Acesso em: 17 nov. 2024.

MORAES, A. P. P.; KOHLER, S. V.; VIEIRA, T. S.; LACERDA, F. C. B.; GOULART, S. L.; OLIVEIRA, X. M. Estimativa do estoque volumétrico e acúmulo de biomassa e carbono em uma floresta ombrófila densa na Floresta Nacional de Carajás. Ver.

Biodiversidade Brasileira, 15(1): 13-24, 2025.
<https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v15i1.2655>.

OLIVEIRA, F. L. R. de ., Cabacinha, C. D., Santos, L. D. T., Barroso, D. G., Santos Júnior, A. dos, Brant, M. C., & Sampaio, R. A. (2015). CRESCIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO E ACÁCIA, EM DIFERENTES ARRANJOS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA. *CERNE*, 21(2), 227–233.
<https://doi.org/10.1590/01047760201521021489>.

OLIVEIRA, M. L. R. et al. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. *Revista Árvore*, v.33, n.1, p.133-141, 2009.

OPENAI. ChatGPT (Mapa de localização ABCZ). Disponível em: chat.openai.com. Acesso em 14 jan. 2026.

PACIULLO, D. S. C., PIRES, M. F. A., AROEIRA, L. J. M., MORENZ, M. J. F., MAURÍCIO, R. M., GOMIDE, C. A. M., & SILVEIRA, S. R. (2014). Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, 8(8), 1264–1271. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000767>.

PANDEY, D.; BROWN, C. La teak: una visión global. *Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales, Roma*, v. 51, n. 201, p. 3-13, 2000.

RIBEIRO, A., FERRAZ A. C. F. O, SCOLFORO JRS. O Cultivo do Mogno Africano (*Khaya spp.*) e o Crescimento da Atividade no Brasil. *Floresta e Ambiente* 2017. 24: e00076814 <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.076814> ISSN 2179-8087 (online).

RIBEIRO, A.; SILVA, C.S.J.; FERRAZ FILHO, A.C.; SCOLFORO, J.R.S. Financial and risk analysis of African Mahogany plantations in Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, v.42, n.2, p.148-158, 2018. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018422026717>.

RODRIGUES, A. P. D. C. et al. Tratamentos para superar a dormência de sementes de *Acacia mangium* Willd. *Revista Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, n. 2, p. 279-283, 2008.

Rolim SG, Do Couto HTZ, De Jesus RM, França JT. Modelos volumétricos para a floresta nacional do Tapirapé-aquirí, Serra dos Carajás (PA). *Acta Amazonica*. [Internet]. 2006 [Acesso em 20 nov. de 2025]; 36: 107-114. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/NKzvYnwyVTDsFmw9wRRgb5K/?format=pdf&lang=pt>

ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P.; SOUZA, C. R. *Acacia mangium*. Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 28. Manaus, 29p. 2003.

SCHMITT FILHO, A. L., & FARLEY, J. (2020). Transdisciplinary case study approaches to the ecological restoration of rainforest ecosystems. In *Ecological Economic and Socio Ecological Strategies for Forest Conservation: A Transdisciplinary Approach Focused on Chile and Brazil* (p. 185–212). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35379-7_10.

SILVA, R. A. da; CRESTE, J. E.; MEDRADO, M. J. S.; RIGOLIN, I. M. Sistemas integrados de produção – o novo desafio para a agropecuária brasileira. *Colloquium Agrariae*, v. 10, n.1, p. 55-68, Jan-Jun. 2014.

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; GÖRGENS, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. *Revista árvore*, Viçosa, v. 29, n. 5, p.711-718, 2005.

PANKAJ, S.; LOKESHWAR, T.; MUKESH, B.; VISHNU, B.; Review on neem (*Azadirachta indica*): Thousand problems one solution. *International Research Journal of Pharmacy*, v.2, p.97-102, 2011.

VOLKOVA, L.; BI, H.; MURPHY, S.; WESTON, C.J. Empirical estimates of aboveground carbon in open eucalyptus forests of south-eastern Australia and its potential implication for national carbon accounting. *Forests*, v.6, n.1, p.3395- 3411, 2015. <https://doi.org/10.3390/f6103395>.

Watzlawick LF, Lisboa GS, França LCJ, Stepka TF, Longhi RV, Marangon GP, et al. Modeling of biomass and stored carbon in a seasonal semideciduous forest in Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. [Internet]. 2023. Acesso em 20 de nov. 2025; 95: 4. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/RTdfvsXgghVpZygy4JKqyVJ/#>.

Capítulo 2 - DESEMPENHO ECONÔMICO DA PECUÁRIA SUSTENTÁVEL CONTRIBUINDO PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Resumo

O presente estudo objetiva analisar os dados técnico-econômicos obtidos pela Associação Brasileira de Criadores de Zebu (ABCZ, nos programas Zebu Carne de Qualidade, Programa Carne Baixo Carbono e Programa Carne Carbono Neutro e grupos de cruzamentos. Foram avaliados os cruzamentos Tabanel, Guzonel, Sindinel e Bramanel, no período de maio/2022 a julho/2023. Foram calculadas as emissões de metano entérico IE (kg CH₄/kg GPV) e IE média (kg CH₄/ano) a partir da Equação empírica de emissão entérica de metano, desenvolvida pela Rede Pecus, Embrapa. Determinaram-se as médias de peso inicial no período da seca (PI1), ganho de peso diário no período da seca (GPD1), peso inicial no período das águas (PI2), ganho de peso diário no período das águas (GPD2), peso inicial no período de confinamento (PI3), ganho de peso diário no período de confinamento (GPD3), peso da carcaça quente (PCQ) e rendimento de carcaça (RC), por Programa, Carne de qualidade (PCQ), Carne Baixo Carbono (CBN) e Carne Carbono Neutro (CCN). O rendimento de carcaça quente (RCQ) foi utilizado para estimar o ganho em arrobas no confinamento, fundamental para medir a economicidade dos grupamentos no sistema de produção. Entre os grupos de cruzamentos, o Brahmanel possui o menor custo de produção por arroba (R\$ 257,40), ficando R\$ 1,90 abaixo da média geral.

Palavras-chave: Carne baixo carbono, emissão de carbono entérico. gestão sustentável, grupos de cruzamentos,

Economic Performance of Sustainable Livestock Farming Contributing to Mitigating Greenhouse Gas Emissions

Abstract

This study aims to analyze the technical-economic data obtained by the Brazilian Association of Zebu Breeders (ABCZ) in the Zebu Quality Meat Program, the Low Carbon Beef Program, and the Carbon Neutral Beef Program, as well as crossbreeding groups. The Tabanel, Guzonel, Sindinel, and Bramanel crossbreeds were evaluated from May 2022 to July 2023. Enteric methane emissions (IE) (kg CH₄/kg BWG) and average IE (kg CH₄/year) were calculated using the empirical equation for enteric methane emission developed by the Pecus Network, Embrapa. Average initial weight during the dry season (PI1), daily weight gain during the dry season (GPD1), initial weight during the rainy season (PI2), daily weight gain during the rainy season (GPD2), initial weight during the feedlot period (PI3), daily weight gain during the feedlot period (GPD3), hot carcass weight (PCQ), and yield were determined. Carcass yield (CR), by Program, Quality Meat (QM), Low Carbon Beef (LCM) and Carbon Neutral Beef (CNM). Hot carcass yield (HCY) was used to estimate the weight gain in arrobas in feedlots, fundamental for measuring the economic viability of the groups in the production system. Among the crossbreeding groups, Brahmanel has the lowest production cost per arroba (R\$ 257.40), being R\$ 1.90 below the overall average.

Keywords: Low carbon beef, enteric carbon emission, sustainable management, crossbreeding groups,

1. Introdução

Nas últimas décadas as alterações climáticas têm ganhado destaque significativo, em discussões frequentes, em pesquisas, na atenção de governos, organizações e da sociedade civil, tanto em nível nacional quanto mundial. Isso se deve aos impactos crescentes e evidentes no meio ambiente, como aumento das temperaturas e eventos climáticos extremos (como furacões, secas e inundações), que influenciam na perda de biodiversidade.

Visto tamanha importância, ao longo dos anos foram criados documentos e acordos para coordenar os esforços nacionais e internacionais, com intuito de redução da emissão do gás efeito estufa (GEE).

Entre 2010 e 2019, a média das emissões anuais no Brasil foram de 1,9 GtCO₂ (SEEG, 2019). Apesar de representarem apenas 5% das emissões globais, as emissões brasileiras também contribuem para o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e, como signatário do Acordo de Paris, no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança Climática, o país deve promover a redução de suas emissões (CACHOLA & PACCA, 2023).

A emissão dos gases de efeito estufa (GEEs) por ações antrópicas contribui para o aquecimento global e precisa ser estudada com afinco e de maneira minuciosa com o objetivo de minimizar seu impacto sobre o ambiente (MACEDO JÚNIOR & SILVA, 2018).

Devido a este fato nota-se a importância em efetuar pesquisas que forneçam subsídios na discussão sobre a gestão e mitigação para redução dos gases de efeito estufa (GEE), em sistemas integrados, utilizando o carbono como um indicativo eficiente no sistema sustentável de produção e analisar os dados financeiros, visto como fator importante para o desenvolvimento do agronegócio no país.

Este estudo partiu da seguinte hipótese de pesquisa: dentre os três protocolos ambientais analisados, Programa Zebu Carne de Qualidade (ZQC), Programa Carne Baixo Carbono (CBC) e Programa Carne Carbono Neutro (CCN), existe um sistema que apresenta desempenho técnico-econômico superior aos demais, quando considerados de forma integrada os indicadores produtivos, ambientais e financeiros. A pesquisa buscou identificar qual dos modelos proporciona maior eficiência na produção de carne bovina, associando sustentabilidade ambiental à viabilidade econômica do sistema produtivo.

Portanto, este trabalho tem por objetivo comparar, sob a perspectiva técnico-econômica, os diferentes sistemas de produção de carne bovina (Carne de Qualidade,

Carne Carbono Neutro e Carne Baixo Carbono) e grupos de cruzamentos (Brahmanel, Guzonel, Sindinel e Tabanel), conduzidos em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), com vistas a identificar aquele que apresenta maior viabilidade econômica associada ao melhor desempenho zootécnico e ambiental em condições tropicais.

2. Materiais e métodos

2.1 Caracterização do Local

Foi conduzido um trabalho de validação de um sistema de alta produtividade de carne de qualidade sustentável com animais zebuínos na Fazenda Experimental Orestes Prata Tibery Jr. em Uberaba, MG, localizada a 19° 47' 68" latitude sul e 47° 58' 50" de longitude oeste, altitude de 788 m. Clima tropical semi-úmido, temperatura média de 34,1 °C, precipitação média de 1430 mm e umidade relativa do ar de 67%. A fazenda é constituída de 20,3 ha de capim *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás, divididos em 8 piquetes de 2,53 ha, estabelecidos pelos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e sistema de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), com plantio de milho para silagem consorciado com capim Paiaguás. Esse processo é dinâmico dentro da fazenda e, conforme necessidade de renovação do pasto em determinado piquete, este é selecionado para ser cultivado com o consórcio.

2.2 Grupos de Cruzamentos e Período de avaliação

Durante a safra 22/23, foram avaliados os cruzamentos Tabanel (1/2 Tabapuã x 1/2 Nelore, 35 animais), Guzonel (1/2 Guzerá x 1/2 Nelore, 40 animais), Sindinel (1/2 Sindi x 1/2 Nelore, 32 animais) e Bramanel (1/2 Brahman x 1/2 Nelore 40 animais), no período de maio/2022 a julho/2023. Os animais apresentaram peso médio inicial de 223 ± 13 kg e os mesmos, foram submetidos ao período de adaptação por 28 dias. Durante o período de avaliação foi utilizada suplementação proteico-energética de 0,5% e de silagem de milho de 1% do peso corporal (PC) em matéria seca, disposta em cochos coletivos, uma vez ao dia, às 10h00, durante o período seco. Durante os períodos de transição “secas-águas” e nas águas foi mantida a suplementação proteico-energética de 0,5% do PC.

As avaliações iniciaram com a etapa do pastejo na fase de recria, no período da seca (junho a outubro – 140 dias) e período das águas (outubro a março – 140 dias). Durante esta etapa foi avaliado o desempenho animal a pasto por 280 dias, com pesagens

dos animais, submetidos a jejum prévio de 14 horas, a cada 28 dias. Através desta avaliação determinaram-se o ganho médio diário (GPD – kg/animal/dia) o ganho por área (GHA – kg/ha de peso vivo) e a taxa de lotação (UA/ha).

Ao final desta etapa iniciou-se a fase de terminação em confinamento. O período de confinamento teve duração de aproximadamente 110 dias. Os bovinos foram alojados em currais de confinamento contendo cochos eletrônicos e bebedouros com balança de pesagem. Estes currais eram providos de 30 m² por animal, sendo 4 m² de área sombreada. A dieta foi formulada para permitir ganho de peso médio de 1,7 kg dia⁻¹ (NRC, 1996), utilizando-se os seguintes ingredientes (%MS): 40% de silagem de milho e 60% de ração concentrada Premix (16% de PB, 77% de NDT e Macro e micronutrientes minerais, além do Fator P). A dieta foi pesada e fornecida em três arraçoamentos diários, permitindo sobras mínimas de 5%, que eram quantificadas e removidas após 24h da primeira oferta.

2.5 Custos Produtivos

Para a determinação do desempenho econômico dos animais ao longo do projeto, foram controlados todos os custos produtivos e a receita com a venda dos animais, inicialmente com o uso de planilhas eletrônicas, sendo ao longo do projeto substituídas por uma aplicação web capaz de cadastrar os lançamentos e realizar os cálculos necessários em tempo real.

Os custos produtivos foram classificados, criando um plano de contas com os seguintes itens: Custos Nutricionais, englobando todos os gastos nutricionais das três etapas de cada ano safra do projeto, entre eles os gastos com suplementações proteicas e energéticas, silagens, fenos e a dieta do confinamento; Custos Forrageiros, sendo estes os gastos com fertilizantes e corretivos; Custos Sanitários, englobando todos os insumos sanitários utilizados ao longo do projeto; Custos com Mão-de-obra, sendo considerados um valor proporcional ao trabalho desempenhado; Custos com Manutenções de Máquinas, Instalações e Equipamento; Custos com Energia e Combustíveis e por fim, Custos com Consultoria Especializada.

Foram aplicadas as técnicas de Fluxo de Caixa Mensal, para o devido acompanhamento dos lançamentos econômicos pela equipe de execução, bem como realizados os cálculos para obtenção dos Demonstrativos de Resultados Econômicos Anuais (DRE) e a definição dos Indicadores Econômicos, sendo: Resultados Econômicos por Arroba Produzida, por Cabeça e por Hectare.

Determinaram-se as médias de peso inicial no período da seca (PI1), ganho de peso diário no período da seca (GPD1), peso inicial no período das águas (PI2), ganho de peso diário no período das águas (GPD2), peso inicial no período de confinamento (PI3), ganho de peso diário no período de confinamento (GPD3), peso da carcaça quente (PCQ) e rendimento de carcaça (RC), por Programa, Carne de qualidade (PCQ), Carne Baixo Carbono (CBC) e Carne Carbono Neutro (CCN). O rendimento de carcaça quente (RCQ) foi utilizado para estimar o ganho em arrobas no confinamento, fundamental para medir a economicidade dos grupamentos no sistema de produção.

2.6 Análise estatística

Os pacotes `psych` e `GPArotation` do software R (R Core Team, 2021) foram utilizados para obter os escores dos fatores. Para avaliar os efeitos dos tratamentos e sua interação nas pontuações dos fatores individuais, um teste de Análise de Variância (ANOVA) e Tukey foram realizados usando o pacote `ExpDes` do software R (R Core Team, 2021). A suposição da ANOVA de normalidade dos resíduos foi verificada usando o teste Shapiro-Wilk pelo pacote `ExpDes`, e a homocedasticidade residual foi verificada usando o teste Levene pelo pacote `Car`, ambos os pacotes usados eram do software R (R Core Team, 2021). A ANOVA foi baseada no seguinte modelo linear:

$$y = \mu + g + p + g \times p + e,$$

em que y é o vetor de observações; μ é o vetor de médias para todas as observações; g é o vetor de efeitos de grupo genético; p é o vetor de efeitos do programa de produção carne; $g \times p$ é o vetor de interação entre os efeitos do grupo genético e do programa de produção de carne; e é o vetor de erros aleatórios associados às observações, $e \sim N(0, \sigma^2)$.

3. Resultados

3.1 Apresentação dos programas

Os resultados da avaliação de desempenho dos programas carne de qualidade (CQ), carne baixo carbono (CBC) e carne carbono neutro (CCN) e grupos de cruzamentos, safra 22/23, estão na Tabela 1.

3.2 Análise estatística

Na tabela 1 são apresentados os resultados das médias de peso inicial no período da seca (PI1), ganho de peso diário no período da seca (GPD1), peso inicial no período

das águas (PI2), ganho de peso diário no período das águas (GPD2), peso inicial no período de confinamento (PI3), ganho de peso diário no período de confinamento (GPD3), peso da carcaça quente (PCQ) e rendimento de carcaça (RC), por Programa, Carne de qualidade (PCQ), Carne Baixo Carbono (CBC) e Carne Carbono Neutro (CCN).

Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,001$) entre PI1, para os programas CQ (224 kg), CBC (225kg) e CCN (227kg), o mesmo ocorreu para Peso ao abate, obtendo-se como médias de 560kg, 576kg e 575kg, respectivamente, por programa.

Para avaliar a diferença entre as medianas dos tratamentos avaliados (para a variável ganho de peso diário no período seco) e Grupos”, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, por intermédio do software R (referência), considerando $p < 0,05$.

Portanto, foi realizado teste não paramétrico (Kuskal-Wallis), pois para a variável de GPD1 para programas e cruzamentos não atendem as conjecturas de normalidade, como o p-valor foi significativo ($< 0,001$) houve necessidade em prosseguir com o teste de Dunn para identificar onde existe diferença entre as médias.

Dessa forma, para ganho de peso diário no período da seca (140 dias), as médias por programa foram: CQ (0,513 kg), CBC (0,511 kg) e CCN (0,521 kg), ao utilizar teste não paramétrico, observou-se que não houve diferença entre os programas e a médias utilizando o teste F são estatisticamente iguais, foram declaradas se $P < 0,05$.

No período da estação das águas (140 dias). os animais dos programas CQ, CBC e CCN o Ganho de peso diário foi respectivamente de 0,702kg, 0,952 kg e 0,887.

Após o período de recria no pasto, os animais foram transferidos para a etapa de confinamento, que durou 105 dias. No confinamento, os bovinos foram alojados em currais equipados com cochos eletrônicos e balanças de pesagem. Todo o período do teste durou 385 dias.

Tabela 1 – Análise de variância para os projetos Carne de qualidade (CQ), carne baixo carbono (CBC) e carne carbono neutro (CCN) e Grupos de cruzamentos Brahmanel, Guzonel, Tabanel e Sindinel

| Variáveis | Unid. | CQ N=115 | CBC N=16 | CCN N=16 | CV(%) | P<F | Brahmanel N=40 | Guzonel N=40 | Tabanel N=35 | Sindinel N=32 | CV(%) | P<F |
|---------------|-------|-------------|-------------|-------------|--------|---------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|-------|--------|
| PI1 | Kg | 224 | 225 | 227 | 12,27 | 0,921 | 222b | 246a | 226b | 199c | 9,75 | <0,001 |
| GPD1 | Kg | 0,513* | 0,511* | 0,521* | 15,88* | <0,001* | 0,528ab | 0,513ab | 0,559a | 0,446b | 10,44 | <0,001 |
| PI2 | Kg | 296** | 297** | 300** | 2,18** | 0,892** | 296b | 318a | 304ab | 261c | 1,8 | <0,001 |
| GPD2 | Kg | 0,702 | 0,952 | 0,887 | 15,88 | <0,001 | 0,772a | 0,775a | 0,774a | 0,664b | 19,16 | 0,003 |
| PI3 | Kg | 394b | 429,8a | 424a | 11,54 | 0,002 | 404a | 427a | 412a | 354b | 10,08 | <0,001 |
| GPD3 | Kg | 1,432 | 1,264 | 1,302 | 20,03 | 0,029 | 1,402a | 1,520a | 1,501a | 1,347b | 17,61 | <0,001 |
| Peso ao abate | Kg | 560 | 576 | 575 | 12,65 | 0,556 | 567b | 603a | 586ab | 486c | 10,09 | <0,001 |
| PCQ | Kg | 314 | 324 | 322 | 13,07 | 0,547 | 318a | 336a | 333a | 271b | 10,55 | <0,001 |
| RC | % | 56,07 | 56,26 | 56,14 | 2,59 | 0,884 | 56,20ab | 55,66b | 56,74a | 55,85b | 2,5 | 0,007 |

PI1=Peso inicial no período da seca; GPD1= Ganho de peso diário no período da seca; PI2= Peso inicial no período das águas; GPD2= Ganho de peso diário no período das águas; PI3= Peso inicial no período de confinamento; GPD3= Ganho de peso diário no período de confinamento; PCQ=Peso da carcaça quente; RC= Rendimento de carcaça, N= Número de animais *Teste não paramétrico** Transformação Logarítmica; Médias acompanhadas de letras iguais na mesma linha não apresentaram diferença estatística segundo o teste de Tukey ($p \geq 0,05$).

Tabela 2 – Desempenho individual e emissão de metano entérico* durante as fases de recria e terminação do PZCQ 2022/2023 (385 dias)

| Programa | Animais | Recria | | Terminação | Total | GPV | IE | IE | Emissão |
|----------|---------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------------|-----|--------------------------------|-----|--------------------------------|
| | | 1ª Fase (kg/140 dias) | 2ª Fase (kg/140 dias) | kg/105 dias | CH ₄ kg/385dias | Kg | (KgCH ₄ /kg GPV) | % | Kg CH ₄ /kg ano) |
| PZCQ | 109 | 20,09 | 22,75 | 16,55 | 59,39 | 332 | 0,179 | 100 | 45,85 |
| CCN | 16 | 20,24 | 24,29 | 16,52 | 61,05 | 346 | 0,176 | 98 | 46,87 |
| CBC | 16 | 20,09 | 24,12 | 16,97 | 61,18 | 359 | 0,171 | 95 | 46,95 |

*Equação desenvolvida pela rede Pecuária, Embrapa, utilizada nos protocolos CCN e CBC (Adaptado Alves et al., 2015; Almeida, 2023).

Projeto zebu carne de qualidade (PZCQ), carne carbono neutro (CCN) e carne baixo carbono (CBC).

Ganho de peso vivo (GPV), emissão entérica (IE)

3.2 Emissão de metano entérico

Para a avaliação do Programa Zebu Carne de Qualidade (PZQC), CBC e CCN, foram calculadas as emissões de metano entérico a partir da Equação empírica de emissão entérica de metano, desenvolvida pela Rede Pecuária, Embrapa.

A emissão de metano entérico é medida em dois parâmetros: IE (Kg CH₄/kg GPV) e IE média (Kg CH₄/ano)

As emissões de metano estimadas em 385 dias foram de 45,85 kg CH₄ kg/ano, 46,87 kg CH₄ kg/ano e 46,95 kg CH₄ kg/ano, respectivamente para o manejo PZQC, CBC e CCN.

O PZQC apresentou um IE de 0,179 kg CH₄/kg GPV, superior ao CCN (0,176kg CH₄/kg GPV) e CBC (0,173 kg CH₄/kg GPV), indicando uma leve superioridade destes últimos em termos de eficiência ambiental. Assim o índice de eficiência de metano (IE) favorece CBC e CCN em relação ao PZQC, indicando menor emissão por quilo de ganho de peso vivo nesses protocolos.

3.3 Programa Carne Carbono Neutro e Carne Baixo Carbono

Os programas Carne Carbono Neutro (CCN) e Carne Baixo Carbono (CBC) são iniciativas que visam certificar a produção de bovinos de corte em sistemas pecuários que neutralizam ou reduzem as emissões de metano entérico, respectivamente.

O programa CCN utiliza o sistema ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta), que envolve a introdução obrigatória de árvores no sistema de produção. Esse sistema contribui para a neutralização das emissões de metano através do sequestro de carbono pelas árvores. Já o CBC utiliza o sistema ILP (Integração Lavoura-Pecuária), onde as emissões de metano são mitigadas pelo próprio processo produtivo. Isso é alcançado por meio da redução na idade do abate, da melhoria da dieta dos animais e do aumento do estoque de carbono no solo. Dessa forma resulta da adoção de boas práticas agropecuárias, incluindo a recuperação e o manejo sustentável das pastagens e a implementação de sistemas de integração lavoura-pecuária.

Ambos os programas são importantes para a sustentabilidade da pecuária, buscando reduzir o impacto ambiental e promover práticas mais sustentáveis na produção de carne bovina.

Os cálculos foram feitos seguindo a equação desenvolvida pela Rede Pecu, da Embrapa, utilizada para os protocolos CCN e CBC. Para estimar a emissão de metano entérico, são considerados a qualidade da dieta (pasto + ração), a ingestão de alimento e o ganho médio diário dos animais.

Para a prova, foram recebidos 147 animais, todos resultados de cruzamentos entre nelore e outras raças: 32 Brahmanel (1/2 Brahman x 1/2 Nelore); 32 Guzonel (1/2 Guzerá x 1/2 Nelore); 25 Sindinel (1/2 Sindi x 1/2 Nelore); 26 Tabanel (1/2 Tabapuã x 1/2 Nelore), adquiridos por sua excelência genética.

Desses animais, foram selecionados 32, oito de cada cruzamento, e divididos em dois grupos – um para a área de ILPF e outro para a de ILP. A fazenda, com 20,3 hectares de pasto de braquiária Brizantha BRS Paiaguás, foi dividida em oito piquetes.

Os demais animais continuaram nas áreas comuns, seguindo o manejo rotineiro da ABCZ e os dados gerados a partir de seu desempenho foram utilizados para comparação dos resultados.

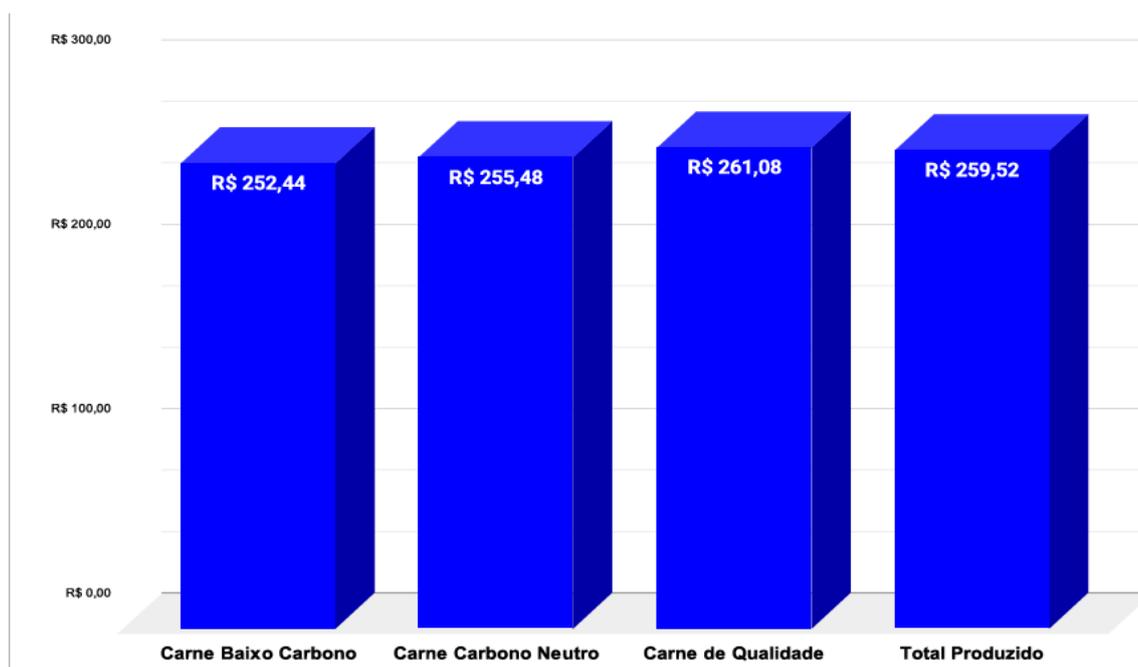


Figura 2- Gráfico de comparação do custo produtivo dos programas Carne Baixo Carbono, Carne Carbono Neutro e Carne de Qualidade por arroba

A análise da figura 2 evidencia a média do custo por arroba produzida R\$ 259,52.

Os projetos CBC e CCN apresentaram menores custos médios por arroba de R\$ 252,44 e 255,48, respectivamente, quando comparados ao rebanho do Programa Carne de Qualidade, nesse sentido observou-se que os animais do programa CBC apresentaram

melhor desempenho produtivo, o que indica que sua produção pode ter vantagens econômicas diretas, possivelmente devido ao manejo eficiente de produção e/ou incentivos ambientais.

Os animais do CBC iniciaram o projeto com o menor ganho de peso diário no período da seca (0,511kg), no entanto alcançaram a maior média de ganho de peso no período das águas (0,952 kg), o que garantiu o melhor peso inicial na fase de confinamento (429,8 kg), mesmo com decréscimo na média de ganho de peso diário no período de confinamento, a categoria obteve maior média de peso ao abate (576 kg), consequentemente as melhores médias para as variáveis peso de carcaça quente (324 kg) e rendimento de carcaça (56,26%).

Os animais do CCN iniciaram o projeto com o maior ganho de peso diário no período da seca (0,521kg), obtiveram a média de ganho de peso no período das águas (0,887 kg), os animais entraram no confinamento com o segundo melhor peso inicial (424 kg), mantendo boa média de ganho de peso diário no período de confinamento(1,302kg), a categoria obteve média de peso ao abate (575 kg), consequentemente as melhores médias para as variáveis peso de carcaça quente (322 kg) e rendimento de carcaça (56,14%), conforme expressa a tabela 1.

Neste sentido observou-se que os animais CCN ganharam menos peso no período de confinamento, possivelmente por causa da diminuição do conforto térmico.

A Carne de Qualidade possui o custo mais elevado, indicando que os processos exigidos para garantir essa qualidade impactam significativamente os custos.

3.5 Comparação e resultados técnico-econômicos do custo produtivo por Grupos de cruzamentos e programas

A figura 3 apresenta os valores econômicos das diferentes categorias ZCQ (Brahmanel, Guzonel, Sindinel, Tabanel e Total).

A categoria ZCQ Tabanel apresenta o menor valor de produção (R\$ 258,9), sugerindo uma melhor eficiência econômica em comparação com as demais, com as melhores médias de ganho de peso durante todo período de produção (a pasto e confinamento), com peso ao abate de 586 kg e consequentemente bom peso de carcaça quente (333kg) e rendimento de carcaça (56,74%), conforme tabela 1.

A categoria ZCQ Guzonel apresenta o maior valor econômico (R\$ 264,4), melhor peso ao abate, diferindo estatisticamente dos grupos Brahmanel e Sindinel, (tabela 1). Já ZCQ Sindinel (R\$ 264,3), apresentou o segundo maior valor de produção com peso ao

abate, peso da carcaça quente e rendimento de carcaça inferior comparado aos demais grupos de cruzamentos.

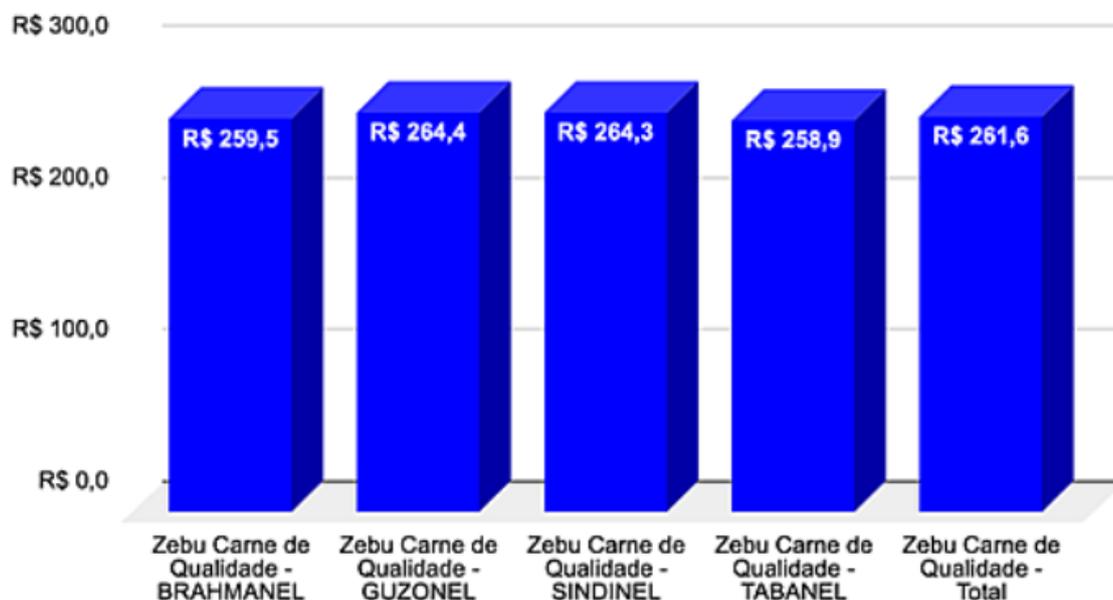


Figura 3- Gráfico do resultado econômico do custo produtivo por grupos de cruzamentos (Brahmanel, Guzonel, Sindinel, Tabanel do programa Zebu Carne de Qualidade (ZBQ) por arroba

3.6 Análise Econômica de Indicadores

A Figura 4 apresenta os custos operacionais efetivos (COE) por arroba produzida (R\$/@) no projeto Carne Baixo Carbono (CBC), sendo eles em quatro grupos de cruzamentos (Brahmanel, Guzonel, Sindinel e Tabanel) e a média total.

A categoria ZCQ Brahmanel apresentou segundo menor custo de produção (R\$ 259,5), desempenho nas variáveis peso ao abate (567 kg) e rendimento de carcaça (56,20%).

Com base nos números, observa-se que o projeto CBC para a produção de Guzonel apresenta o maior COE (R\$ 274,50), enquanto para produção de Brahmanel tem o menor custo operacional (R\$ 252,60). A média total dos sistemas analisados é de R\$ 260,70, sendo influenciada principalmente pelos valores extremos de Guzonel e Brahmanel.

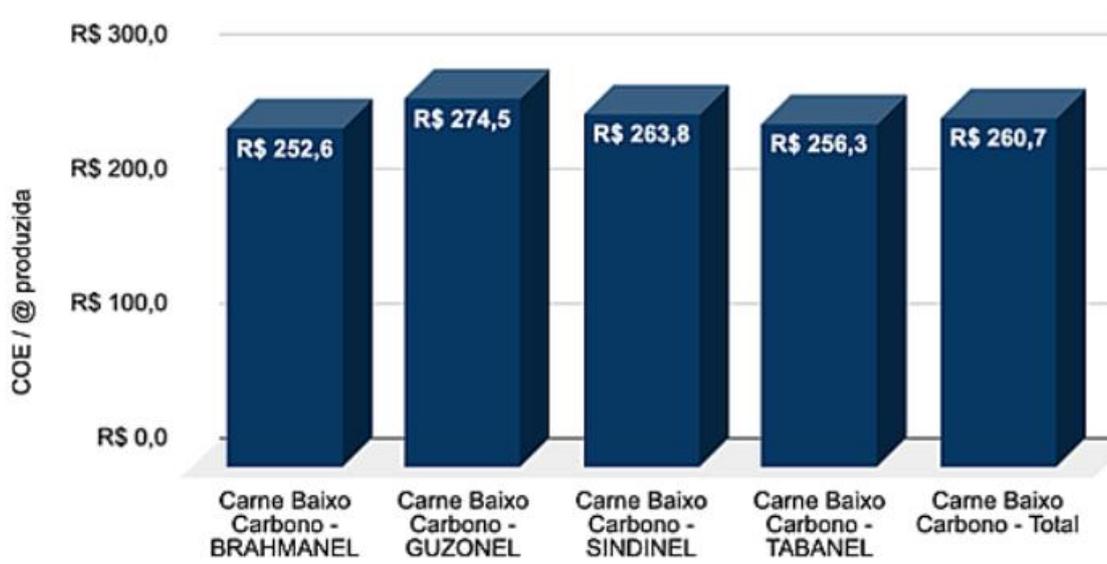


Figura 4 Análise econômica de indicadores de produção por grupo de cruzamento do programa Carne Baixo Carbono (CBC)

Os custos operacionais indicam o esforço econômico necessário para produzir uma arroba de carne em cada sistema. O menor valor de produção para o CBC foi para o grupo de cruzamento Brahmanel, este valor (R\$: 252,6) indica maior eficiência econômica, comparando com os demais grupos supracitados, possivelmente devido a fatores como melhor conversão alimentar, menor exigência nutricional ou custos reduzidos de manejo. Em contrapartida, o CBC Guzonel apresenta um custo significativamente superior (8,67% acima do CBC Brahmanel), indicando maior despesa na produção, pode estar atrelada a menor eficiência alimentar ou custos mais elevados de insumos.

O CBC Sindinel e CBC Tabanel situam-se em uma faixa intermediária, com valores próximos ao COE total. Isso sugere que esses dois sistemas possuem uma relação custo-benefício mais próxima da média global dos sistemas CBC.

A análise da figura 5 apresentada revela dados financeiros específicos sobre diferentes quatro grupos genéticos (Brahmanel, Guzonel, Sindinel e Tabanel) produzidos no projeto Carne Carbono Neutro (CCN).

O projeto o CCN Brahmanel registra o menor custo de produção por arroba (R\$ 246,30), o que pode sugerir maior valorização de mercado em relação aos outros grupos. Em contrapartida, CCN Sindinel apresenta o maior valor absoluto (R\$ 261,30), indicando uma precificação superior em relação às demais categorias.

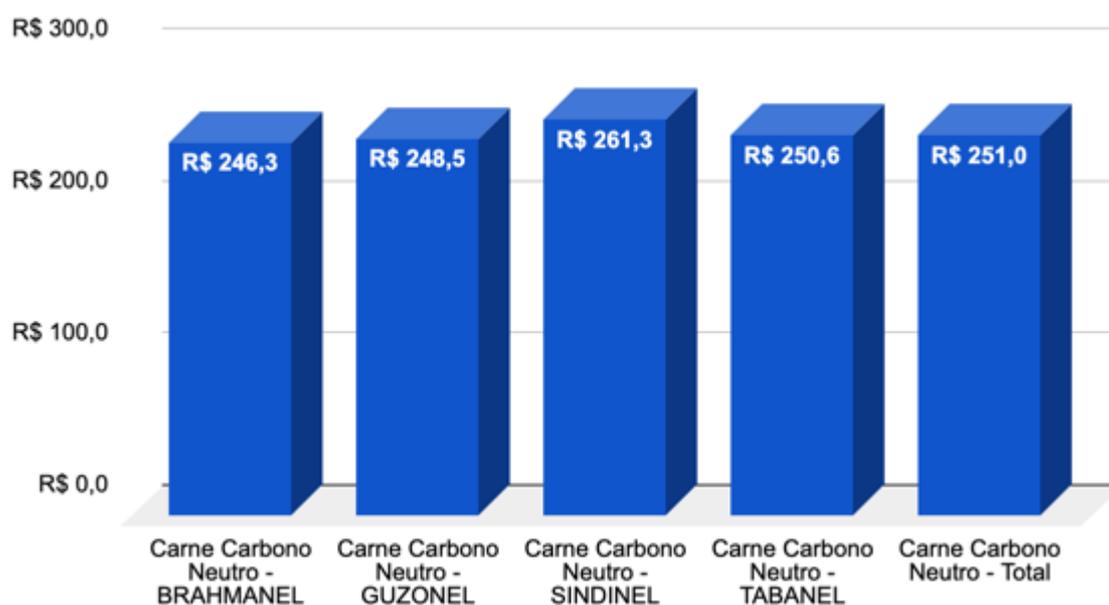


Figura 5 - Indicadores de Carne Carbono Neutro

O projeto CCN Sindinel destaca-se como a categoria com maior custo de produção, enquanto o Brahmanel apresenta menor precificação, indicando possíveis variações nos custos de produção, qualidade genética ou demanda de mercado.

3.7 Indicadores por grupos de cruzamentos

Com base na figura (figura 6) o custo médio total para os grupos de cruzamento foi de R\$ 259,30, funcionando como um ponto de referência para a comparação intergrupar. O intervalo de variação dos custos entre as raças analisadas é de R\$ 6,40 (de R\$ 257,40 a R\$ 263,80),

O Brahmanel possui o menor custo de cruzamento (R\$ 257,40), ficando R\$ 1,90 abaixo da média geral. Já o Tabanel tem um custo marginalmente superior ao Brahmanel (R\$ 257,70), mantendo-se ainda abaixo da média total. Essas duas raças apresentam custos mais baixos, indicando maior viabilidade econômica em sistemas produtivos que buscam minimizar despesas reprodutivas.

Guzonel (R\$ 262,90) e Sindinel (R\$ 263,80) apresentam os maiores custos, sendo respectivamente R\$ 3,60 e R\$ 4,50 acima da média global.

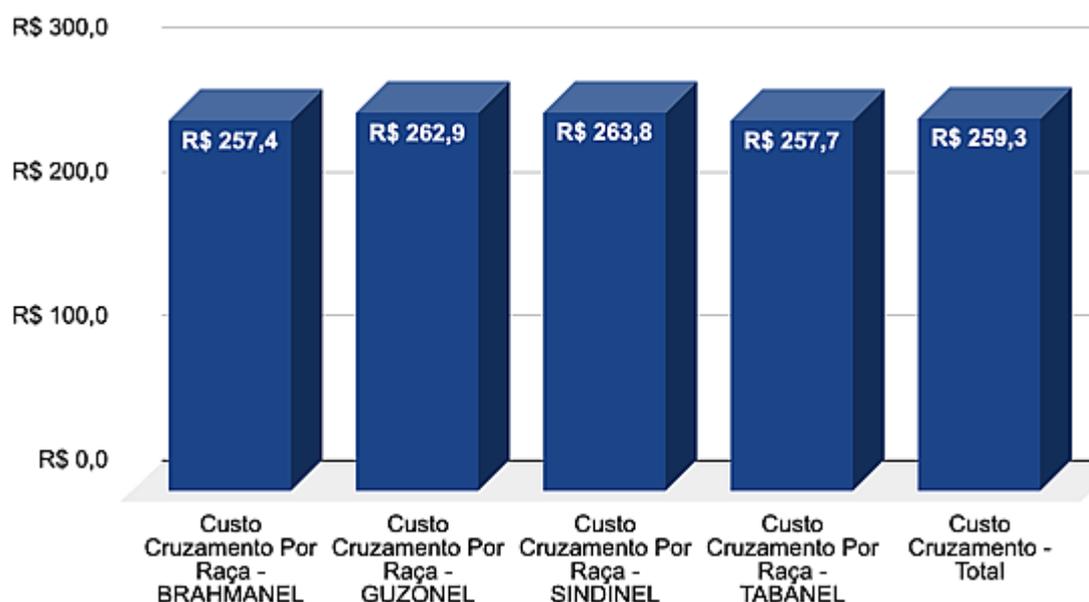


Figura 6 - Indicadores por Cruzamentos

3.8 Demonstrativo de Resultado Econômico da safra 2022/2023

Conforme demonstrado na tabela 3, a receita média por arroba foi de R\$245,00 e um custo operacional efetivo por arroba de R\$259,52, o que sugere que o custo por arroba é inferior ao lucro por arroba, constatando déficit de R\$14,33 por arroba. Este fato ocorreu devido aos altos custos com produção no ano anterior a venda desses animais e queda no valor da arroba no período de comercialização.

Tabela 3- Resultado dos indicadores técnico-econômicos Safra 2022/2023

| ITENS | VALORES |
|-------------------------------------|-------------|
| Receita média R\$/@ | R\$ 245,00 |
| Custo operacional efetivo @ | R\$ 259,52 |
| Lucro bruto R\$/@ | (R\$ 14,33) |
| Margem bruta %/@ | 5,76 |
| Oscilação – Receita safra 2022/2023 | |
| Safra 20-21 | -28% |
| Safra 21-22 | -27% |
| Safra 22-23 | 0% |
| Oscilação – Custo safra 2022/2023 | |
| Safra 20-21 | 21% |
| Safra 21-22 | 1% |
| Safra 22-23 | 0% |

A volatilidade no preço da arroba do boi pode impactar significativamente os produtores e a agroindústria. Estratégias como contratos futuros, opções de compra e venda, além de análise de mercado, são comuns para gerenciar riscos nesse setor.

4. Discussão

4.1 Análise estatística

O teste de Kruskal-Wallis é um método não paramétrico utilizado para comparar três ou mais populações. Ele é usado para testar a hipótese nula de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa de que ao menos duas das populações possuem funções de distribuição diferentes. Se o valor-p $\leq 0,05$, então a hipótese nula pode ser rejeitada (Almeida et al., 2022).

As emissões calculadas, em g CH₄ /dia, para o manejo CBC corroboram com as estimadas por equação proposta por Lingen et al. (2019).

Os programas Carne Carbono Neutro (CCN) e Carne Baixo Carbono (CBC) são iniciativas que visam certificar a produção de bovinos de corte em sistemas pecuários que neutralizam ou reduzem as emissões de metano entérico, respectivamente.

Nesse contexto, as opções recomendadas para mitigação desses gases, na pecuária, envolvem o adequado manejo nutricional do rebanho, com a oferta de alimentos com melhor qualidade nutricional e uso de aditivos alimentares anti-metanogênicos; animais com maior potencial produtivo oriundos do melhoramento genético; sistemas integrados em suas variadas modalidades; dentre outros (Pickering et al., 2015; Vaz et al., 2020; Beauchemin et al., 2022, Figueiredo et al., 2023).

De modo geral foram produzidos em uma área total de 32,5 ha, 4,5 cabeças/ha, com produção de 62 arrobas/ha. Por sua vez, PINTO (2023), ao analisar o setor pecuário no Brasil, com foco nas tecnologias de ILPF, considera uma taxa de lotação de 2,5 cabeças por hectare, suportando até 16,3 milhões de animais. Sob essas condições, haveria um balanço negativo das emissões, ou seja, a remoção líquida de cerca 86,5 milhões de toneladas de CO₂ em 2030.

Por sua vez, as recomendações de Almeida et al. (2011) para que haja a devida compensação das emissões pecuárias são os arranjos de ILPF são de 227 árvores ha (22m x 2m) ou ILPF com 357 árvores ha (14mx2m, para potencial de Sequestro de Carbono e mitigação de GEEs do Eucalipto (somente o tronco exigências do IPCC) em ILPF aos 16 meses.

A composição do sistema se dá por remoções geradas pelo componente florestal (carbono estocado na madeira), pelo aumento do estoque de carbono no solo e por emissões provenientes dos processos de fermentação entérica e manejo dos dejetos dos animais, esse resultado revela o grande potencial de mitigação oferecido por sistemas integrados. A produção animal proveniente do sistema com esse arranjo é carbono neutro, ou seja, os componentes de solo e floresta mitigam as emissões de metano (CH₄) e óxido nítrico (N₂O) do rebanho bovino e, adicionalmente, permitem compensar uma parcela de metano emitida pelo rebanho que está presente em sistemas convencionais de pastagem (Pinto, 2023).

Os resultados de Almeida et al. (2020) corroboram com a pesquisa e revelam o grande potencial de mitigação oferecido por sistemas integrados, considerando o potencial que as árvores presentes nos sistemas do tipo silvipastoril ou agrossilvipastoril têm para sequestrar e fixar carbono.

Mandarino et al. (2013) estudaram desempenho produtivo e a viabilidade econômica no confinamento de bovinos, Nelore (NEL) e F1 Nelore x Brahman (NBR), notaram que para rendimento de carcaça quente, é possível observar os animais F1 Nelore x Brahman (NBR), obtiveram um ganho total menor ($P < 0,05$) em relação aos animais Nelore, o que mostra que o efeito genético aditivo do cruzamento NBR, a fim de aumentar o rendimento de carcaça e o ganho total, não foi suficiente para proporcionar valores maiores para essa variável.

Os preços da arroba do boi gordo esboçaram certa reação no final de junho, levando o Indicador do boi gordo CEPEA/B3 (estado de São Paulo) a acumular recuperação de 4,5% no mês. Apesar disso, o primeiro semestre se encerra com os preços da arroba bovina em forte queda. E essas desvalorizações mantiveram muitos pecuaristas em alerta ao longo desse período, que foi marcado por oferta maior de animais para abate e pela suspensão de um mês nos envios de carne bovina ao principal destino da proteína nacional, a China (CEPEA, 2023).

Nessa conjuntura CEPEA (2023), destaca que no acumulado da parcial deste ano (de 29 de dezembro de 2022 a 30 de junho de 2023), o Indicador registrou queda de 11,4%. Quando consideradas as médias mensais deflacionadas (pelo IGP-DI), a de junho, de R\$ 248,80, ficou 11,7% inferior à de dezembro/22.

5. Conclusão

Em suma, a análise demonstra que, embora o CBC apresente melhor desempenho produtivo e menor custo de produção de carne, o PZCQ se destaca na mitigação de emissões de metano, sendo uma alternativa interessante para sistemas sustentáveis.

Os Projetos CBC e CCN, que combinam ganhos superiores em GPD e maior peso de carcaça quente, oferecem melhor retorno econômico, especialmente em mercados que valorizam a eficiência produtiva.

O custo médio do total produzido (R\$ 259,52) sugere que a maior parte da produção está alinhada com carnes de maior valor agregado (CBC e CCN).

Estratégias de mitigação de carbono e aumento da qualidade impactam diretamente os custos produtivos, o que pode influenciar decisões de mercado e políticas de precificação.

O grupo de cruzamentos Tabanel apresentam uma relação favorável entre desempenho e rendimento de carcaça, juntamente com o grupo de cruzamento Brahmanel, foram grupos de cruzamentos que apresentaram custos mais baixos, indicando maior viabilidade econômica em sistemas produtivos que buscam minimizar despesas reprodutivas, que pode justificar sua utilização em programas de produção sustentável.

Disponibilidade de dados

Todo conjunto de dados que fundamentam os resultados deste estudo está disponível mediante solicitação ao autor correspondente.

Contribuições dos autores

Conceituação: Figueira, J. L.; Almeida, R. G. Henriques, R. F.; Maciel, G. A

Curadoria de dados: Brumatti, R. C.; Almeida, R. G.; .; Maciel, G. A

Investigação: Figueira, J. L.

Administração do projeto: Brumatti, R. C.; Ítavo, L. C. V.

Supervisão: Brumatti, R. C.; Ítavo, L. C. V. ; Henriques, R. F.;

Validação: Brumatti, R. C.; Ítavo, L. C. V.

Visualização: Maciel, G. A.; Henriques, R. F.;

Redação-Versão original: Figueira, J.L

Redação- revisão e edição: Brumatti, R. C; Henriques, R. F.;

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Associação Brasileira dos Criadores de Zebu (ABCZ).

Referências

Almeida, D.C.; Pitanga, H.N.; Silvia, T.O.; Silva, N.A.B. e Avelar, M.G. 2022. Utilização dos testes estatísticos Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para avaliação de sistemas de solos reforçados com geotêxteis. *Matéria* (Rio J) 27:e2025351. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2021-45351>

Almeida, R.G. e Alves, F.V. 2020. Diretrizes técnicas para produção de carne com baixa emissão de carbono certificada em pastagens tropicais: Carne Baixo Carbono (CBC). Embrapa Gado de Corte, Brasília, DF.

Alves, F.V.; Almeida, R.G. e Laura, V.A. 2015. Carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. Embrapa Gado de Corte, Brasília, DF.

Beauchemin, K.A.; Ungerfeld, E.M.; Eckard, R.J. e Wang, M. 2022. Invited review: current enteric methane mitigation options. *Journal of Dairy Science* 105:9297-9326. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>

Cachola, C.S. e Pacca, S.A. 2023. Carbon footprint of Brazilian families based on the Household Budget Survey and input-output analysis. *Ambiente & Sociedade* 26:e0039. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc2022039r2vu2023L4OAJ>.

CEPEA – Centro de estudos avançados em economia aplicada. Análise conjuntural. Disponível em: <https://www.cepea.org.br/> Acesso em: 23 de setembro de 2024.

FIGUEIREDO, M.R.P.; PIROVANI, D.B.; BARROS, I. E GODINHO, T.O. 2023. Levantamento de emissões e mitigação de gases de efeito estufa da pecuária bovina no Espírito Santo. Incaper em Revista 13-14:30-42. <https://doi.org/10.54682/ier.v.13e14.p30.42>

LINGEN HJV, NIU M, KEBREAD E, VALADARES FILHO SC, ROOKE JA, DUTHIE CA, SCHWARM A, KREUZER M, HYND PI, CAETANO M, EUGENE M, MARTIN C, MCGEE M, O'KIELY P, HÜNERBERGI M, MCALLISTERJ TA, BERCHIELLIK TT, MESSANAK JD, PEIRENL N, CHAVESM AV, CHARMLEYN E, COLEO NA, HALESP KE, LEEQ SS, BERNDTR A, REYNOLDSS CK, CROMPTONS LA, BAYATT AR, YÁÑEZ-RUIZU DR, YUV Z, BANNINKW A, DIJKSTRAX J, CASPERY DP, HRISTOVZ AN. (2019). Prediction of enteric methane production, yield and intensity of beef cattle using an intercontinental database. *Agriculture, Ecosystems and Environment* ://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106575

MACEDO JÚNIOR, G.L. E SILVA, S.P. 2018. Eficiência produtiva e impacto ambiental na produção de ruminantes. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Produção de Ruminantes no Cerrado, Uberlândia. Embrapa, Brasília. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1095333/1/ProducaoCarbOnoNoNeutro.pdf>. Acesso em: 23 maio 2024.

MANDARINO, R.A.; BARBOSA, F.A.; CABRAL FILHO, S.L.S.; LOBO, C.F.; SILVA, I.S.; OLIVEIRA, R.V.; et al. 2013. Desempenho produtivo e econômico do confinamento de bovinos zebuínos alimentados com três dietas de alto concentrado. *Arquivo Brasileiro*

de Medicina Veterinária e Zootecnia 65:1463-1471. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000500027>

MEDEIROS, S.R.; BARIONI, L.G.; BERNDT, A.; FREUA, M.C.; ALBERTINI, T.Z.; COSTA JUNIOR, C. E FELTRIN, G. 2014. Modeling enteric methane emission from beef cattle in Brazil: a proposed equation performed by principal component analysis and mixed modeling multiple regression. In: Proceedings of the Livestock, Climate Change and Food Security Conference, Madri.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. Nutrient requirements of beef cattle. 7 ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2000. 248 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC.

PICKERING, N.K.; CHAGUNDA, M.G.G.; BANOS, G.; MACDONALD, K.A.; WAGHORN, G.C.; DONAGHY, D.J. E HEGARTY, R.S. 2015. Genetic parameters for predicted methane production and laser methane detector measurements. Journal of Animal Science 93:11-20. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8127>.

PINTO, T.P. 2023. Pecuária de baixo carbono: resiliência e sustentabilidade.
R CORE TEAM. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

VAZ, R.Z.; SILVEIRA, I.D.B.; MENDONÇA, F.S.; RESTLE, J.; et al. 2020. Performance of calves born in different periods of the calving season in intensive beef cattle farming. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia 72. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11883>.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G.B.; MACEDO, M.C.M.; MARCHÃO, R.L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K. E MACIEL, G.A. 2011. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46:1127-1138. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000003>.