UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
ESCOLA DE AGRONOMIA (EA)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIO (PPGAGRO)

MAYANE DO NASCIMENTO LIMA LEITE

O sistema integrado de produção: aspectos ecológicos e econômicos

GOIÂNIA
2024

UFG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

[X] Dissertação [ ] Tese

2. Nome completo do autor

Mayane do Nascimento Lima Leite

3. Título do trabalho

O SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO: ASPECTOS ECOLÓGICOS E ECONÔMICOS

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [ ] NÃO[1]

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:
a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.
Casos de embargo:
- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.

Documento assinado eletronicamente por **Francine Neves Calil, Professora do Magistério Superior**, em 30/08/2024, às 11:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Mayane Do Nascimento Lima Leite, Discente**, em 30/09/2024, às 14:59, conforme horário oficial de Brasília, 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.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4766383** e o código CRC **42E87574**.

MAYANE DO NASCIMENTO LIMA LEITE

O sistema integrado de produção: aspectos ecológicos e econômicos

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG), como exigência para a obtenção do título de Mestra em Agronegócio.
Área de concentração: Sustentabilidade e Competitividade dos Sistemas Agroindustriais
Linha de pesquisa: Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional

Orientadora: Profª. Drª. Francine Neves Calil

GOIÂNIA
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Lima Leite, Mayane do Nascimento
O sistema integrado de produção [manuscrito] : aspectos ecológicos e econômicos / Mayane do Nascimento Lima Leite. - 2024.
110 f.

Orientador: Profa. Dra. Francine Neves Calil.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, Goiânia, 2024.
Bibliografia.
Inclui mapas, fotografias, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Biomassa. 2. estoque de carbono e estoque de CO2 equivalente. 3. teor e estoque nutricional. 4. cenários de exportação nutricional. 5. análise de viabilidade econômica. I. Calil, Francine Neves, orient. II. Título.

CDU 63

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **8/2024** da sessão de Defesa de Dissertação de **Mayane do Nascimento Lima Leite**, que confere o título de Mestra em **Agronegócio**, na área de concentração em **Sustentabilidade e Competitividade dos Sistemas Agroindustriais.**

Aos trinta dias do mês de agosto de dois mil e vinte e quatro, a partir das 09h, na sala 13 do PPGAGRO, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "O SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO: ASPECTOS ECOLÓGICOS E ECONÔMICOS". Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora Francine Neves Calil (EA/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor João Felema (EA/UFG), membro titular interno; e Professor Doutor Carlos de Melo e Silva Neto (IFG), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata aprovada pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora Francine Neves Calil, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos trinta dias do mês de agosto de dois mil e vinte e quatro.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Documento assinado eletronicamente por **Francine Neves Calil, Professora do Magistério Superior**, em 30/08/2024, às 11:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Carlos de Melo e Silva Neto, Usuário Externo**, em 30/08/2024, às 11:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Joao Felema, Professor do Magistério Superior**, em 30/08/2024, às 11:45, conforme horário oficial de Brasília, 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.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4766382** e o código CRC **DE204700**.

Aqueles que mesmo em minha falta somaram, ao sonho que é de uma, mas perseguido por todos ao seu redor. Por cada atitude, palavra ou ação mediante ao turbilhão de emoções que me tornei durante essa jornada (nada solitária), agradeço com sinceridade pois sei que de cada um foi exigido esforço, compreensão, colaboração, doação e até mesmo restrições. Às sensações de amparo e proteção que vieram de cada um de vocês, agradeço com tudo que sou. À minha família, em especial ao meu amado marido Elis e ao meu filho Samuel Kalleb.

Dedico este trabalho!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus pelo presente da existência e pela graça de aprecia-la junto aos queridos parceiros de vida que tenho, minha maravilhosa família de nascimento e a família que construí, e aos raros e estimados amigos, também pelos sonhos que ao longo dessa jornada venho realizando com sua força, graça e misericórdia;

Ao meu amado marido, parceiro de vida, meu bem Elis Sirino Leite e a meu filho Samuel Kalleb do Nascimento Lima Leite que me ensinou a verdadeira dimensão de amor, em outras mil vidas seria sua mamãe;

Aos meus pais, grandes amores Maria Sílvia Helena do Nascimento Lima e Rogério dos Santos Lima que sempre foram porto seguro e abrigo grande motivo de minha perseverança, e às minhas irmãs Camila do Nascimento Lima, Georgia do Nascimento Lima e Soraia Vitória do Nascimento Lima pelo apoio, amizade e companheirismo, sinto em cada uma um sopro de alívio nos momentos ruins e um incentivo mediante as fraquezas;

À Professora Dr.ª Francine Neves Calil pela assertividade, segurança, competência e ética profissional irretocáveis aos meus olhos, e também pela doçura de seu ser que foi ao longo desse caminho um pilar de estabilidade pessoal e emocional, pela orientação, confiança, carinho e amizade;

Aos professores Carlos de Melo e Silva Neto e João Felema, pela valiosa colaboração.

À Universidade Federal de Goiás e ao Programa de Pós-graduação em Agronegócio pela oportunidade de realizar esta pesquisa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa e apoio financeiro que me proporcionaram oportunidades de aprendizado e dedicação à minha pesquisa;

E à todas as pessoas que de alguma forma participaram e contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Até aqui, tem nos ajudado o Senhor!”

1 Samuel 7:12

"Percebo que se fosse estável, prudente e estático, viveria na morte. Portanto, aceito a confusão, a incerteza, o medo e os altos e baixos emocionais, porque esse é o preço que estou disposto a pagar por uma vida fluida, rica e excitante."

- Carl Rogers

SUMÁRIO

RESUMO GERAL. 15
GENERAL ABSTRACT. 17
1. **INTRODUÇÃO GERAL**. 19
1.1 **Referências**. 22
2. **(CAPÍTULO 1) REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**. 24
2.1 **Introdução**. 25
2.2 **Métodos e Técnicas de Pesquisa**. 27
2.3 **Resultados**. 29
2.4 **Discussão**. 35
2.5 **Considerações Finais**. 38
2.6 **Referências**. 39
3. (**CAPÍTULO 2) BIOMASSA E CARBONO EM CINCO CLONES DE EUCALIPTO IMPLANTADOS EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA**. 41
3.1 **Introdução**. 43
3.2 **Material e Métodos**. 45
3.2.1 Caracterização da área de estudo. 45
3.2.2 Coleta de dados. 48
3.2.3 Determinação da densidade básica da madeira. 50
3.2.4. Compartimentalização e estimativa de biomassa. 51
3.3 **Resultados e Discussão**. 52
3.4 **Biomassa no componente arbóreo**. 52
3.5 **Estoque de carbono e CO_2 equivalente**. 55
3.6 **Considerações finais**. 58
3.7 **Referências**. 58
4. **(CAPÍTULO 3) ESTOQUE DE NUTRIENTES, CENÁRIOS DE EXPORTAÇÃO NUTRICIONAL E VIABILIDADE ECONÔMICA EM CINCO CLONES DE EUCALIPTO IMPLANTADOS EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA**. 63
4.1 **Introdução**. 65
4.2 **Material e Métodos**. 67
4.2.1 Caracterização da área de estudo. 67
4.2.2 Coleta de dados. 70
4.2.3 Determinação da densidade básica da madeira. 72
4.2.4. Compartimentalização e estimativa de biomassa. 73
4.2.5 Teor e estoque de nutrientes. 74
4.2.6 Cenários de exportação nutricional com base nos diferentes sistemas de colheita. 76
4.2.7 Análise de viabilidade econômica para os 5 clones estudados.....77
4.3 **Resultados E Discussão**. 80
4.4 **Biomassa no componente arbóreo**. 80
4.5 **Teor e estoque de nutrientes**. 83
4.5.1 Macronutrientes. 89
4.5.2 Micronutrientes. 91
4.6 **Análise dos Componentes principais (PCA) do teor e estoque nutricional**. 92
4.7 **Cenários de exportação de Biomassa e Nutrientes**. 94
4.7.1 Cenários de exportação da biomassa. 94

4.7.2 Cenários de exportação de nutrientes. 95
4.8 **Economia baseada nos cenários de exportação nutricional**. 97
4.9 **Análise de investimento ou viabilidade**. 98
4.10 **Considerações finais**. 105
4.11 **Referências**. 105
RELEVÂNCIA SOCIAL. 110

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 1

Tabela 1. Modelos de palavras de entrada nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*..... 28

Tabela 2. Os dez autores mais produtivos e quantidade de documentos por autor no período de 1989 a 2024. 32

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 2

Tabela 2.1. Clones selecionados em ordem de ranqueamento e composição. 48

Tabela 2.2. Biomassa acumulada média (kg/árvore) dos cinco clones estudados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), no município de Morrinhos – GO. 53

Tabela 2.3. Biomassa acumulada, carbono e carbono equivalente (kg/ha) dos cinco clones estudados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), no município de Morrinhos – GO. 56

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 3

Tabela 3.1. Clones selecionados em ordem de ranqueamento e composição. 70

Tabela 3.2. Biomassa acumulada média (kg/árvore) dos cinco clones estudados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), no município de Morrinhos – GO. 80

Tabela 3.3. Biomassa acumulada média (kg/ha) dos cinco clones estudados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), no município de Morrinhos – GO. 81

Tabela 3.4. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone AS-028. 84

Tabela 3.5. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone GG-2008. 85

Tabela 3.6. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone AS-006. 85

Tabela 3.7. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone GG-1069. 86

Tabela 3.8. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone GG-1980. 87

Tabela 3.9. Estoque de macronutrientes (kg/ha) na biomassa dos cinco clones estudados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), no município de Morrinhos – GO. 90

Tabela 3.10. Estoque de micronutrientes (kg/ha) na biomassa acumulada dos cinco clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO. 91

Tabela 3.11. Exportação de biomassa (kg/ha) por ocasião da colheita do eucalipto, considerando os diferentes cenários de exportação para os cinco clones de estudados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), no município de Morrinhos – GO. 95

Tabela 3.12. Estimativa da retirada de nutrientes (kg/ha) através da colheita da biomassa para os cinco clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO. 96

Tabela 3.13. Fertilizantes utilizados no cálculo dos cenários de exportação de nutrientes para os cinco clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO. 97

Tabela 3.14. Economia relacionada aos cenários de exportação de nutrientes por hectare, considerando os diferentes cenários de colheita dos clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO. 98

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 1

Figura 1. Número de documentos encontrados por base e duplicatas removidas... 29

Figura 2. Principais idiomas encontrados nos documentos selecionados. 30

Figura 3. Produção científica anual sobre sistemas integrados de produção no período de 1989 a setembro de 2024. 30

Figura 4. Materiais produzidos pelas 10 instituições de pesquisa mais relevantes. 31

Figura 5. Países com maior número de citações. 32

Figura 6. Mapa de evolução temática dos documentos analisados. 33

Figura 7. Trabalhos mais citados, número de citações e citações por ano. 34

Figura 8. *Wordcloud* baseada nas palavras chave do autor de acordo com a frequência de ocorrência. 34

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização da área de estudos no município Morrinhos, Goiás. 46

Figura 2. Representação do arranjo espacial do sistema IPF. 47

Figura 3. Área do estudo localizada no campus do Instituto Federal Goiano, Morrinhos-GO. 47

Figura 4. Altura total do tronco medida com auxílio de uma trena(A), corte das secções ao longo do fuste (B e C), nos clones de estudo abatidos, área de estudos, Morrinhos – GO. 49

Figura 5. Medidas de diâmetro e DAP realizadas ao longo do tronco com auxílio de uma suta, área de estudos, Morrinhos – GO. 49

Figura 6. Cubagem (A), retirada dos discos de madeira (B) e posições longitudinais de retirada dos discos de madeira, até altura comercial.... 50

Figura 7. Amostras de folha, galho e casca coletadas dos cinco clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO. 51

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 3

Figura 1. Localização da área de estudos no município Morrinhos, Goiás. 68

Figura 2. Representação do arranjo espacial do sistema IPF. 69

Figura 3. Área do estudo localizada no campus do Instituto Federal Goiano, Morrinhos-GO. 69

Figura 4. Altura total do tronco medida com auxílio de uma trena(A), corte das secções ao longo do fuste (B e C), nos clones de estudo abatidos, área de estudos, Morrinhos – GO. 71

Figura 5. Medidas de diâmetro e DAP realizadas ao longo do tronco com auxílio de uma suta, área de estudos, Morrinhos – GO. 71

Figura 6. Cubagem (A), retirada dos discos de madeira (B) e posições longitudinais de retirada dos discos de madeira, até altura comercial.... 72

Figura 7. Amostras de folha, galho e casca coletadas dos cinco clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO. 73

Figura 8. Localização da área de estudos no município Morrinhos, Goiás. 74

Figura 9. Triturador tipo Lippel, Laboratório LQMBio – UFG. 75

Figura 10. Moinho tipo Wiley, Laboratório LQMBio – UFG. 75

Figura 11. Amostras de Galho, folha e casca trituradas e moídas, identificadas por clone, preparadas para serem encaminhadas ao laboratório. 76

Figura 12. Diagrama do fluxo de caixa dos projetos analisados. 77

Figura 13. Análise dos componentes principais dos teores nutricionais dos compartimentos folha, galho, casca e madeira dos clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980 em um sistema de integração pecuária-floresta em Morrinhos – GO. 93

Figura 14. Análise dos componentes principais do estoque nutricional dos compartimentos folha, galho, casca e madeira dos clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980 em um sistema de integração pecuária-floresta em Morrinhos – GO. 94

Figura 15. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto AS-028 contendo três cenários distintos de receitas. 100

Figura 16. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto AS-028 contendo três cenários distintos de receitas. 101

Figura 17. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto AS-028 contendo três cenários distintos de receitas. 102

Figura 18. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto AS-028 contendo três cenários distintos de receitas. 103

Figura 19. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto AS-028 contendo três cenários distintos de receitas. 104

RESUMO GERAL

Os produtos derivados de árvores cultivadas estão experimentando uma crescente demanda pela sociedade, que tem exigido dos setores produtivos atenção às questões ambientais e climáticas, e também tem motivado investimentos e o desenvolvimento no setor florestal de base. Nesse contexto, o segmento de biomassa florestal está emergindo como um ator de destaque para atender às necessidades energéticas, sendo reconhecido como uma fonte renovável importante e tem demonstrado interesse em pesquisas e tecnologias capazes de tornar a produção economicamente viável e ambientalmente mais sustentáveis através de estudos sobre quantificação de biomassa, estoque de carbono, estoque de CO_2 equivalente, fatores nutricionais, melhores práticas de manejo do plantio, principalmente relacionados ao sistema de colheita e estudos de viabilidade econômica. Diante disso, os objetivos deste estudo foram quantificar a biomassa, estoque carbono e nutrientes, definir cenários de exportação nutricional por ocasião da colheita, analisar as vantagens econômicas para o produtor ao adotar um dos cenários propostos e analisar a viabilidade econômica do plantio em cinco clones de eucalipto aos cinco anos de idade plantados em sistemas de integração pecuária-floresta, IPF no município de Morrinhos – Goiás. Na área de estudos foi implantado no ano de 2018,um sistema de integração pecuária-floresta, situado na Unidade de Referencia Tecnológica – URT, no campus do Instituto Federal Goiano com 10 hectares de extensão, a área se trata de um teste clonal desenvolvido pela Embrapa florestas, onde o inventário florestal foi realizado no mês de abril de 2023, a partir do mesmo, foi realizado um ranqueamento selecionando os 5 melhores clones do melhor para o pior, o critério utilizado no ranqueamento foi maior volume de madeira no fuste. Foram selecionadas 5 árvores em cada clone, em seguida foram abatidas para realização das análises. Os clones selecionados foram AS-028 (*E. urophylla x E. grandis)*, GG-2808 (*E. urophylla* x *E. grandis*), AS-006 (*E. urophylla* – híbrido), GG-1069 (*E. urophylla* x *E. grandis*), e GG-1980 (*E. urophylla* x *E. grandis*. Após a seleção foi realizada a cubagem rigorosa do fuste de acordo com o método de Smalian, seguida da coleta dos discos de madeira em todas as árvores nas posições longitudinais: 0, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Para estimativa da biomassa, foi realizada a determinação da densidade básica da madeira de cada clone. Para o cálculo da biomassa dos demais componentes foi usado um modelo de compartimentalização obtido através de levantamento bibliográfico de biomassa para clones em idade semelhante. Os resultados obtidos para biomassa média acumulada para os cinco clones estudados variaram entre 104.050,00 e 139.067,00 kg/ha. Para obter os valores do estoque de carbono e de carbono equivalente de acordo com IPCC, foi necessário multiplicar o valor obtido da biomassa pelos fatores 0,5 e 3,67 respectivamente. Os resultados obtidos para estoque de carbono para os cinco clones estudados foram entre 52.025,00 e 69.533,70 kg/ha, enquanto os resultados obtidos para estoque de CO_2 equivalente para os cinco clones estudados foram entre 190.931,75 e 255.188,67 kg/ha. Para obter os valores dos teores e estoque de nutrientes para cada clone foram enviadas ao laboratório de análises, as amostras compostas de galho, folha, casca e madeira de cada clone estudado. Os teores de nutrientes foram encontrados em maior concentração no compartimento folha, enquanto a menor concentração foi encontrada na madeira em todos os clones. Os estoques de nutrientes foram maiores no compartimento madeira em virtude de sua elevada biomassa para os cinco clones. Foram propostos três cenários de exportação nutricional baseados no sistema de colheita (CN1,CN2 e CN3), onde CN1 representa a saída de toda a biomassa acima do solo (madeira, galho, folha e casca), CN2 representa a saída de madeira e casca, permanecendo na área de colheita os galhos e folhas, No CN3 apenas a madeira seria retirada, permanecendo na área galhos, folhas e cascas. Com os resultados de volume de resíduos deixados no local e estoque de nutrientes, foi calculada a economia prevista em fertilizantes para cada cenário. A economia gerada com base nos cenários

foi estimada entre R$ 2.055,69 e R$ 3.487,44 para o cenário 2 e entre R$ 2.896,67 e R$ 4.314,00 para o cenário 3. Para a análise de viabilidade do plantio, cada clone foi tratado como um projeto, foram levantados e tabulados todos os valores investidos e receitas resultando no fluxo de caixa de cada projeto, foi definida uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 6%, com base no fluxo de caixa foram calculados o Valor Presente dos Benefícios VP(B), Valor Presente dos Custos VP(C), Valor Presente Líquido (VPL), Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA), Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados obtidos para todos os projetos com base na metodologia clássica (MC) foram que todos os projetos são considerados atrativos (ou recomendáveis).

Palavras-chave: Biomassa, estoque de carbono, estoque de CO_2 equivalente, teor e estoque nutricional, cenários de exportação nutricional, análise de viabilidade econômica.

GENERAL ABSTRACT

Products derived from cultivated trees are experiencing growing demand from society, which has required the productive sectors to pay attention to environmental and climate issues, and has also motivated investment and development in the basic forestry sector. In this context, the forest biomass segment is emerging as a major player in meeting energy needs, being recognized as an important renewable source and has shown interest in research and technologies capable of making production economically viable and more environmentally sustainable through studies on biomass quantification, carbon stock, CO2 equivalent stock, nutritional factors, best plantation management practices, mainly related to the harvesting system and economic feasibility studies. The objectives of this study were to quantify biomass, carbon and nutrient stocks, define nutritional export scenarios at the time of harvest, analyze the economic advantages for the producer of adopting one of the proposed scenarios and analyze the economic viability of planting five eucalyptus clones at five years of age in IPF systems in the municipality of Morrinhos - Goiás. In the study area, a livestock-forest integration system was implemented in 2018, located in the Technological Reference Unit - URT, on the campus of the Federal Institute of Goiás with 10 hectares of extension, the area is a clonal test developed by Embrapa forests, where the forest inventory was carried out in April 2023, from the same, a ranking was carried out selecting the 5 best clones from the best to the worst, the criterion used in the ranking was greater volume of wood in the stem. Five trees were selected from each clone and then felled for analysis. The clones selected were AS-028 (E. urophylla x E. grandis), GG-2808 (E. urophylla x E. grandis), AS-006 (E. urophylla - hybrid), GG-1069 (E. urophylla x E. grandis), and GG-1980 (E. urophylla x E. grandis). After selection, a rigorous cubing of the stem was carried out according to the Smalian method, followed by the collection of wood disks from all the trees in the longitudinal positions: 0, DBH, 25%, 50%, 75% and 100% of commercial height. To estimate biomass, the basic wood density of each clone was determined. To calculate the biomass of the other components, a compartmentalization model obtained from a bibliographic survey of biomass for clones at a similar age was used. The results obtained for the average accumulated biomass for the five clones studied ranged from 104,050.00 to 139,067.00 kg/ha. To obtain the carbon stock and carbon equivalent values according to the IPCC, it was necessary to multiply the biomass value obtained by the factors 0.5 and 3.67 respectively. The results obtained for the carbon stock for the five clones studied were between 52,025.00 and 69,533.70 kg/ha, while the results obtained for the CO2 equivalent stock for the five clones studied were between 190,931.75 and 255,188.67 kg/ha. To obtain the nutrient content and stock values for each clone, samples made up of branches, leaves, bark and wood from each clone studied were sent to the analysis laboratory. Nutrient contents were found in greater concentration in the leaf compartment, while the lowest concentration was found in the wood of all the clones. Nutrient stocks were higher in the wood compartment due to its high biomass for all five clones. Three nutrient export scenarios were proposed based on the harvesting system (CN1, CN2 and CN3), where CN1 represents the removal of all above-ground biomass (wood, twigs, leaves and bark), CN2 represents the removal of wood and bark, with twigs and leaves remaining in the harvesting area, and CN3 represents the removal of only wood, with twigs, leaves and bark remaining in the area. With the results of the volume of waste left on site and the nutrient stock, the expected savings in fertilizers for each scenario were calculated. The savings generated based on the scenarios were estimated at between R$ 2,055.69 and R$ 3,487.44 for scenario 2 and between R$ 2,896.67 and R$ 4,314.00 for scenario 3. For the planting feasibility analysis, each clone

was treated as a project, all the amounts invested and revenues were collected and tabulated, resulting in the cash flow for each project, a Minimum Attractiveness Rate (MAR) of 6% was set, based on the cash flow the Present Value of Benefits PV(B), Present Value of Costs PV(C), Net Present Value (NPV), Annualized Net Present Value (ANNV), Internal Rate of Return (IRR) were calculated. The results obtained for all the projects based on the classic methodology (MC) were that all the projects are considered attractive (or recommendable).

Keywords: Biomass, carbon stock, CO2 equivalent stock, nutritional content and stock, nutritional export scenarios, economic viability analysis.

1. **INTRODUÇÃO GERAL**

A demanda por produtos oriundos de florestas plantadas tem aumentado significativamente, impulsionando investimentos e avanços no setor de silvicultura. Cerca de 9,5 milhões de hectares são dedicados a florestas comerciais no país, sendo que 77,3% desse total, ou seja aproximadamente 7,3 milhões de hectares são de eucalipto. Segundo a Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) de 2022, o valor da produção florestal brasileira foi de R$ 33,7 bilhões, um acréscimo de 11,9% em comparação com o ano anterior, evidenciando a importância e o constante crescimento do setor para o agronegócio brasileiro. A região Sudeste se destacou com a maior extensão de plantios comerciais, totalizando 3.6 milhões de hectares (38,1%), enquanto a região Sul contabilizou 3,0 milhões de hectares (32,0%), representando juntas 70,1% da área total de plantios no Brasil. Em 2022, observou-se um leve aumento de 0,1% na área de plantio, somando 8,1 mil hectares, com incrementos registrados somente nas regiões Sudeste (0,4%) e Centro-Oeste (5,5%), (IBGE, 2022).

De acordo com Lacerda (2022), os povoamentos florestais fornecem produtos além da madeira, os chamados produtos florestais não madeireiros como por exemplo, resinas, gomas, extratos e taninos, com destaque para o óleo medicinal extraído das folhas do eucalipto que vem ganhando atenção no mercado. Com a crescente demanda pelos produtos advindos da silvicultura o setor tem buscado avanços tecnológicos e investimentos. Nesse sentido, a biomassa florestal surge como um elemento chave para suprir demandas energéticas, sendo uma fonte renovável essencial. Brown (1997) e Sanquetta (2002) definem biomassa como qualquer matéria biológica, seja ela viva ou morta, de origem vegetal ou animal. No contexto florestal, é também conhecida como fitomassa, que abrange toda a massa vegetal presente nas florestas ou em partes específicas delas. O gênero *Eucalyptus* é importante por seu crescimento acelerado e a eficiência energética de sua madeira, conforme apontado por Cunha *et al*., (2021).

A geração e o acúmulo de biomassa são processos impactados por uma série de fatores relacionados ao clima e ao solo, tais como a incidência de luz, variações de temperatura, níveis de precipitação, e a concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO_2). A estrutura e a orientação das folhas, juntamente com a distribuição e atividade dos estômatos na superfície foliar, o conteúdo de clorofila e a síntese de carboidratos são aspectos cruciais que influenciam diretamente a fotossíntese e a respiração das plantas, conforme apontado por Kramer e Kozlowski (1972) e Vogel (2013). Para seu desenvolvimento e para acumular biomassa, as plantas superiores requerem luz solar, CO_2, oxigênio (O_2), água e nutrientes minerais essenciais

como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, entre outros elementos (Haag, 1987).

Além disso, a produção de biomassa terrestre é condicionada tanto por fatores bióticos quanto abióticos do ambiente, e está sujeita às condições edafoclimáticas da área de cultivo ou floresta. O uso adequado de fertilizantes também exerce influência, pois pode contribuir para a criação de sistemas de produção florestal mais sustentáveis, como apontado por Da Silva (2023).

Sanquetta *et al*., (2018), destacaram o crescente interesse na mensuração da biomassa florestal, sobretudo devido ao seu potencial para armazenar carbono atmosférico, um fator que tem atraído a atenção de muitos pesquisadores devido ao papel vital das florestas no ciclo global do carbono. Esse interesse está associado ao aumento das emissões de gases de efeito estufa no contexto mundial.

Segundo Amorim (2021), a captura de CO_2 da atmosfera como é denominada "sequestro de carbono", e considerou o dióxido de carbono (CO_2) um dos principais contribuintes para o efeito estufa. Ainda de acordo com o autor, os plantios florestais atuam como reservatórios de carbono, representando um método eficaz para combater ou atenuar o aquecimento global, graças ao carbono armazenado na biomassa das florestas.

Para Raven *et al*., (2014) análises químicas são fundamentais para estabelecer as proporções dos elementos que as plantas necessitam para se desenvolver. Elementos exigidos em quantidades substanciais, superiores a 1.000 mg/kg de massa seca, são classificados como macronutrientes, incluindo Nitrogênio (N), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Fósforo (P) e Enxofre (S). Por outro lado, aqueles necessários em quantidades menores, abaixo de 100 mg/kg de massa seca, são os micronutrientes, que compreendem Cloro (Cl), Ferro (Fe), Boro (B), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni) e Molibdênio (Mo).

As espécies do gênero *Eucalyptus*, devido ao seu rápido crescimento e elevada capacidade de produção, geram uma significativa demanda de elementos como água e nutrientes, conforme apontado por Bellote *et al*., (2008). A colheita dessas espécies resulta na exportação de uma quantidade substancial de nutrientes presentes na biomassa aérea, o que pode afetar a sustentabilidade da produtividade dos plantios a longo prazo. Portanto, torna-se essencial quantificar a biomassa e os nutrientes que são removidos durante a colheita florestal, como destacado por Schumacher e Caldeira (2001).

Compreender a dinâmica dos nutrientes em ecossistemas de florestas é crucial para entender e prever como a nutrição afeta o desenvolvimento das florestas. As fontes primárias de nutrientes para o sistema incluem deposição atmosférica, intemperismo físico, fixação de

nitrogênio por organismos e aplicação de fertilizantes. Por outro lado, os nutrientes podem ser perdidos por meio da remoção de biomassa durante a colheita, queimadas, lixiviação e erosão hídrica. Notavelmente, a colheita florestal representa o principal método de remoção de nutrientes do sistema, conforme documentado por Landsberg em 1986 e Pritchett em 1990.

Atualmente, observa-se uma tendência de crescimento na escolha por sistemas de produção integrados que são reconhecidos por ser mais sustentáveis e ambientalmente adequados, além economicamente viáveis. Um exemplo disso é o sistema de Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que emerge como uma opção viável em contraste aos métodos tradicionais de produção agropecuária no Brasil. Conceitualmente, a ILPF é definida como:

> Uma estratégia que visa a produção sustentável por meio da integração das atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, comtemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (Balbino, *et. al*., 2011a).

A importância do aspecto econômico na implementação de um sistema produtivo é inegável, sendo essencial que este seja economicamente vantajoso para o agricultor. Não apenas favorecendo ambiental e ecologicamente o meio ambiente, mas também promovendo a diversificação de renda, minimizando os riscos de produção e permitindo a recuperação dos investimentos iniciais por meio da geração antecipada de receita, conforme apontado por Cavalcanti *et al*., (2019). A viabilidade do sistema pode ser comprovada por meio da Análise de Viabilidade Econômica (AVE).

De acordo com Silva e Parizzi (2016), a AVE serve como um “exame” detalhado de um projeto, destinado a prover o empreendedor ou investidor com dados críticos sobre os riscos e oportunidades de um novo negócio, fundamentando a decisão de assumir ou não tais riscos.

Considerando a importância dos sistemas integrados de produção como estratégias produtivas ecológicas e economicamente viáveis, este estudo foi realizado em um sistema integrado pecuária-floresta (IPF) e redigido em três artigos, sendo: Revisão sistemática de literatura; 2) Biomassa, estoque de carbono e estoque de CO_2 equivalente em cinco clones de eucalipto plantados em sistema de integração pecuária-floresta; E 3) Biomassa, teor e estoque de nutrientes, cenários de exportação nutricional e economia de recursos e viabilidade econômica dos plantios para os cinco clones estudados.

1.1 **Referências**

AMORIM, V. et al. Os benefícios ambientais do plantio de eucalipto: revisão de literatura. **Research, Society and Development**. v. 10, p. e318101119604. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354377963_Os_beneficios_ambientais_do_plantio_de_eucalipto_revisao_de_literatura. Acesso em: 22 de jul. de 2024.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco Referencial: integração lavoura-pecuária-floresta.** Brasília, DF: Embrapa, 2011a. 130 p.

BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK R.A.; SILVA, H.D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de Eucalyptus com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**. V.56, p.31–41, 2008.

BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. **FAO - Forestry paper - Forest Resources Assessment.** 1997. 58 p

CAVALCANTI, A. C. et al. Cartilha: O Eucalipto em Goiás. **SEBRAE**, Goiás, 2019.

CUNHA, T. Q. G. DA; SANTOS, A. C.; NOVAES, E.; HANSTED, A. L. S.; YAMAJI, F. M.; SETTE JR, C. R. Eucalyptus expansion in Brazil: Energy yield in new forest frontiers. **Biomass and Bioenergy**, v. 144, 2021.

DA SILVA, O. A. P. et al. Macro- and Micronutrient Contents and Their Relationship with Growth in Six Eucalyptus Species. **Sustainability**, v. 15, n. 22, p. 15771, jan. 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/15771. Acesso em: 22 de jul. 2024.

HAAG, H. P. A nutrição mineral e o ecossistema. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 49-52., 1987.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Produção da extração vegetal e da silvicultura 2022. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. v. 37, p. 1–8, 2023. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2022_v37_informativo.pdf. Acesso em: 15 de jul. de 2024.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972, 745 p.

LACERDA, M. S. **Plantio De Eucalipto E O Serviço Ecossistêmico De Captura E Armazenamento de Carbono**. 2022. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, Goiânia, 2022.

LANDSBERG, J. J. Physiological ecology of forest production. London: Academic Press, 1986. 198p.

PRITCHETT, W. L. Suelos forestales: propriedade, conservación y mejoramento. México: Limusa Noriega, 1990. 634 p.

RAVEN, P. H.; EICHHORN, S. E.; EVERT, R. F. **Biologia Vegetal** - 8ª Edição. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. 2014. 1637p.

SANQUETTA, C. R. et. al. Dynamics of carbon and CO2 removals by Brazilian forest plantations during 1990-2016. **Carbon Balance and Management**. 2018. Disponível em: doi: https://doi.org/10.1186/s13021- 018-0106-4. Acesso em 05 de ago. 2024.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R; ZILIOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**. Curitiba. 2002. p.l 19-140.

SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de Eucalyptus globulus (labillardière) sub-espécie maidenii. **Ciência Florestal**, v.11, n.1, p.45-53, 2001.

SILVA, D. F.; PARIZZI, C. Análise da viabilidade econômico-financeira do projeto de abertura de uma empresa de alimentação coletiva. **Revista Científica do Claretiano**. v.6. n.1, jan/jun, 2016.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Biomassa e macronutrientes de uma floresta estacional decidual em Itaara-RS, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 37, n.1, p. 99-105, 2013.

2. **(CAPÍTULO 1) SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO BRASIL: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Resumo: O objetivo deste artigo foi elaborar uma Revisão Sistemática da Literatura capaz de descrever o estado da arte sobre Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SI) no Brasil, com foco nos sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta e apresentar uma análise bibliográfica das características dos Sistemas Integrados destacando o ILPF a partir do histórico e do emprego dessa técnica na produção agropecuária brasileira. A metodologia utilizada nesta pesquisa é a de Revisão Sistemática da Literatura. Um total de 294 documentos foram selecionados e analisados de acordo com os critérios estabelecidos. Constatou-se que a instituição com maior número de publicações e documentos mais citados foi a Embrapa. Entre os dez autores mais produtivos, sete são vinculados à Embrapa. As publicações são diretamente relacionadas às mudanças climáticas e seus possíveis desdobramentos no cenário mundial. Grande parte das publicações são voltadas para técnicas de produção com adoção de práticas mais sustentáveis visando atender as metas de redução de emissões dos gases de efeito estufa (GEEs). O sistema ILPF teve grande destaque em todos os trabalhos, variando entre as diferentes composições possíveis neste sistema.

Palavras-chave**:** sistemas agroflorestais, integração lavoura-pecuária-floresta, *gênero Eucalyptus*.

Abstract: The aim of this article was to carry out a Systematic Literature Review capable of describing the state of the art on Integrated Agricultural Production Systems (IS) in Brazil, with a focus on Crop-Livestock-Forest integration systems and to present a bibliographical analysis of the characteristics of Integrated Systems, highlighting ILPF based on the history and use of this technique in Brazilian agricultural production. The methodology used in this research is a Systematic Literature Review. A total of 294 documents were selected and analyzed according to the established criteria. It was found that the institution with the highest number of publications and most cited documents was Embrapa. Among the ten most productive authors, seven are linked to Embrapa. The publications are directly related to climate change and its possible consequences on the world stage. Most of the publications focus on production techniques with the adoption of more sustainable practices in order to meet the targets for reducing greenhouse gas (GHG) emissions. The ILPF system featured prominently in all the papers, varying between the different compositions possible in this system.

Keywords: agroforestry systems, crop-livestock-forest integration, *Eucalyptus* genus.

2.1 **Introdução**

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SI) são estratégias que têm como objetivo alcançar uma produção sustentável, ao integrar atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais realizadas na mesma área, por meio de cultivo consorciado, sucessão ou rotação. Essa abordagem busca promover a adequação ambiental das atividades e da propriedade, otimizando os ciclos biológicos das plantas e dos animais (Balbino *et al.*, 2011).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de produção altamente diversificados, que envolvem o uso de várias espécies florestais e culturas agrícolas de ciclo mais curto, é possível incluir ou não o componente animal, podendo ser análogo aos ecossistemas naturais.

No caso do sistema Integrado Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), é comum que haja menos espécies envolvidas, visando a uma produção mais intensiva.

O sistema ILPF, lavoura-pecuária-floresta é uma técnica de produção agrícola que visa a produção sustentável e intensificar o uso da terra sendo ao mesmo tempo sustentável e maximizando a renda do produtor, com crescimento no Brasil esse tipo de cultivo ganhou áreas maiores passando de 11,5 milhões de hectares em 2016 para 17,4 milhões de hectares em 2021, estimulada por políticas públicas como o plano ABC, com objetivo de responder os objetivos de redução de gases de efeito estufa GEE lançado em 2010 (Behling, *et al.* 2023).

Segundo Balbino *et al.* (2011), a ILPF é uma estratégia que visa a produção sustentável, integrando atividades pecuárias, florestais e agrícolas realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, rotacionado, ou em sucessão e busca equilíbrio entre os componentes do agroecossistema, contemplando aspectos como por exemplo, a adequação ambiental, valorização do homem e a viabilidade econômica.

As chamadas práticas de agricultura de baixo carbono, que são técnicas e tecnologias agrícolas que podem permitir reduções nas emissões de gases do efeito estufa (GEEs) sem comprometer a produção alimentícia, tem se desenvolvido em países com grande produção de alimentos como, por exemplo, Brasil, Nova Zelândia, Estados Unidos etc. Entre essas práticas os sistemas integrados (SI) têm sido pesquisados como alternativa para diminuição de uso de fertilizantes e defensivos agrícolas visando a diminuição dos impactos ambientais no processo de produção, o SI também pode trazer benefícios econômicos aos produtores pela redução de custo de insumos e diversificação da renda (Perosa; Newton; Carrer, 2021).

No setor florestal, os sistemas de produção integrados contribuem para geração de grãos, madeira, carne entre outros, diversificando a produção, diminuindo assim riscos financeiros e trazendo maior flexibilidade de negócios (Caldas, 2023).

Os produtos provenientes de árvores plantadas têm crescente demanda pela sociedade, o que ocasionou investimentos e capacitação no setor florestal de base, o segmento de biomassa florestal para atender a demanda energética, como recurso renovável vem ganhando papel de destaque. O *Eucalyptus* spp. têm sido plantado em decorrência do seu crescimento rápido comparado a outras espécies e pelas características de rendimento energético favorável de sua madeira (Cunha, *et al.*, 2021).

No Brasil, cerca de 83% dos produtores pecuaristas adotam diversos tipos de sistemas integrados como, por exemplo, integração lavoura-pecuária (ILP), pecuária-floresta (IPF), lavoura-floresta (ILF) e silvicultura (ICF), em contraposição os produtores com principal atividade é a cultura da soja e do milho adotaram principalmente ILP em torno de 99% e apenas uma pequena porcentagem implementaram ILPF e IPF. Com a melhoria das qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, diversificação de produção e redução da dependência de insumos agrícolas as técnicas de produção de sistemas integrados trazem diversos benefícios, sendo importante ressaltar que o sucesso das técnicas vai depender de um manejo adequado. A soja é uma das principais culturas de grãos implementadas nos sistemas ILPF, pelo seu alto valor de mercado, tornando o retorno financeiro garantido e por ser tolerante ao sombreamento por utilizar a via de fixação de carbono C3, desbastes e podas realizadas no manejo de povoamento podem ajudar no equilíbrio de rendimento entre os componentes do ILPF (Behling, *et al.*, 2023).

No processo de desbaste ou colheita florestal, a manutenção dos resíduos florestais, como folha, galho e casca pode influenciar de forma positiva o estoque de nutrientes que pode através da decomposição liberar no ciclo atual de produção ou nas próximas rotações grandes quantidades de nutrientes (Schumacher, *et al.*, 2019).

Evidenciando a importância dos estudos na área florestal para que o processo produtivo seja ainda mais eficiente e capaz de suprir a crescente demanda por produtos de base florestal.

Esse artigo tem o objetivo de elaborar uma Revisão Sistemática de Literatura que possa descrever os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, destacando a técnica de ILPF, ciclagem de nutrientes e apontando os principais resultados dos trabalhos publicados resultantes da revisão sistemática de literatura.

Este estudo pretende responder a seguinte problematização: qual o estado da arte sobre os sistemas integrados de produção agropecuária? A hipótese é que a literatura pesquisada com aplicação do protocolo estabelecido será resumida, podendo evidenciar uma lacuna de pesquisas ou publicações sobre o tema nas bases selecionadas.

Diante disso, a justificativa desta pesquisa, traz o uso de estratégias como agricultura de baixo carbono, que tem como objetivo diminuir as emissões de gases do efeito estufa os GEE

como fundamental para que o setor florestal esteja alinhado com as agendas ambientais dada a relevância do tema para a sociedade global.

Os sistemas de integrados de produção tornam-se uma das estratégias de grande importância por conciliar sustentabilidade, produção e geração de renda, com grande potencial de expansão de áreas de plantio no Brasil visto que a produtividade do eucalipto atingiu seu maior nível desde 2014, chegando a 38,9 m³/ha/ano em 2021. No país a área de florestas plantadas é de 9,93 milhões de hectares (IBÁ, 2022).

Por fim, como procedimento metodológico, esta é um capítulo de Revisão Sistemática da Literatura, seguida da uma análise de conteúdo dos trabalhos selecionados, que tem como expectativa apresentar o conjunto dos artigos completos relevantes sobre a temática sistemas integrados de produção agropecuária, estoque de nutrientes, e das variações do uso da estratégia de SI.

2.2 **Métodos e Técnicas de Pesquisa**

Para realização da análise bibliométrica proposta, um levantamento de documentos científicos foi feito através do acesso à comunidade acadêmica federada (CAFe) pelo portal de periódicos Capes, foram selecionadas e consultadas as bases *Web of Science* e *Scopus.*

Primeiramente foram definidas e sistematizados os termos de busca que atendessem o objetivo da pesquisa de elaborar uma Revisão Sistemática da Literatura capaz de descrever o estado da arte sobre Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SI) no Brasil, com foco nos sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta que tenham como componente arbóreo o gênero *Eucalyptus* e apresentar uma análise bibliométrica das características da produção científica sobre os Sistemas Integrados destacando o ILPF a partir do histórico e do emprego dessa técnica na produção agropecuária brasileira.

Os primeiros termos pesquisados nas bases de dados foram colocados em inglês em virtude da maioria dos documentos nessas bases se apresentarem no idioma citado anteriormente. Dada a diferença de entrada de termos, filtros e estrutura das bases escolhidas, foram feitos dois modelos de entrada para a busca final, os operadores booleanos “OR” e “AND” foram utilizados para combinação das palavras escolhidas para o modelo final (tabela 1).

A busca dos materiais ocorreu no dia 28 de setembro de 2024, sem recorte temporal com objetivo de verificar a evolução da produção científica ao longo do tempo e sem restrição de localidade ou idioma com intuito de compreender o panorama geral da produção científicas em

todas as revistas especializadas na área, sendo nacionais ou internacionais continas nas bases *Web of Science* e *Scopus.* Foram analisados todos os conteúdos de cunho científico resultantes da busca, como por exemplo, artigos científicos, capítulos de livros, resumos, etc.

Tabela 1. Modelos de palavras de entrada nas bases de dados Scopus e Web of Science.

BASE DE DADOS	PALAVRAS DE ENTRADA (INPUT)
Scopus	TITLE-ABS-KEY(("ICLF" OR "integrated crop-livestock-forest*") OR "crop-livestock-forest integration system*" OR "Agrosilv?pastoral system*" OR silv?pastoral) AND eucalypt*
Web of Science	TS=(("ICLF" OR "integrated crop-livestock-forest*") OR "crop-livestock-forest integration system*" OR "Agrosilv?pastoral system*" OR silv?pastoral) AND eucalypt*

* = qualquer número de caracteres (letras ou números) ao final da palavra; $ e ? = qualquer caractere no meio da palavra; TITLE = Título (Title); ABS = resumo (Abstract) KEY= palavras-chave do autor (Author Keyword); TS = tópico, para a base *Web of Science*.

Fonte: elaborado pela autora.

Após a busca feita pelos documentos os resultados encontrados foram exportados, e através do software R foram removidas as duplicatas e convertidos em tabela.

As tabelas foram tratadas, nomes de autores padronizados e corrigidos os erros ocasionados durante a exportação e conversão dos arquivos.

O pacote bibliometrix desenvolvido por Aria e Cuccurullo (2017), foi utilizado para analisar os dados, o Microsoft Excel ® foi utilizado para tabulação dos dados e elaboração de gráficos.

As avaliações realizadas afim de compreender a dinâmica global da produção científica sobre o tema deste trabalho foram: produção científica anual, países com maior número de citações, afiliações mais relevantes, trabalhos mais citados, autor com maior número de publicações e nuvem de palavras baseada nas palavras-chave do autor (de acordo com a frequência de ocorrência).

2.3 **Resultados**

Após o levantamento dos documentos nas bases selecionadas foram obtidos 236 documentos na Web os Science e 260 na Scopus, dos quais foram removidos 202 documentos em duplicidade (figura 1) resultando em 294 documentos analisados.

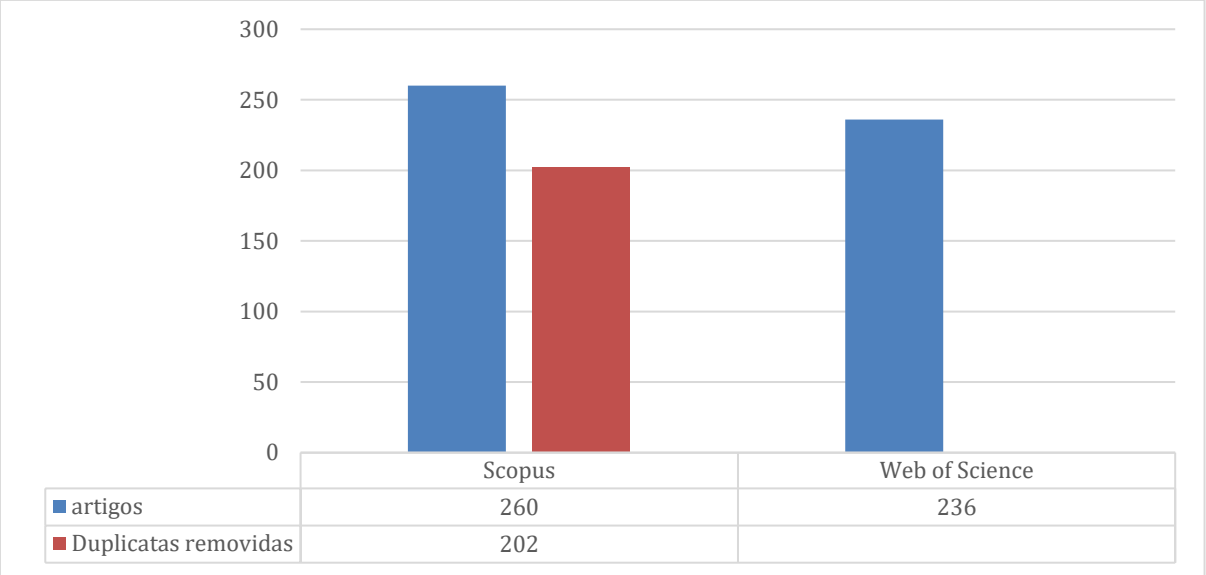

Figura 1. Número de documentos encontrados por base e duplicatas removidas. Fonte: elaborado pela autora.

A produção abrangeu um período de 1989 até 2024, de 113 fontes (revistas, livros, etc) diferentes, onde 294 documentos foram selecionados, com uma taxa de crescimento anual de 9,63% nas publicações e uma média de citações por documento de 11,37. Os documentos selecionados estavam categorizados em artigos com 269, artigo de acesso antecipado com 6, artigo de conferencia com 5, capítulo de livro com 2, resumo de reunião com 4, notas com 1, revisões com 6 e revisões com acesso antecipado com 1 documento.

O idioma predominante nos documentos foi o inglês com 243 itens, seguido do português com 38, e espanhol com 2 itens, os demais documentos foram encontrados em línguas variadas.

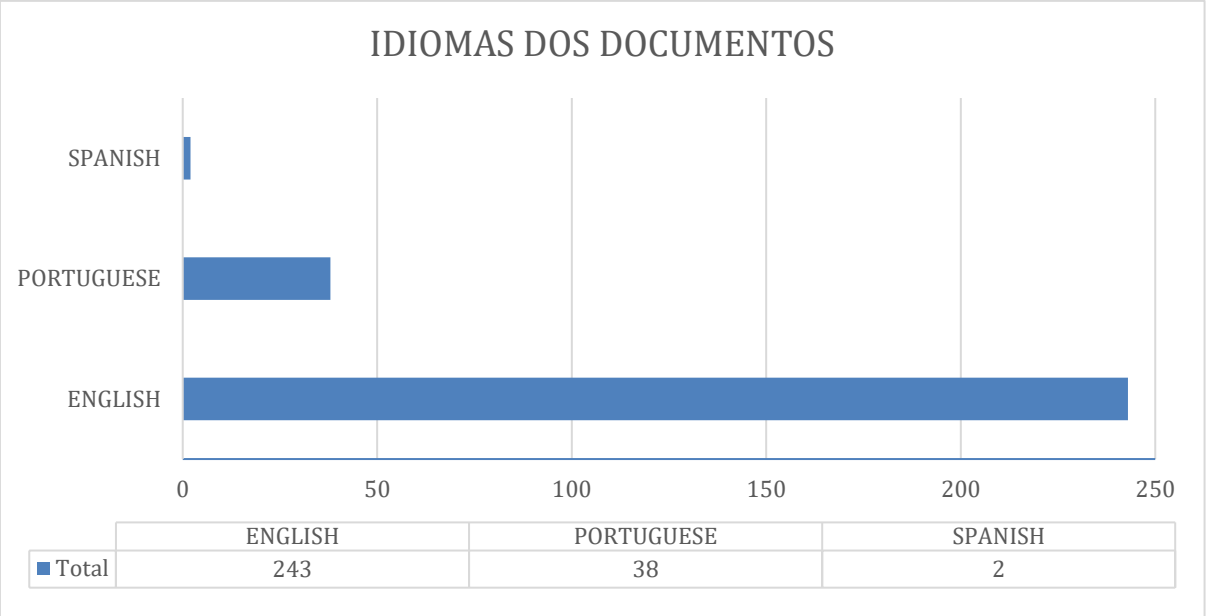

Figura 2. Principais idiomas encontrados nos documentos selecionados. Fonte: elaborado pela autora.

O gráfico a seguir descreve o período de abrangência da pesquisa e o número de documentos produzidos por ano, o ápice produtivo foi o ano de 2020 com 37 publicações com aumento considerável no volume de produção a partir do ano de 2014 (figura 3).

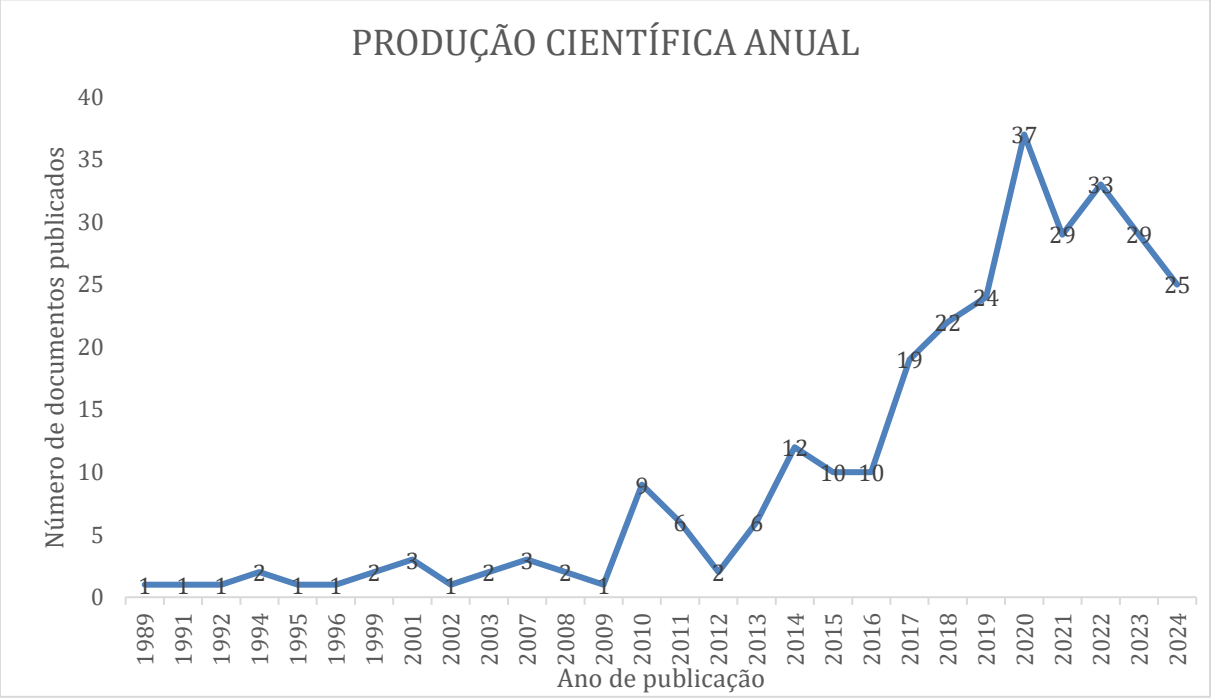

Figura 3. Produção científica anual sobre sistemas integrados de produção no período de 1989 a setembro de 2024. Fonte: elaborado pela autora.

As instituições com maior relevância nas publicações sobre a temática estão descritas na figura 4, a Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária – Embrapa, se destacou com 127 publicações seguida da Universidade Estadual Paulista com 43, e da Universidade de São Paulo com 37 trabalhos. No contexto internacional temos a State University System Of Florida e University Of Florida ambas com 23 publicações, ressaltando que várias instituições podem colaborar simultaneamente em um documento. Percebe-se que as instituições brasileiras se destacam na produção científica da temática sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil.

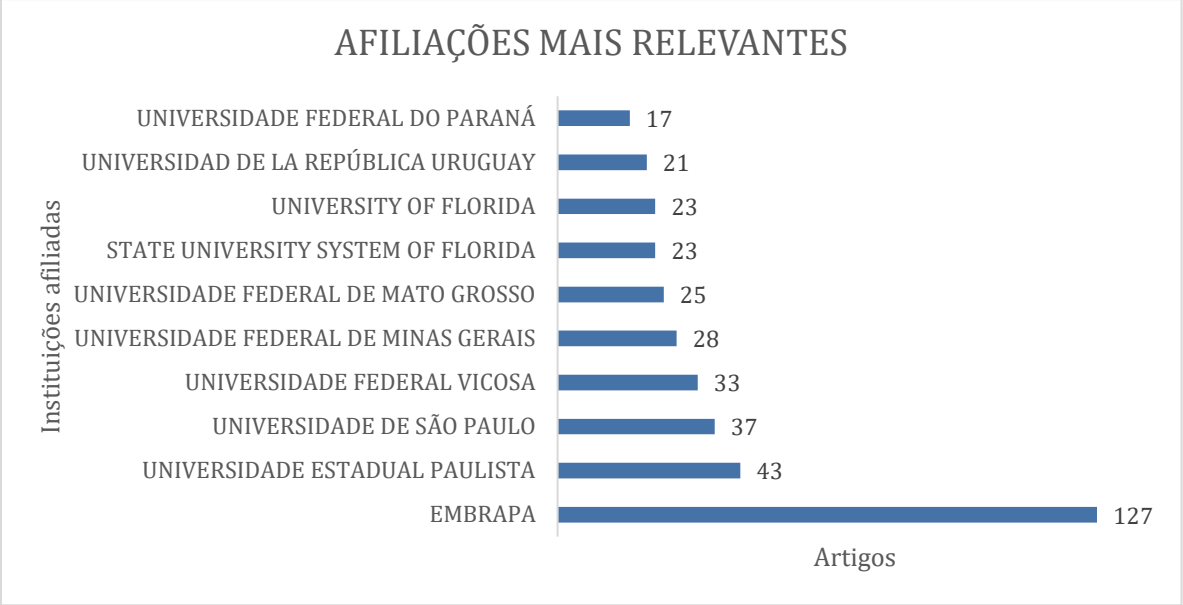

Figura 4. Materiais produzidos pelas 10 instituições de pesquisa mais relevantes. Fonte: elaborado pela autora.

Na imagem abaixo (figura 5) constatamos que o Brasil foi o país com maior número de citações com um total de 2626, seguido dos Estados Unidos e Nova Zelândia com 118 e 117 citações respectivamente. A diferença entre o primeiro e os demais colocados reflete a importância do Brasil no cenário das pesquisas relacionadas ao tema.

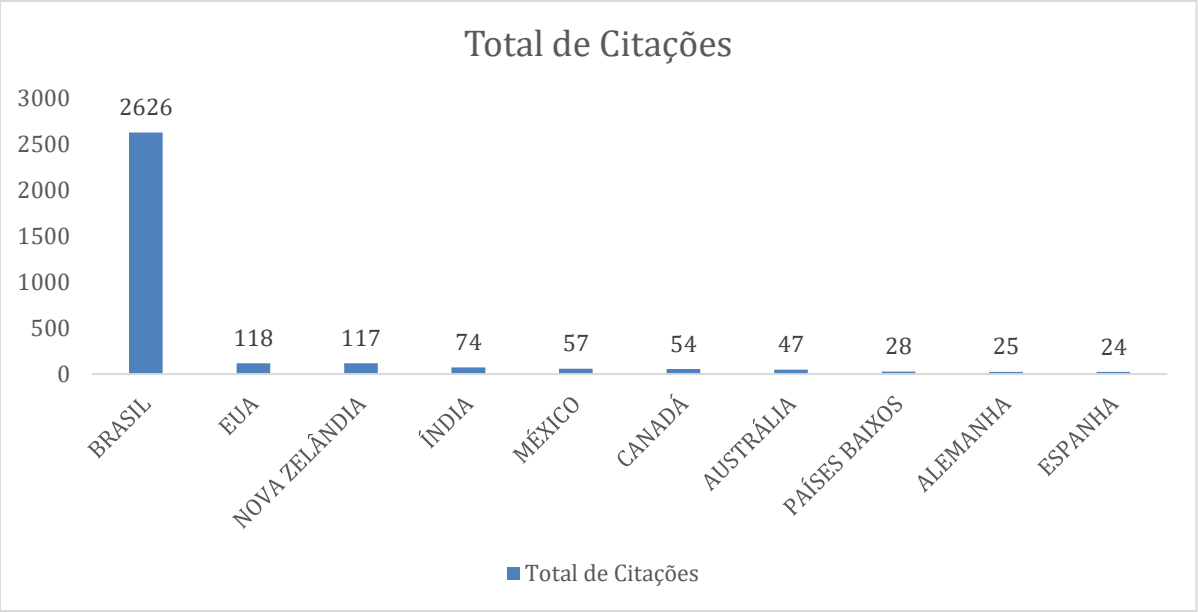

Figura 5. Países com maior número de citações . Fonte: elaborado pela autora.

Na tabela 2, podemos conferir os autores mais produtivos e número de trabalhos publicados no período do estudo.

Tabela 2. Os 10 autores mais produtivos e quantidade de documentos por autor no período de 1989 a 2024.

AUTORES MAIS PRODUTIVOS	FILIAÇÃO	ARTIGOS
PEZZOPANE, José Ricardo	Embrapa Pecuária Sudeste	22
BOSI, Cristiam	Embrapa Pecuária Sudeste	18
PEDREIRA, Bruno Carneiro	Embrapa Agrossilvipastoril	14
ALMEIDA Roberto Giolo	Embrapa Gado de Corte	12
TONINI, Helio	Embrapa Pecuária Sul	12
DE MORAES, Anibal	UFPR	11
ANDRIGHETTO, Cristiana	UNESP	10
BERNARDI, Alberto C. C.	Embrapa Pecuária Sudeste	10
LANA, Ângela Maria Quintão	UFMG	10
MÜLLER, Marcelo Dias	Embrapa Gado de Leite	10

Fonte: elaborado pela autora.

No mapa temático (figura 6) temos os temas motores (bem desenvolvidos), temas de nicho (especializados), temas emergentes ou em declínio e temas básicos. Os temas motores identificados na análise foram crescimento, pastagem, agrofloresta, agricultura, água, área e modelos. Nos temas de nicho foram: emissões de gases de efeito estufa, fertilização, emissões

de óxido nitroso, estoques de carbono, serrapilheira, frações, massa, plantação de eucalipto, manejo florestal, braquiária e produtividade do milho. Os temas emergentes ou em declínio foram urochloa Brizantha (braquiária Brizantha), acácia mangium (acácia-negra), *glycine max* (soja). Nos temas básicos consistem em plantações de espécies mistas, estoque de nitrogênio, *Eucalyptus*-grandis, árvore, artigo, erosão, eucalipto, solo, nitrogênio, carbono, qualidade e floresta. O tamanho do círculo aumenta de acordo com o número de documentos dentro de cada tema, o grau de desenvolvimento dos temas é representado pelo tamanho e proximidade dos círculos ao centro da imagem, quanto maiores e mais próximos do centro, mais desenvolvido é o tema.

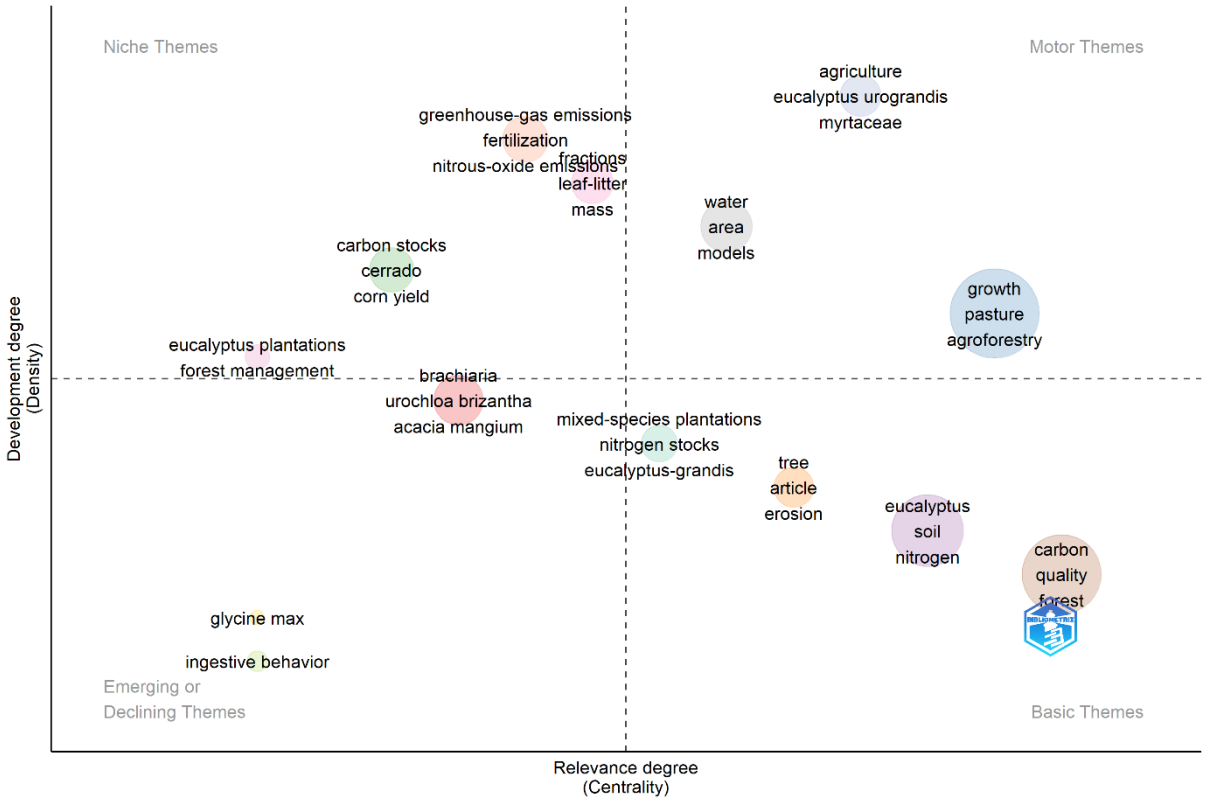

Figura 6. Mapa de evolução temática dos documentos analisados . Fonte: elaborado pela autora.

As publicações mais citadas, citações por ano e número de citações podem ser conferidas na figura 7.

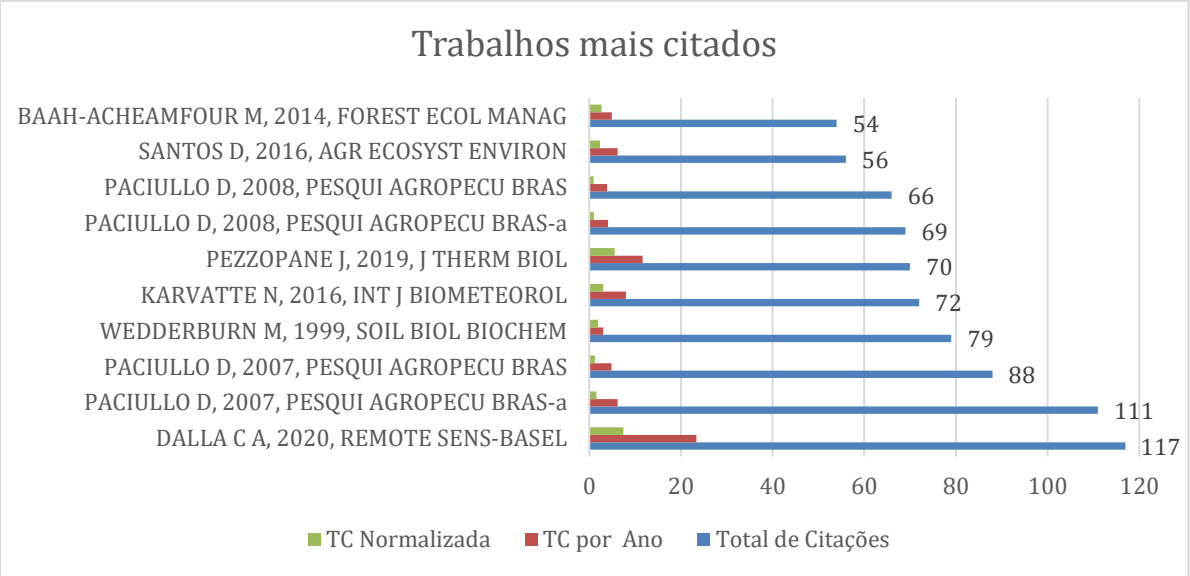

Figura 7. Trabalhos mais citados, número de citações e citações por ano . Fonte: elaborado pela autora.

Na figura 8 pode-se verificar uma *wordcloud* gerada através da frequência das palavras-chave do autor. Podemos confirmar que as palavras chave da análise correspondem aos termos de busca inicial e são diretamente relacionadas com a temática pesquisada nesse estudo. Quanto maior a palavra maior a frequência de utilização, ou seja, maior repetição.

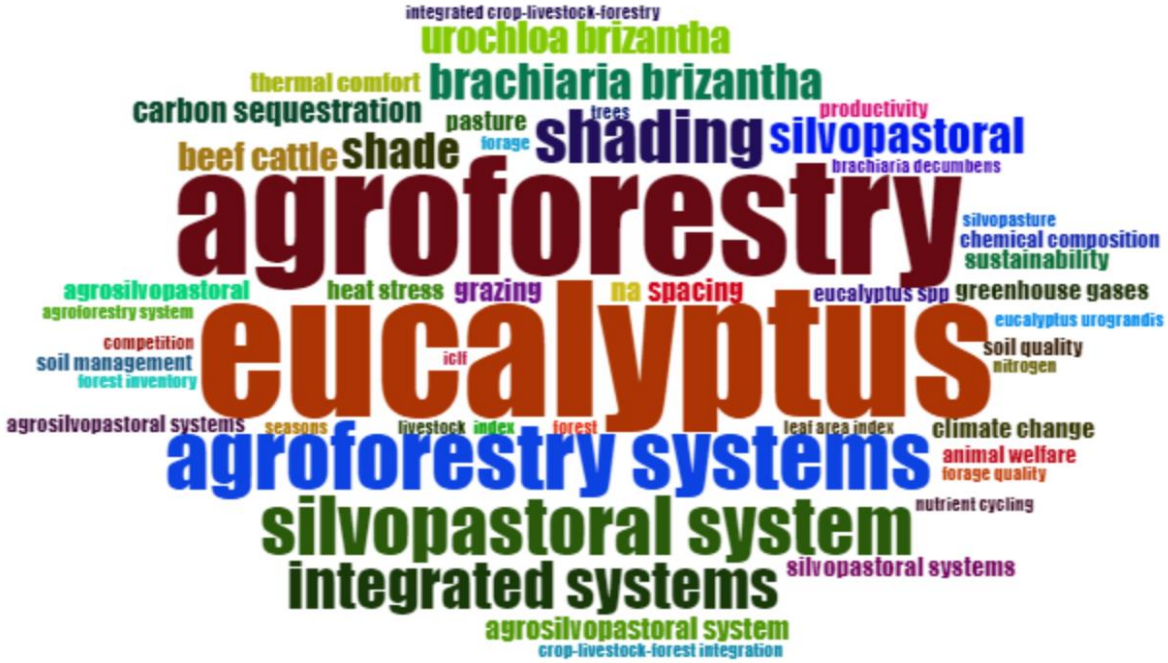

Figura 8. *Wordcloud* baseada nas palavras chave do autor de acordo com a frequência de ocorrência. Fonte: elaborado pela autora.

2.4 **Discussão**

Desde 1989 a produção científica relacionada ao tema demonstrou diferentes ritmos e frequência de publicações até o ano de 2024.

Nos primeiros anos (1989 a 2013) a produção anual média 1,8 artigos, mas podemos observar que o crescimento mais uniforme ocorre a partir do ano de 2014 quando foram registradas 12 publicações, em 2017 foram publicados 19 documentos. O pico produtivo foi no ano de 2020 com 37 publicações. A dinâmica crescente corrobora com o aumento do interesse da classe pesquisadora sobre sistemas produtivos mais sustentáveis.

Para compreender esse aumento no volume de produção precisamos entender o contexto mundial mediante aos sistemas produtivos adotados, seus impactos e projeções futuras sobre demanda alimentícia para a população mundial.

No Brasil o estabelecimento do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC, que foi elaborado em cumprimento ao decreto n° 7.390, de 9 de dezembro de 2010, regulamentando os artigos 6°, 11 e 12 da Política Nacional sobre Mudanças do Clima que foi instituída pela Lei n° 12.187, de 29 de dezembro de 2009, em parceria ente a Casa Civil da República, Ministério da Agricultura e Pecuária e Ministério do Desenvolvimento Agrário. O plano ABC foi aprovado em maio de 2011 e publicado em 2013, com proposta para ser executado entres os anos de 2010 a 2020 e contava com objetivo de implementar ações de mitigação e adaptação no setor produtivo rural buscando harmonizar o desenvolvimento sustentável e as ações de mitigação fomentando práticas e tecnologias com grande capacidade de redução das emissões dos gases de efeito estufa (GEE), contribuindo simultaneamente para ganhos produtivos e aumento na resiliência no setor agropecuário (BRASIL, 2012).

Com objetivo de recuperação de áreas de pastagens degradadas o plano ABC difundiu sua “Tecnologias” dentre as quais a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) se destaca em relação ao tema dessa pesquisa.

No contexto global a crescente preocupação com as mudanças climáticas, a alta taxa de emissão de GEE, e resiliência dos sistemas produtivos desencadearam eventos voltados para essa temática, como por exemplo, a Conferência das Partes (COPs) com ocorrência anual e início em 1995, com intuito de reunir os países membros da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do clima e buscar acordos em relação às ações de mitigação de emissões de GEEs através de discussões entre os países (Joerss, *et al*., 2021).

As variações na produção científica anual encontradas nas análises correspondem temporalmente aos eventos relacionados ao clima no Brasil e no mundo, com aumento considerável a partir de 2014, logo após a aprovação do plano ABC.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa obteve maior número de publicações com 127 documentos impulsionada pelo cenário de degradação dos solos agricultáveis com intuito de aliar o aumento da produtividade vegetal e animal coma conservação e preservação dos recursos naturais (Balbino *et al*., 2011), seguida da Universidade Estadual Paulista e Universidade de São Paulo demonstrando a importância das instituições de pesquisa brasileiras na produção global sobre os sistemas integrados produtivos.

A Embrapa é tida como referência no desenvolvimento e transferência de tecnologias, dentre as quais a ILPF se destaca com uma pesquisa com mais de 40 anos desenvolvida no Brasil e no mundo (Bungenstab *et al*., 2019), além das pesquisas sobre ILPF a Embrapa também desenvolve pesquisas com espécies do gênero *Eucalyptus* com amplo conhecimento de manejo e melhoramento genético sobre o gênero, sendo amplamente utilizado para florestas plantadas e como componente arbóreo na integração lavoura-pecuária-floresta (Melotto *et al*., 2019).

A State University System of Florida e a University of Florida se destacaram em suas produções em decorrência de suas parcerias com as Universidades federais brasileiras, como a Universidade Federal de Viçosa, ambas universidades internacionais trabalham em conjunto com instituições brasileiras e desenvolvem pesquisas na área de sistemas agroflorestais.

O Brasil se posiciona como primeiro colocado em maior número de citações com 2626 no total, enquanto o segundo colocado Estados Unidos tem apenas 118 citações, essa grande diferença se deve as instituições na país voltadas para pesquisa dos sistemas agroflorestais e aos departamentos e laboratórios das universidades públicas nos cursos da área agrária que desenvolvem muitas pesquisas e projetos relacionados ao tema.

Entre os dez autores mais produtivos o primeiro colocado é José Ricardo Macedo Pezzopane, pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste desde 2009, com 22 publicações nas áreas de agrometeorologia, manejo e produção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, simulações de impacto de cenários de mudanças climáticas globais na pecuária e caracterização ambiental, além de modelagens de produção de plantas forrageiras o que justifica sua colocação como autor mais produtivo, visto que sua área de pesquisa é convergente ao tema sistemas integrados de produção. O segundo colocado Cristiam Bosi, é Pós-Doutor em Ciências Agrárias e desenvolveu junto à Embrapa Pecuária Sudeste projetos de pesquisa relacionados a modelagem de pastagens e de sistemas integrados, modelagem Agrometeorológica, Pastagens e forragicultura, Agrometeorologia, Mudanças Climáticas,

Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. O terceiro colocado Bruno Carneiro e Pedreira atuou na Embrapa Agrossilvipastoril de 2010 a 2021, atualmente é professor associado e diretor do "Beef and Forage Center" na Universidade do Tennessee (Knoxville, TN, EUA) e professor convidado do programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso (Sinop, MT), sua pesquisa visa entender o impacto da integração lavoura-pecuária (ILP) e do manejo da pastagem na melhoria da eficiencia do uso da terra e da rentabilidade dos sistemas produtivos agropecuários. Roberto Giolo de Almeida é pesquisador da Embrapa Gado de Corte desde 2007, com suas pesquisas voltadas para manejo de pastejo, recuperação de pastagens degradadas e ILPF, atualmente é o lider da Plataforma Brasileira de Carne Bovina de Baixo Carbono. Helio Tonini atuou como pesquisador na Embrapa Roraima de 2003 a 2012 e na Embrapa Agrossilvipastoril entre 2012 e 2017, atualmente é pesquisador na Embrapa Pesuária Sul e Professor do Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada da Unipampa, suas pesquisas são na área de recursos florestais e engenharia florestal, com foco em manejo floretal em ILPF, extrativismo, produtos florestais não madeireiros e manejo de florestas plantadas e nativas. Anibal de Moraes é professor titular da Universidade Federal do Paraná(UFPR) no Departamento de fitotecniae fitosanitarismo da UFPR desde 1984, tem desenvolvido pesquisas em capacitação técnica em ILPF, manejo de pastagens e relação solo-planta-animal. Cristiana Andrighetto é professora da universidade Estadual Paulista campus Dracena e diretora da Associação Brasileira de Zootecnistas (ABZ/SP), no estado de São Paulo, suas pesquisas ocorrem na área da zootecnia com ênfase em produção de bovinos de corte em sistemas integrados de produção agropecuária. Alberto Carlos de Campos Bernardi também atua como pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste desde 1998, com enfase de pessquisa em boas práticas de manejo, tecnologias de fertilizantes, diagnose foliar, ILPF, agricultura de precisão entre outros. Ângela Maria Quintão Lana é professora titular da Universidade Federal de Minas Gerais, com a linha de pesquisa em sistemas de produção animal em ILPF. Marcelo Dias Müller é pesquisador do Centro Nacional de pesquisa de Gado de Leite – CNPGL (Embrapa Gado de Leite), com enfase de pesquisa em prototipagem de sistemas, ILPF e agrossilvicultura.

Dentre os dez pesquisadores mais produtivos, sete são filiados a Embrapa, e três são professores titulares de universidades federais, com formações em Agronomia, Zootecnia e Engenharia Florestal com especializações voltadas para desenvolvimento economico e produtivo do setor agropecuário. Muitos trabalhos contam com a colaboração entre esses autores, provavelmente pela complementariedade de conhecimento agregado por cada

pesquisador, fato que reforça a importância das intituições filiadas na produção científica global.

Cobo *et al*. (2011), destaca que o mapa de evolução temática pode detectar, aferir e entender a evolução de certas áreas do campo de pesquisa estudado, entatizando os assuntos mais proeminentes, de maior impacto e mais produtivos.

Desta maneira compreendemos que crescimento, pastagem, agrofloresta, agricultura, água, área e modelos são temas amplamente desenvolvidos e com alto impacto nas pesquisas da área.

Os termos mais próximos em grau de desenvolvimento (densidade) são crescimento, pastagem e agrofloresta, quanto ao grau de relevância (centralidade) temos emissões de gases de efeito estufa, fertilização, emissões de óxido nitroso, serrapilheira, frações, massa, plantações de espécies mistas, estoque de nitrogênio e *Eucalyptus*-grandis que apresentam grande potencial para pesquisas futuras.

Os trabalhos mais citados correspondem ao perfil de autores mail produtivos evidenciados anteriormente. Na *wordcloud* percebemos que as palavras chave, os termos de busca inicial de pesquisa, os temas motores, de nicho, básicos e emergentes ou em declínio demonstram correspondência e similaridade, o que reforça a assertividade na escolha dos termos e seleção dos documentos.

2.5 **Considerações Finais**

Verificou-se que nos últimos dez anos a produção científica sobre sistemas integrados de produção agropecuária cresceu significativamente em comparação ao período anterior, possivelmente pela emergência global de temas relacionados às mudanças do clima e pela projeção de aumento da demanda mundial por alimentos.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária juntamente com universidades federais, com destaque para as unidades das regiões sul e sudeste, protagonizaram a produção sobre a temática no contexto global.

O gênero *Eucalyptus* foi o mais citado como componente florestal nos sistemas de integração apontados pelos estudos em decorrência de suas características de adaptabilidade as condições edafoclimáticas e múltiplos usos (biomassa, energia e serraria).

Dessa forma, a compreensão do panorama global e resultados das análises bibliométricas realizadas podem colaborar no direcionamento de pesquisas e investimentos necessários para o

desenvolvimento eficiente da temática. Os resultados obtidos nesse trabalho demonstram o estado da arte e podem contribuir para novos estudos relacionados a temática aqui analisada.

2.6 **Referências**

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. de O.; STONE, L. F. Marco Referencial em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Brasília, DF: **Embrapa informação tecnológica**, 130 p, 2011. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/923530/1/balbino01.pdf. Acesso em: 05 de maio de 23.

BEHLING, M. et al. Effect Of Thinning Eucalyptus Trees on Soybean Productivity in Integrated Crop-Livestock-Forestry Systems. **Ciência Rural**, v. 53, n. 9, p. e20220202, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/a/4CjKKvrq9bSyKhCGxZXPmsx/# . Acesso em: 15 de abr. de 2023.

BUNGENSTAB, D. J. et al. ILPF: inovação com integração lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 835.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC** (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, DF, 2012. 173 p.

CALDAS, D. J. **Bioenergia e Estoque de Carbono de Clones de *Eucalyptus* Spp. em Sistema Integrado de Produção.** 2023. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2023.

COBO, M. J. et al. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. **Journal of Informetrics**, v. 5, n. 1, p. 146–166, jan. 2011.

CUNHA, T. Q. G. DA; et al. Eucalyptus Expansion in Brazil: Energy Yield in New Forest Frontiers. **Biomass and Bioenergy**, v. 144, 2021.

.IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2022**. São Paulo, 2022.

JOERSS, O; SILVA. C. R.; SANTOS, M. A. Mudanças climáticas na agenda global: O que aprendemos com as Conferências das Partes (COP) e o que está em jogo na COP 26. **Ciência & Trópico**, *[S. l.]*, v. 45, n. 2, 2021. Disponível em: https://fundaj.emnuvens.com.br/CIC/article/view/2051. Acesso em: 25 set. 2024.

MELOTTO, A. M.; LAURA, V. A.; BUNGENSTAB, D. J.; FERREIRA, A. D. Espécies florestais em sistemas de produção em integração. In D. J. BUNGENSTAB; R. G. ALMEIDA; V. A. LAURA; L. C. BALBINO; A. D. FERREIRA (Eds.), ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. ed.1. Brasília: **Embrapa**, 2019.

PEROSA, B.; NEWTON, P.; CARRER, M.J. Access to Information Affects the Adoption of Integrated Systems by Farmers in Brazil. **Land Use Policy**, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837721001824. Acesso em 25 de abril de 2023.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; LOPES, V. G.; FLORESTAL, E. Manejo Da Biomassa E Sustentabilidade Nutricional Em Povoamentos De *Eucalyptus* Spp. Em Pequenas Propriedades Rurais. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 144–156, 2019.

3. **(CAPÍTULO 2) BIOMASSA E ESTOQUE DECARBONO EM CINCO CLONES DE EUCALIPTO IMPLANTADOS EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA.**

RESUMO: O objetivo deste estudo foi quantificar a biomassa, estoque carbono e estoque de CO_2 equivalente em cinco clones de eucalipto aos cinco anos de idade plantados em sistemas de integração pecuária-floresta, IPF no município de Morrinhos – Goiás. O inventário florestal foi realizado no mês de abril de 2023, a partir do mesmo, foi realizado um ranqueamento selecionando os 5 melhores clones do melhor para o pior. Foram selecionadas 5 árvores em cada clone para serem abatidas. Após a seleção foi realizada a cubagem rigorosa do fuste de acordo com o método de Smalian seguida da coleta dos discos de madeira em todas as árvores nas posições longitudinais: 0, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Para estimativa da biomassa, foi realizada a determinação da densidade básica da madeira de cada clone. Para o cálculo da biomassa dos demais componentes foi usado um modelo de compartimentalização obtido através de levantamento bibliográfico de biomassa para clones em idade semelhante. Para obter os valores do estoque de carbono e de carbono equivalente de acordo com IPCC, foi necessário multiplicar o valor obtido da biomassa pelos fatores 0,5 e 3,67 respectivamente. Os resultados obtidos foram o acúmulo na produção média total de biomassa estimada em 139.067,00 kg/ha para o clone AS-028, 104.050,00 kg/ha para o clone GG-2808, 106.725,00 kg/ha para o clone AS-006, 128.225,00 kg/ha para o clone GG- 1069 e 111.400,00 kg/ha para o clone GG-1980. Os valores de estoque de carbono em kg/ha encontrados foram de 69.533,70 para o clone AS-028, 52.025,00 para o clone GG-2808, 53.362,50 para o clone AS-006, 64.112,50 para o clone GG-1069 e 55.700,00 para o clone GG-1980. Os valores de CO_2 equivalente encontrados em kg/ha foram de 255.188,67 para o clone AS-028, 190.931,75 para o clone GG-2808, 195.840,37 para o clone AS-006, 235.292,87 para o clone GG-1069 e 204.419,00 para o clone GG-1980.

Palavras-chave: sistema de integração pecuária-floresta, sustentabilidade, sequestro de carbono.

ABSTRACT: The aim of this study was to quantify the biomass, carbon stock and CO2 equivalent stock of five eucalyptus clones at five years of age planted in IPF systems in the municipality of Morrinhos - Goiás. The forest inventory was carried out in April 2023 and a ranking was carried out, selecting the five best clones from best to worst. Five trees from each clone were selected for felling. After selection, a rigorous cubing of the stem was carried out according to the Smalian method, followed by the collection of wood disks from all the trees in the longitudinal positions: 0, DBH, 25%, 50%, 75% and 100% of commercial height. To estimate biomass, the basic wood density of each clone was determined. To calculate the biomass of the other components, a compartmentalization model obtained from a bibliographic survey of biomass for clones at a similar age was used. To obtain the carbon stock and carbon equivalent values according to the IPCC, it was necessary to multiply the biomass value obtained by the factors 0.5 and 3.67 respectively. The results obtained were the accumulation in total average biomass production estimated at 139,067.00 kg/ha for clone AS-028, 104,050.00 kg/ha for clone GG-2808, 106,725.00 kg/ha for clone AS-006, 128,225.00 kg/ha for clone GG- 1069 and 111,400.00 kg/ha for clone GG-1980. The carbon stock values in kg/ha found were 69,533.70 for clone AS-028, 52,025.00 for clone GG-2808, 53,362.50 for clone AS-006, 64,112.50 for clone GG-1069 and 55,700.00 for clone GG-1980. The CO2 equivalent

values found in kg/ha were 255,188.67 for clone AS-028, 190,931.75 for clone GG-2808, 195,840.37 for clone AS-006, 235,292.87 for clone GG-1069 and 204,419.00 for clone GG-1980.

Key-words**:** livestock-forest integration system, sustainability, carbon sequestration.

3.1 **Introdução**

Os produtos derivados de árvores cultivadas estão experimentando uma crescente demanda pela sociedade, o que tem motivado investimentos e o desenvolvimento no setor florestal de base. Estimam-se um total de 9,5 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 77,3% correspondem ao cultivo de eucalipto, ou seja aproximadamente 7,3 milhões de hectares. A Produção da extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS 2022, aponta que a produção florestal atingiu um valor de R$ 33,7 bilhões com de aumento de 11,9% em relação à 2021, com destaque para a silvicultura que apresentou o valor de R$ 27,4 bilhões, correspondendo a 81,5% do total e com aumento de 14,9% em relação ao ano anterior, demonstrando a importância e o contínuo crescimento do setor florestal para o agronegócio brasileiro. A região Sudeste se consolidou como a maior área de plantios comerciais de árvores no Brasil, com 3,6 milhões de hectares (38,1%), enquanto a região Sul registra 3,0 milhões de hectares (32,0%), somando 70,1% da área total plantada no país. No ano de 2022, houve registro de aumento de 0,1% nas áreas de plantio (8,1 mil ha), que ocorreram apenas nas regiões Sudeste (0,4%) e Centro-Oeste (5,5%) (IBGE, 2022).

Nesse contexto, o segmento de biomassa florestal está emergindo como um ator de destaque para atender às necessidades energéticas, sendo reconhecido como uma fonte renovável crucial. De acordo com Brown (1997) e Sanquetta (2002), podemos definir o termo biomassa como matéria de origem biológica , viva ou morta, vegetal ou animal, com relação as florestas também pose ser chamada de fitomassa, referindo-se a biomassa de origem vegetal que pode significar toda a massa existente nas florestas ou em algum de seus compartimentos. O gênero *Eucalyptus* tem se destacado como a espécie mais amplamente plantada, devido ao seu rápido crescimento em comparação com outras espécies, e às características favoráveis de rendimento energético de sua madeira (Cunha, *et. al*., 2021).

A produção/acumulação de biomassa é influenciada por fatores edafoclimáticos como luz, temperatura, precipitação, concentração de CO_2 (dióxido de carbono), estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos na lâmina foliar, teor de clorofila e acumulação de carboidratos principais que afetam a fotossíntese e respiração (Kramer; Kozlowski, 1972; Vogel, 2013). As plantas superiores necessitam de luz solar, CO_2, O_2 (oxigênio), água e elementos minerais como: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, cloro, ferro, manganês, molibdênio, zinco, níquel, etc. para se desenvolverem e acumularem biomassa (Haag, 1987).

No desenvolvimento inicial de uma floresta a biomassa produzida é proveniente em grande parte dos carboidratos e direcionada principalmente para a copa (Andrae, 1978), gradualmente com o crescimento a biomassa se direciona para a madeira e casca representando de acordo com Schumacher & Hoppe, (1997) em média 80% da biomassa acima do solo em povoamentos maduros, enquanto a o crescimento da copa diminui.

De acordo com Reis *et al*., (1985), a proporção de biomassa e nutrientes contidos na madeira do tronco vai depender do tipo de solo, a densidade populacional e a espécie vegetal. Em áreas de solo de melhor qualidade, foram observados pelos pesquisadores que a madeira representa cerca de 60% da biomassa total da árvore, enquanto em áreas de menor qualidade, a madeira compõe apenas aproximadamente 45% da biomassa total.

A produção da biomassa acima do solo é influenciada pelos fatores ambientais bióticos e abióticos e depende das condições edafoclimáticas do povoamento ou plantio florestal, também pode ser influenciada pelo uso racional de fertilizantes visando promover sistemas de produção mais sustentáveis (Da Silva, 2023).

Sanquetta *et. al*., (2018), aponta que o interesse em quantificação de biomassa florestal, principalmente pelo potencial de estocagem de carbono atmosférico por muitos pesquisadores tem sido crescente em virtude do importante papel das florestas no ciclo mundial do carbono. Interesse que pode ser relacionado à crescente taxa de emissões de gases do efeito estufa (GEE's) no cenário global.

O carbono tem seu ciclo fechado e interconectado por cinco principais reservatórios: oceânico (38.000 Pg), geológico (4.130 Pg), pedológico (2.500 Pg), biótico (560 Pg) e atmosférico (760 Pg), (1 Petagrama (Pg) equivale a 1 bilhão de toneladas), apesar de registrarem os maiores reservatórios de C no globo terrestre, os oceanos, rochas sedimentares e combustíveis fósseis só retorna à atmosfera na escala geológica de tempo (milhares, milhões e bilhões de anos) através de erosão, extração ou vulcanismo, sendo conhecido como ciclo lento do carbono, enquanto o fluxo de C entre solo, biosfera e atmosfera formam o chamado ciclo rápido do carbono principalmente devido aos processos biológicos decomposição de resíduos orgânicos e a respiração de organismos e do sistema radicular das plantas (Carvalho *et al*., 2010; Lal, 2008; Silva, 2005).

Segundo Amorim (2021) a retirada de CO_2 da atmosfera tem sido denominada "sequestro de carbono", tendo o gás carbônico (CO_2) como um dos principais gases do efeito estufa, os plantios florestais funcionaram de acordo com o autor, como sumidouros, consistindo numa forma de combater ou mitigar o aquecimento da atmosfera.

As espécies do gênero *Eucalyptus* em função de seu rápido crescimento e alta produtividade obtém grande potencial mitigador pela fixação do carbono atmosférico em sua biomassa (Saldanha, 2023), tornado os plantios comerciais, os SAFs e plantios em sistemas integrados potenciais sumidouros de carbono, podendo reduzir e compensar de acordo com Gomes *et. al*., (2020), as emissões de gases de efeito estufa provenientes do setor agrícola no país. Esses sistemas a exemplo do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta e suas variações surgem nesse contexto como alternativa aos sistemas convencionais de produção agropecuária no Brasil, conceitualmente a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é definida como:

> Uma estratégia que visa a produção sustentável por meio da integração das atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, comtemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (Balbino, *et. al*., 2011a).

A ILPF integra sistemas diversos de produção, de origem vegetal e animal, que buscam otimizar os ciclos biológicos dos componentes do sistema, além do uso racional de insumos e tratamento adequado dos resíduos de produção, visando a adequação ambiental. Esse sistema tem se expandido principalmente na produção de grãos, fibras, energia, florestas e animais, com diferença entre as regiões onde são implantadas. A ILPF é considerada ambientalmente correta e tecnicamente eficiente, desde que bem conduzidas e de grande importância para recuperação de áreas degradadas (pastagem ou lavoura), partindo da premissa de implantação apenas em condições edafoclimáticas favoráveis (Balbino *et. al*., 2019). Podem ser implantadas em diversos arranjos, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), integração pecuária-floresta (IPF), integração lavoura-floresta (ILF) e integração lavoura-pecuária (ILP).

Diante disso, este estudo teve como objetivo quantificar a biomassa, estoque de carbono e CO_2 equivalente em cinco clones de eucalipto aos cinco anos de idade plantados em sistema de integração pecuária-floresta (IPF), no município de Morrinhos – Goiás.

3.2 **Material e Métodos**

3.2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudos está localizada no Instituto Federal Goiano, Câmpus Morrinhos, no município de Morrinhos, que está localizado no estado de Goiás, na região Centro-Oeste do país. Trata-se de uma URT - Unidade de Referência Tecnológica, que faz divisa com as cidades

de Rio Quente, Aloândia e Goiatuba, também localizadas no estado de Goiás. Com uma abrangência territorial de 2.846,2 km², possui as seguintes coordenadas geográficas: Latitude-Sul: 17° 43' 16", Longitude-Oeste: 49° 6' 29" (CIDADE-BRASIL, 2016) (Figura 1). Morrinhos possui clima tropical. No verão o volume pluviométrico é maior que no inverno. Em dezembro ocorre o maior volume de precipitação, com uma média de 257 mm. Enquanto no mês de julho considerado o mais seco essa média é de apenas 4 mm. De acordo com Köppen e Geiger a classificação do clima é Aw – sendo tropical úmido, com duas estações bem definidas, seca no inverno e úmida no verão. Em Morrinhos, a temperatura média anual é de 23.4 °C. A média anual de pluviosidade é de 1352 mm. Localizado numa zona temperada, o mês mais quente do ano é outubro com uma temperatura média de 25.8 °C. A temperatura mais baixa de todo o ano ocorre no mês de junho, onde a temperatura média é 21.2 °C (Climate-data, 2024). O solo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos é caracterizado como um Latossolo Vermelho distrófico (Santos *et al*., 2013).

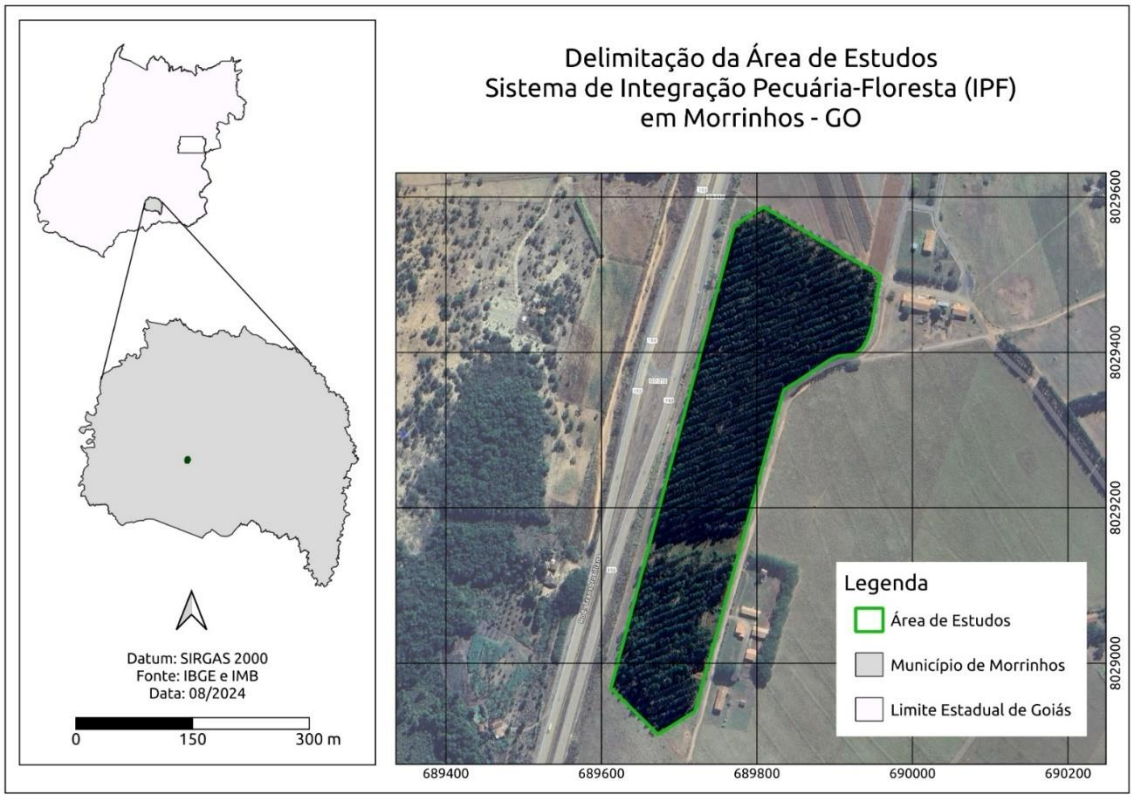

Figura 1. Localização da área de estudos no município Morrinhos, Goiás. Fonte: elaborado pela autora.

A pesquisa foi realizada em área de teste clonal de eucalipto com plantio de aproximadamente 5 anos de idade, implementado em 2018, com área de 10 hectares, em altitude de 771 m.

O plantio está disposto em linha simples com espaçamento entre plantas de 4 metros e entre renques espaçamento de 10 metros com presença de pastagem, a densidade de 250 plantas/ha. A seguir uma representação da disposição e dos componentes do plantio (Figura 2).

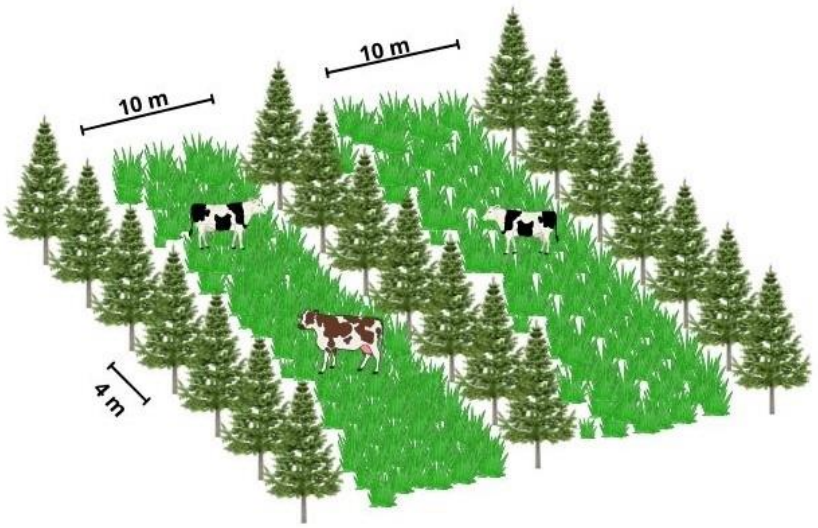

Figura 2. Representação do arranjo espacial do sistema IPF. Fonte: Elaborado pela autora.

Na área de estudos (figura 3), foi realizado pelos pesquisadores da Embrapa Florestas, um ranqueamento de todos os clones, pois trata-se de um teste clonal, o critério de classificação foi produção de volume de madeira do fuste (do maior para o menor volume).

Figura 3. Área do estudo localizada no campus do Instituto Federal Goiano, Morrinhos/GO. Fonte: Francine Calil.

De acordo com essa classificação, os 5 melhores clones foram selecionados para o estudo, na Tabela 2.1, logo abaixo está descrito a posição de cada clone e suas respectivas composições.

Tabela 2.1. Clones selecionados em ordem de ranqueamento e composição.

	CLONE	**COMPOSIÇÃO**
1°	AS-028	*E. urophylla* x *E. grandis*
2°	GG-2808	*E. urophylla* x *E. grandis*
3°	AS-006	*E. urophylla* – híbrido
4°	GG-1069	*E. urophylla* x *E. grandis*
5°	GG-1980	*E. urophylla* x *E. grandis*

Fonte: A autora.

3.2.2 Coleta de dados

Na área de estudos, caracterizada acima, foi realizado o inventário florestal no mês de abril de 2023, quando o plantio apresentava idade aproximada de 5 anos juntamente com ranqueamento de todos os clones dentre os quais foram selecionados os cinco primeiros clones, como critério de ranqueamento foi estabelecido maior volume de madeira do fuste.

Foram selecionados 5 árvores de cada clone, abatidas e logo após o corte foi realizado a cubagem rigorosa do fuste das árvores pelo método desenvolvido por Smalian, que consiste em mensurar o tronco já sem galhos, em seções (toras) medindo 1 metro (Figura 4), as medidas dos diâmetros da base e do topo de cada tora mais o comprimento são usados para calcular o volume de cada seção, a partir da média das áreas transversais superior e inferior de cada seção, dividindo por 2, e por fim multiplicando pela altura da seção, para encontrar o valor total de volume para cada arvore somam-se todas seções de acordo com a metodologia de (Velozo, 2021), as medidas de diâmetro foram feitas com a casca.

As equações abaixo foram utilizadas para cálculo de volume da biomassa onde A_1 representa a área transversal inferior, A_2 representa a área transversal superior e h representa a altura da seção. Na segunda equação o volume total é calculado através da soma dos fatores V_1+V_n.

$$V_1 = (A_1+A_2/2)*h$$

A1 – área transversal inferior

A2 – área transversal superior

h – altura da secção

$$V_{total} = V_1+ V_2 + ... + V_n$$

Figura 4. Altura total do tronco medida com auxílio de uma trena(A), corte das secções ao longo do fuste (B e C), nos clones de estudo abatidos, área de estudos, Morrinhos – GO. Fonte: A autora.

Foram retirados discos em 6 posições: base, DAP (diâmetro na altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 6 cm) para realização de análises energéticas e determinação da densidade básica da madeira como podemos visualizar a seguir (Figuras 5 e 6).

Figura 5. Medidas de diâmetro e DAP realizadas ao longo do tronco com auxílio de uma suta, área de estudos, Morrinhos – GO. Fonte: Daniella Gomes.

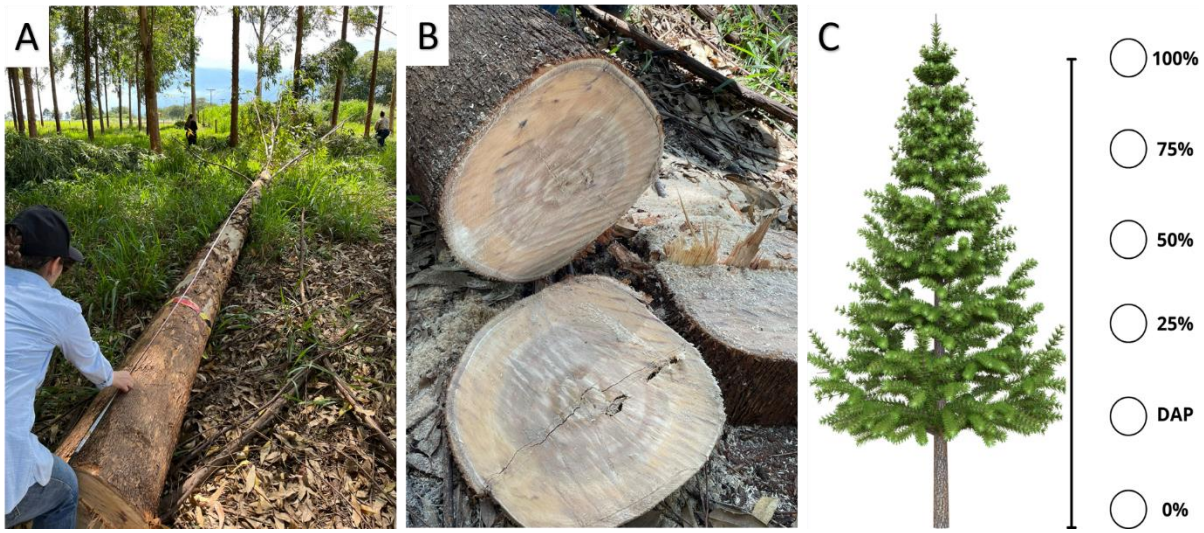

Figura 6. Cubagem (A), retirada dos discos de madeira (B) e posições longitudinais de retirada dos discos de madeira, até altura comercial. Fonte: A autora.

3.2.3 Determinação da densidade básica da madeira

A densidade da madeira é descrita por Moreschi, (2010), como a quantidade de massa do material lenhoso por unidade de volume, sua formação está relacionada diretamente aos elementos anatômicos que compõem a madeira. A variação da densidade básica da madeira pode ocorrer conforme a natureza da espécie, até mesmo dentro do próprio individuo, podendo haver influência dos fatores ambientais e tratos silviculturais, por esse motivo ela é vista como uma característica complexa na madeira (Castro *et. al.*, 2019; Oliveira, 2020).

Os discos de madeira foram encaminhados para o Laboratório de Biomassa e Qualidade da Madeira da Universidade Federal de Goiás, onde foram separados da casca e seccionados em 4 cunhas, exceto os discos de 100% da altura comercial. Para determinar a densidade básica da madeira sem casca (DB, kg m^{-3}), foram utilizadas duas cunhas por posição mais o disco de 100% da altura comercial, totalizando 55 amostras por clone

A partir do peso seco, amostras permaneceram por 48 horas em temperatura de 103° C, e peso saturado de cada cunha (colocada em água até o preenchimento total) através do método hidrostático a densidade básica foi obtida de acordo NBR 11941 (ABNT, 2003). A média aritmética por árvore, cinco repetições (árvores) foram usadas para determinar a densidade básica média por clone.

3.2.4. Compartimentalização e estimativa de biomassa

De acordo com Oliveira (2020), a biomassa florestal oferece importantes conhecimentos sobre a dinâmica desses ecossistemas, principalmente nas áreas de manejo florestal e clima.

A produção de biomassa florestal pode variar severamente em consequência da disponibilidade dos recursos no sítio, influenciando a fotossíntese, a compartimentalização da biomassa e carbono, respiração, produção de folhas, etc. (Ryan; Stape; Fonseca, 2010). Para Schumacher, Witschoreck e Calil, (2011) e Tolosana *et al.*, (2014), a disponibilidade da biomassa, bem como sua distribuição nas frações da árvore dependem da espécie, idade, características edafoclimáticas e manejo aplicado ao plantio.

Para o cálculo da biomassa dos compartimentos casca, galhos e folhas, foi aplicado um modelo de compartimentalização das árvores baseado na literatura, utilizando os valores encontrados para a biomassa da madeira (volume x densidade). Considerando a dificuldade de realização de compartimentalização das árvores abatidas a campo, foi utilizada as porcentagens de compartimentalização adotadas por Velozo, (2021), sendo: casca = 9,9%, folha = 7,5% e galho = 11,2%, dada a biomassa de 71,4% encontrada para a madeira. Amostras de galho, folha e casca dos clones coletadas no campo (Figura 7).

Figura 7. Amostras de folha (A), galho (B) e casca (C) coletadas na área de estudos. Fonte: A autora.

A estimativa da biomassa foi calculada após a obtenção do valor da densidade básica da madeira e do volume, por meio da equação (1) a seguir:

$$B = V\ (m^3) \times \text{Densidade}\ (kg/m^3) \ > B = V \times \text{Densidade em kg}$$

B = Biomassa

V= volume médio/árvore

Densidade básica da madeira

Para alocação de carbono o relatório do IPCC, 2001 aponta 0,5 como fator que deve ser utilizado para a estimativa de carbono, o que significa que aproximadamente 50% da biomassa da árvore é carbono C (equação 2), O carbono equivalente ($CO_{2\ eq}$) foi calculado a partir da equação 3, onde uma tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas (t) de CO_2 obtido em razão dos pesos moleculares do carbono e do CO_2, de 12 / 44 (Rügnitz *et al*., 2009).

Equação 2: C (kg) = B x 0,5

C= carbono

B= biomassa

0,5= fator IPCC

Equação 3: $Co_{2\ eq}$ = C x 3,67

CO2 eq= Carbono equivalente

C = carbono

3,67 = Referência de Rügnitz *et al*., 2009.

3.3 **Resultados e Discussão**

3.4 **Biomassa no componente arbóreo**

A biomassa acumulada na madeira dos clones estudados foi obtida através do produto entre volume e a densidade, e a partir do resultado foi aplicado modelo de compartimentalização encontrado através de levantamento bibliográfico por Velozo (2021), onde a madeira corresponde em média a 71,4% da biomassa total acima do solo, as proporções encontradas para as frações folha, galho e casca foram 7,5%, 11,2% e 9,9 respectivamente.

Na tabela 2.2, é possível verificar os valores referentes a biomassa média acumulada (kg/árvore) para os clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG1069 e GG-1980 nas frações madeira, galho, folha, casca e total por árvore.

Tabela 2.2. Biomassa média total (kg/árvore) e por fração para os 5 clones estudados, Morrinhos - Go.

CLONE	VOLUME MÉDIO/ ÁRVORE (m^3)	DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA kg/m^3	BIOMASSA				
			Madeira	Galho	Folha	Casca	Total
			kg/árvore				
AS-028	0,909	437,00	397,20	62,30	41,70	55,07	**556,30**
GG-2808	0,764	389,00	297,20	46,61	31,21	41,26	**416,20**
AS-006	0,731	417,00	304,82	47,81	32,01	42,26	**426,90**
GG-1069	0,805	455,00	366,27	57,45	38,47	50,78	**512,90**
GG-1980	0,740	430,00	318,20	49,91	33,42	44,11	**445,60**

Fonte: A autora.
* Composição dos clones: AS 028 (*E. urophylla* x *E. grandis)*, GG 2808 (*E. urophylla* x *E. grandis)*, AS 006 (*E. urophylla* – híbrido*)*, GG 1069 (*E. urophylla* x *E. grandis)*, GG 1980 e *(E. urophylla* x *E. grandis).*

Observa-se que o clone AS-028 apresentou maior volume de biomassa total média (valores convertidos em Mg ha^{-1}) entre os cinco clones estudados, o valor obtido foi de 139,067 Mg ha^{-1}, o clone GG-2808 apresentou o menor valor, sendo de 104,05 Mg ha^{-1}.

Para a biomassa da fração madeira o maior valor obtido foi de 99,3 Mg ha^{-1} para o clone AS-028, enquanto o clone GG-2808 obteve o menor valor que foi de 74,3 Mg ha^{-1}. A sequência de alocação de biomassa nos compartimentos para os cinco clones de eucalipto neste trabalho foi madeira (71,4%) > galho (11,2%) > casca (9,9%) > folha (7,5%).

Em estudo de Wink *et. al.*, (2018) com o clone H13 (*Eucalyptus grandis x E. urophylla*) aos 5 anos de idade, cultivado em sistema agrossilvipastoril, no município de Nova Canaã do Norte - MT, a biomassa média total obtida foi de 123,11 Mg ha^{-1}, apresentando 74,84% na fração madeira, 12,73% de casca, 6,93% de galhos grossos e 5,5% de biomassa residual (galhos finos e folhas), valores correspondentes aos verificados no presente estudo.

No estudo de Velozo (2021), com os clones AEC-2034 ((*Eucalyptus camaldulensis x E. grandis*) *x E. urophylla*)), AEC-2111 (*E. urophylla x (E. camaldulensis x E. grandis*)), AEC-007 (*E. toreliana x E. citriodora*) e o AEC-043 (*E. citriodora x E. toreliana*), realizado na Fazenda Macaúba, no município de Inaciolândia – GO, aos 4,5 anos de idade, com 413 árvores vivas por hectare, verificou-se que o maior volume de biomassa total média foi de 61,83 Mg ha^{-1} do clone AEC-0043 com sequência de acumulação de biomassa nos compartimentos madeira > galho > casca > folha. Valores inferiores aos encontrados neste estudo.

Yukimitu (2023), em seu estudo sobre biomassa e nutrientes no fuste e folhas de eucalipto em resposta ao manejo da adubação na região do Bolsão de Mato Grosso do Sul, Bioma Cerrado, em plantio monoespecífico contendo o material genético I144 (híbrido comercial de

Eucalyptus urophylla) aos 6,2 anos de idade apresentou os resultados correspondentes de 121,14 Mg ha^{-1} para as árvores com adubação operacional e 137,19 Mg ha^{-1} com adubação suplementar, com a sequência de volume de biomassa encontrada sendo lenho (80-81%) > casca (9-11%) > galho (6-7%) > folha (2-3%).

No ano de 2015, Coelho Júnior, apresentou seu estudo desenvolvido em sistema integrado lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na fazenda Boa Vereda no município de Cachoeira Dourada, Goiás, resultados semelhantes apesar da diferença na densidade do plantio que foi de 668 árvores vivas por/ha, com *E. urograndis* aos 5 anos de idade. A produtividade de biomassa total obtida foi de 144,35 Mg ha^{-1}, e de 114,25 Mg ha^{-1} de madeira, a ordem de produção de biomassa acima do solo encontrada no estudo foi madeira (79,14%) > galhos (9,69%) > casca (8,13%) > folha (3,02%).

Resultados semelhantes em plantio puro obtidos por Guimarães (2014), que encontrou em seu estudo sobre biomassa e nutrientes com *E. urograndis,* (espaçamento 3,5 x 2,5m) *E. grandis e E. dunni* (espaçamento 3,5 x 2,0m) valores de biomassa acima do solo (sem raiz) 134,7 Mg ha^{-1}, 116,6 Mg ha^{-1} e 108,4 Mg ha^{-1}, respectivamente aos 4,5 anos de idade no bioma Pampa com a seguinte ordem de alocação de biomassa madeira do tronco > galho > casca do tronco > folha.

Garlet (2021), em sua pesquisa sobre o balaço nutricional e sustentabilidade da produtividade de plantios de *E. dunni* em plantio monoespecífico com densidade de 1336 plantas/ha, o total de biomassa acima do solo encontrado foi de 256,2 Mg ha^{-1} aos 11 anos de idade com distribuição na seguinte ordem lenho do fuste > casca > galhos > folhas, na qual a soma dos compartimentos lenho do fuste e casca representou 91,6% da biomassa total.

A variação no volume de produção da biomassa no componente arbóreo pode ser descrita como resultado das diferenças edafoclimáticas entre os povoamentos florestais, fatores como luz, concentração de CO_2 na atmosfera, temperatura, estrutura e disposição das folhas na copa, distribuição e comportamentos dos estômatos, acumulação de carboidratos e teor de clorofila podem afetar a fotossíntese e a respiração, mesmo em ambientes semelhantes, a questão nutricional, manejo, material genético escolhido e variações entre os plantios pode resultar em diferenças na produtividade. De acordo com Reis *et al*., (1985), o tipo de solo, densidade populacional e espécie influencia na proporção de biomassa e nutrientes na madeira do fuste, a proporção de biomassa de madeira pode alcançar 60% do total em sítios com melhor qualidade, enquanto em sítios com pior qualidade a madeira constitui apenas 45% da biomassa total (Kramer & Kozlowski, 1972; Vogel, 2013).

A maior concentração de biomassa acumulada foi na fração madeira, a distribuição da biomassa acima do solo nos compartimentos da planta geralmente segue a ordem: lenho do fuste > galho > casca > folhas. Mesma ordem encontrada para o presente estudo (Curlin, 1970; Caldeira et. al., 2007; Schumacher e Caldeira, 2001).

A explicação para essa distribuição de biomassa nas diferentes frações ao longo do crescimento dos povoamentos florestais segundo Gonçalves *et.al*., (2000) se deve as diferentes fases nutricionais das árvores.

A produção do lenho aumenta após o fechamento das copas nos plantios florestais, conforme o aumento da idade, a porcentagem de folhas diminui como resultado da movimentação de boa parte dos carboidratos principais que são direcionados das folhas para o lenho (Andrae, 1978; Schumacher e Caldeira, 2001).

A produtividade de biomassa acima do solo obtida pelo sistema IPF estudado se mostrou relevante mesmo diante da produtividade dos plantios homogêneos citados, sendo comparáveis aos resultados do povoamento de I144 (híbrido comercial de *Eucalyptus urophylla*) aos 6,2 anos de idade (Yukimitu, 2023). A autora encontrou os seguintes valores de biomassa 121,14 Mg ha^{-1} para as árvores com adubação operacional e 137,19 Mg ha^{-1} com adubação suplementar, sendo o lenho o compartimento com maior valor (80-81%) de biomassa. Produtividade semelhante aos plantios puros de *E. urograndis* (1142 plantas/ha^{-1}), *E. grandis e E. dunni* (1428 planta/ha-^{1}), valores de biomassa acima do solo 134,7 Mg ha^{-1}, 116,6 Mg ha^{-1} e 108,4 Mg ha^{-1}, respectivamente aos 4,5 anos de idade (Guimarães, 2014). No entanto, assim como esperado em comparação ao plantio monoespecífico de *E. dunni* aos 11 anos de idade por Garlet, (2021), tanto o valor encontrado para biomassa quanto a proporção dos compartimentos madeira do fuste + casca (biomassa foi de 256,2 Mg ha^{-1} onde a madeira do fuste e casca representa 91,6% do total) foram maiores que os valores de biomassa 139,00 Mg/ha e soma dos compartimentos madeira + casca de 82,6% encontrados para o IPF estudado, aos 5 anos de idade.

3.5 **Estoque de carbono e CO_2 equivalente**

Na tabela 2.3, estão apresentados os dados de biomassa, estoque de carbono e CO_2 equivalente (kg ha^{-1}) nos clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980.

Tabela 2.3. Biomassa média acumulada, estoque de carbono e estoque de carbono equivalente (kg ha^{-1}) para os cinco clones estudados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), no município de Morrinhos – GO.

	BIOMASSA, CARBONO E CO_{2eq}				
	MADEIRA	GALHO	FOLHA	CASCA	TOTAL
			kg/ha^{-1}		
AS-028	99.300,00	15.575,00	10.425,00	13.767,00	**139.067,00**
E. carbono	49.650,00	7.787,50	5.212,50	6.883,70	**69.533,70**
$CO_{2\ eq}$	182.215,50	28.580,12	19.129,80	225.263,30	**255.188,67**
GG-2808	74.300,00	11.652,50	7.802,50	10.300,00	**104.050,00**
E. carbono	37.150,00	5.826,25	3.901,25	5.150,00	**52.025,00**
$CO_{2\ eq}$	136.340,50	21.382,33	14.317,58	18.900,50	**190.931,75**
AS-006	76.205,00	11.952,50	8.002,50	10.565,00	**106.725,00**
E. carbono	38.102,50	5.976,25	4.001,25	5.282,50	**53.362,50**
$CO_{2\ eq}$	139.836,17	21.932,83	14.684,58	19.386,77	**195.840,37**
GG-1069	91.567,00	14.362,50	9.617,50	12.695,00	**128.225,00**
E. carbono	45.783,75	7.181,25	4.808,75	6.347,50	**64.112,50**
$CO_{2\ eq}$	168.026,36	26.355,18	17.648,11	23.295,32	**235.292,87**
GG-1980	79.550,00	12.477,50	8.355,00	11.027,50	**111.400,00**
E. carbono	39.775,00	6.238,75	4.177,50	5.513,75	**55.700,00**
$CO_{2\ eq}$	145.974,25	22.896,21	15.331,42	20.235,46	**204.419,00**

Fonte: A autora.

Após 5 anos de plantio, os estoques de carbono para os cinco clones apresentados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), em Mg ha^{-1} foram de 69,53, 52,02, 53,36, 64,11, e 55,70 respectivamente, com estoque de carbono equivalente de 255,18, 190,93, 195,84, 235,29, 204,41 Mg ha^{-1} respectivamente.

A capacidade de alocação para todo o plantio de acordo com os valores obtidos para o estoque de carbono nos clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980 foram de 695,3, 520,2, 533,6, 641,1 e 557,0 Mg ha^{-1} respectivamente, e para o estoque do carbono equivalente a capacidade foi de 2.551,8, 1.909,3, 1.958,4, 2.352,9 e 2.044,1 Mg ha^{-1} respectivamente.

Silva (2021), encontrou em seu estudo desenvolvido em sistema de integração pecuária-floresta com os clones AEC-043 aos 3 anos de idade e AEC-2034 aos 2 anos de idade 6,77 Mg ha e 3,79 Mg ha^{-1} de estoque de carbono e 24,83 Mg ha^{-1}, e 13,90 Mg ha^{-1} de estoque de CO_2 equivalente, a diferença entre os estoques de carbono e CO_2 equivalente com o presente estudo se deve principalmente pela idade dos plantios, considerando que no crescimento inicial os povoamentos florestais direcionam os carboidratos principais para o crescimento da copa em detrimento do lenho do fuste (Gonçalves *et al*., 2000; Schumacher e Caldeira, 2001).

Caldas (2023), em seu estudo no capítulo sobre de avaliação do potencial de mitigação de $CO_{2\ eq}$ por clones de *Eucalyptus* spp. em sistema integrado de produção na fazenda Macaúba

no município de Inaciolândia, GO, com os clones AEC-2034, AEC-2111, AEC- 007 e AEC-0043 aos 4,5 anos de idade obteve o maior valor médio de estoque de carbono e CO_2 equivalente no clone AEC-0043, com 30,9 e 113,5 Mg ha^{-1} respectivamente, e o clone AEC-007 atingiu o menor valor para estoque de carbono e estoque de CO_2 equivalente com 18,6 e 68,2 Mg ha^{-1} respectivamente. Valores inferiores aos encontrados neste estudo, o que pode ser decorrente das diferenças entre os povoamentos florestais.

No estudo de Lacerda (2022) que trata sobre o plantio de eucalipto e o serviço ecossistêmico de captura e armazenamento de carbono no município de Goiânia, GO em plantio monoespecífico com material i144 superclone de *Eucalyptus* spp. e densidade de 1268 árvores por hectare, os valores encontrados para estoque de carbono e CO_2 equivalente foram de 108,44 e 397,96 Mg ha^{-1} respectivamente. Valores acima dos encontrados neste estudo, ocasionado possivelmente, pela alta densidade populacional no povoamento.

Em um estudo realizado por De Lacerda *et. al*., (2009) com plantios de restauração florestal com árvores nativas no estado de São Paulo nos municípios de Ibaté, Valparaíso, Guaraçaí e Penápolis com idades entre 2 e 7 anos, obteve um resultado médio de estoque de carbono e CO_2 equivalente de 19,46 e 71,37 Mg ha^{-1} para os plantios respectivamente, em relação à alocação de carbono, o plantio florestal de eucalipto analisado neste estudo bem como os demais citados indicam maior alocação de carbono e consequentemente de CO_2 equivalente em povoamentos comerciais de eucalipto.

De acordo com Wu *et al*., (2018) mais de 80% do carbono acima do solo é produzido pelos ecossistemas florestais, o que demonstra a importância dos estudos que quantificam e qualificam tanto a biomassa quanto carbono nos plantios florestais. Espécies do gênero *Eucalyptus* em função do rápido crescimento e elevada produtividade se destacam na alocação do carbono atmosférico, o que justifica o crescente interesse em estudar a capacidade das florestas plantadas em remover o dióxido de carbono da atmosfera e alocar em sua biomassa (Caldeira *et al*., 2015; Oliveira *et al.,* 2020).

3.6 **Considerações finais**

O clone AS-028 possui o maior potencial de produção de biomassa, principalmente no lenho do fuste que é a fração mais importante do ponto de vista produtivo, consequentemente possui maior potencial de alocação de carbono em sua biomassa.

Todos os 5 clones apresentaram alto potencial mitigador de carbono e CO_2 equivalente.

Todos os clones estudados apresentaram produtividade similares aos estudos encontrados na literatura, inclusive em comparação aos plantios puros com alta densidade populacional, porém deve-se levar em conta a baixa densidade do povoamento, pois dada a produtividade por árvore, o plantio demonstra capacidade de aumento na produtividade em caso de aumento no número de árvores por hectare.

3.7 **Referências**

AMORIM, V. et al. Os benefícios ambientais do plantio de eucalipto: revisão de literatura. **Research, Society and Development**. v. 10, p. e318101119604. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354377963_Os_beneficios_ambientais_do_plantio_de_eucalipto_revisao_de_literatura. Acesso em: 22 de jul. de 2024.

ANDRAE, F. H. **Ecologia Florestal**. Santa Maria: UFSM, 1978. 230 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: madeira, determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco Referencial: integração lavoura-pecuária-floresta.** Brasília, DF: Embrapa, 2011a. 130 p.

BALBINO, L. C.; KICHEL, A. N. (in memoriam); BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. Sistemas de integração: conceitos, considerações, contribuições e desafios. In: BUNGENSTAB et al., (ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap.1. p.31-48. 2019.

BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. **FAO - Forestry paper - Forest Resources Assessment.** 1997. 58 p

CALDAS, D. J. **Bioenergia e estoque de carbono de clones de Eucalyptus spp. em sistema integrado de produção**. 2023. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2023.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes- Floresta Ombrófila Mista Montana- Paraná. **Revista Acadêmica.** v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; VIEIRA, M.; BALDINOT, R.; CASTRO, K. C. Biomassa e carbono orgânico em povoamentos de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze. **Ciência Florestal**. v. 25, n. 4, 2015.

CALIL, F. N.; VIERA, M; SCHUMACHER, M. V.; LOPES, V. G.; WITSCHORECK, R. Biomassa e nutrientes em sistema agrossilvicultural no extremo sul do Brasil. **Ecologia e Nutrição Florestal**. v. 1, n. 2, p. 80-88, out. 2013.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de Sequestro de carbono em diferentes Biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 277-289, 2010.

CASTRO, V. G.; PARCHEN, C. F. A.; IWAKIRI, S. **Produção de compósitos madeira-cimento de baixa densidade pelo método vibro-dinâmico de compactação**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 24, n. 2, 2019.

CLIMATE- DATA.ORG. **Acompanhamento do clima**. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/morrinhos-43441/. Acesso em: 21 julho, 2024.

COELHO JÚNIOR, J. M. L. P. **Biomassa e volumetria de híbridos de Eucalyptus Urograndis em sistema de integração lavoura-pecuária floresta (ILPF) na região sul de Goiás**. 2015. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

CUNHA, T. Q. G. DA; SANTOS, A. C.; NOVAES, E.; HANSTED, A. L. S.; YAMAJI, F. M.; SETTE JR, C. R. Eucalyptus expansion in Brazil: Energy yield in new forest frontiers. **Biomass and Bioenergy**, v. 144, 2021.

CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: Young, C. T. e C. B. Davey. (Eds.). **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, p. 313–326, 1970.

DA SILVA, O. A. P. et al. Macro- and Micronutrient Contents and Their Relationship with Growth in Six Eucalyptus Species. **Sustainability**, v. 15, n. 22, p. 15771, jan. 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/15771. Acesso em: 22 de jul. 2024.

DE LACERDA, J. S. Estimativa da Biomassa e Carbono em Áreas Restauradas com Plantio de Essências Nativas. **METRVM**. 2009.

GARLET, C. **Balanço nutricional e sustentabilidade da produtividade de povoamentos de Eucalyptus dunnii Maiden em função do método de colheita da madeira.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p. 72, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/handle/1/23660. Acesso em: 22 de jul. 2024.

GOMES, F. J.; BOSI, C.; PEDREIRA, B. C.; SANTOS, P. M.; PEDREIRA, C. G. S. Parameterization of the APSIM model for simulating palisadegrass growth under continuous stocking in monoculture and in a silvopastoral system. **Agricultural System**, v. 184, n. 1, p.

102876, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102876. Acesso em: 15 de jul. 2024.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 1-57, 2000.

GUIMARÃES, C. C. **Biomassa e Nutrientes em Plantios de Eucaliptos no Bioma Pampa.** 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais e Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

HAAG, H. P. A nutrição mineral e o ecossistema. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 49-52., 1987.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Produção da extração vegetal e da silvicultura 2022. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. v. 37, p. 1–8, 2023. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2022_v37_informativo.pdf. Acesso em: 15 de jul. de 2024.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. Climate change 2001 – **Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. McCarthy, J. J. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. 2001.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972, 745 p.

LACERDA, M. S. **Plantio De Eucalipto E O Serviço Ecossistêmico De Captura E Armazenamento de Carbono**. 2022. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, Goiânia, 2022.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.** v. 363, ed. 1492, p.815-830. 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185. Acesso em 22 de jul. 2024.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010.

OLIVEIRA, A. G. S. DOS S. **Biomassa, carbono e nutrientes na parte aérea de três espécies florestais em uma área de caatinga na região de Upanema/RN**. Monografia, Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais, Engenharia Florestal – Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, Mossoró, p. 47. 2020. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/items/9068ad93-0375-4373-9c21-a00bd001f0e8. Acesso em: 22 de jul. 2024.

OLIVEIRA, R. S.; DOLÁCIO, C. J. F.; MOSSATO, E. C.; MAYER, S. C. S.; SILVA, D. A. Estoque de carbono e energia em plantios de Eucalyptus na região norte do Brasil. **Agroecossistemas**. 2020.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; RESENDE, G. C. de; BARROS, N. F. de. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de Eucalyptus grandis plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, n. 2, p.149-162, dez. 1985.

RÜGNITZ, T. M.; CHACÓN, L. M.; PORRO, R. **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. Belém: Centro Mundial Agroflorestal: Consórcio Iniciativa Amazônica, 2009. 81 p.

RYAN, M. G., STAPE, J. L.; FONSECA, S. Factors controlling Eucalyptus productivity: how water availabilityand stand structure alter production and carbon allocation**. Forest Ecology and Management**. 2010.

SALDANHA, M. A. et al. Estimativa do estoque de carbono em um povoamento de Eucalyptus sp. de 25 anos estabelecido no Sul do Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, [*S. l.*], v. 10, n. 1, p. 81–89, 24 mar. 2023. Disponível em: https://periodicos.univille.br/ABC/article/view/1966. Acesso em: 22 de jul. 2024.

SANQUETTA, C. R. et. al. Dynamics of carbon and CO2 removals by Brazilian forest plantations during 1990-2016. **Carbon Balance and Management**. 2018. Disponível em: doi: https://doi.org/10.1186/s13021- 018-0106-4. Acesso em 05 de ago. 2024.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R; ZILIOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**. Curitiba. 2002. p.l 19-140.

SANTOS, H.G. et. al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Ed. 3. Brasília, DF. **Embrapa**, 2013. p. 353.

SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de Eucalyptus globulus (labillardière) sub-espécie maidenii. **Ciência Florestal**, v.11, n.1, p.45-53, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A complexidade dos ecossistemas**. Porto Alegre: Pallotti, 1997. 50 p.

SCHUMACHER, M. V., WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de Eucalyptus spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**. v. 21, n. 1, p.17-22, 2011.

SILVA, H. A. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: cienciometria, biomassa florestal e raízes de forrageiras**. 2021. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

SILVA, M. E. S. **Interação biosfera-atmosfera**. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005. Anais... do X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005 – Universidade de São Paulo. p.14641-14657. 2005.

TOLOSANA, E.; R. LAINA, R.; AMBROSIO, Y.; MARTÍN M. Residual biomass recovery from fully-mechanized delayed thinnings on Spanish Pinus spp. Plantations. **Biomass and Bioenergy**, v. 71, p. 49-52. 2014.

VELOZO, A. P. **Biomassa e estoque de nutrientes no componente arbóreo e na serapilheira em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta na região sul de Goiás**. 2021. 115 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Escola de Agronomia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Biomassa e macronutrientes de uma floresta estacional decidual em Itaara-RS, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 37, n.1, p. 99-105, 2013.

WINK, C.; et.al. Biomassa e nutrientes de eucalipto cultivado em sistema agrossilvipastoril. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. especial, p. 754-762, dez. 2018.

WU, M., DONKE, G. M. & DEO, R. K. Using matrix models to estimate aboveground forest biomass dynamics in the eastern USA through various combinations of LiDAR, Landsat, and forest inventory data. **Environmental Research Letters**. 2018.

YUKIMITU, F. F. **Biomassa e nutrientes no fuste e folhas de Eucalipto em resposta ao manejo da adubação**. Monografia (Graduação em Engenharia Agronômica), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, p. 47. 2023. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/items/78441e05-c45d-4edb-bc09-f9ccc5df900a. Acesso em: 22 de jul. 2024.

4. **(CAPÍTULO 3) BIOMASSA, TEOR E ESTOQUE DE NUTRIENTES, CENÁRIOS DE EXPORTAÇÃO NUTRICIONAL E VIABILIDADE ECONÔMICA EM CINCO CLONES DE EUCALIPTO IMPLANTADOS EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA**

RESUMO: O objetivo deste estudo foi quantificar a biomassa, o teor e estoque de nutrientes, definir cenários de exportação nutricional por ocasião da colheita, analisar as vantagens econômicas para o produtor ao adotar um dos cenários propostos e analisar a viabilidade econômica do plantio para cada clone de eucalipto estudado aos cinco anos de idade plantados em sistemas de integração pecuária-floresta, IPF no município de Morrinhos – Goiás. O inventário florestal foi realizado no mês de abril de 2023, a partir do mesmo, foi realizado um ranqueamento selecionando os 5 melhores clones do melhor para o pior. Foram selecionadas 5 árvores em cada clone para serem abatidas. Após a seleção foi realizada a cubagem rigorosa do fuste de acordo com o método de Smalian seguida da coleta dos discos de madeira em todas as árvores nas posições longitudinais: 0, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Para estimativa da biomassa, foi realizada a determinação da densidade básica da madeira de cada clone. Para o cálculo da biomassa dos demais componentes foi usado um modelo de compartimentalização obtido através de levantamento bibliográfico de biomassa para clones em idade semelhante. Os resultados obtidos foram o acúmulo na produção média total de biomassa estimada em 139.067,00 kg/ha para o clone AS-028, 104.050,00 kg/ha para o clone GG-2808, 106.725,00 kg/ha para o clone AS-006, 128.225,00 kg/ha para o clone GG- 1069 e 111.400,00 kg/ha para o clone GG-1980. Para obter os valores dos teores e estoque de nutrientes para cada clone foram enviadas ao laboratório de análises, as amostras compostas de galho, folha, casca e madeira de cada clone estudado. O estoque de nutrientes encontrado foi de 1.719,00 kg/ha para o clone AS-028, 1.397,00 kg/ha para o clone GG-2808, 2.159,00 kg/ha para o clone AS-006, 1.813,00 kg/ha para o clone GG-1069 e 1.284,00 kg/ha para o clone GG-1980. Foram propostos três cenários de exportação nutricional baseados no sistema de colheita (CN1,CN2 e CN3), onde CN1 representa a saída de toda a biomassa acima do solo (madeira, galho, folha e casca), CN2 representa a saída de madeira e casca, permanecendo na área de colheita os galhos e folhas, No CN3 apenas a madeira seria retirada, permanecendo na área galhos, folhas e cascas. Com os resultados de volume de resíduos deixados no local e estoque de nutrientes foi calculada a economia prevista em fertilizantes para cada cenário. Os valores de economia obtidos com base nos cenários encontrados foram de R$ 2.401,23(CN2) e R$ 3.513,70 (CN3) para o clone AS-028, R$ 2.055,69 (CN2) e R$ 2.908,26 (CN3) para o clone GG-2808, R$ 3.487,44 (CN2) e R$ 4.314,00 (CN3) para o clone AS-006, R$ 2.492,32 (CN2) e R$ 3.460,64 (CN3) para o clone GG-1069 e R$ 2.096,21 (CN2) e R$ 2.896,67 (CN3) para o clone GG-1980. Para a análise de viabilidade do plantio, cada clone foi tratado como um projeto, foram levantados e tabulados todos os valores investidos e receitas resultando no fluxo de caixa de cada projeto, foi definida uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 6%, com base no fluxo de caixa foram calculados o Valor Presente dos Benefícios VP(B), Valor Presente dos Custos VP(C), Valor Presente Líquido (VPL), Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA), Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados obtidos para todos os projetos com base na metodologia clássica (MC) foram que todos os projetos são considerados atrativos (ou recomendáveis).

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes, exportação nutricional, sistema de integração pecuária-floresta, análise de viabilidade econômica.

ABSTRACT: The aim of this study was to quantify biomass, nutrient content and stock, define nutrient export scenarios at the time of harvest, analyze the economic advantages for the producer of adopting one of the proposed scenarios and analyze the economic viability of planting each eucalyptus clone studied at five years of age planted in IPF systems in the municipality of Morrinhos - Goiás. The forest inventory was carried out in April 2023, from which a ranking was made, selecting the 5 best clones from best to worst. Five trees from each clone were selected for felling. After selection, a rigorous cubing of the stem was carried out according to the Smalian method, followed by the collection of wood disks from all the trees in the longitudinal positions: 0, DBH, 25%, 50%, 75% and 100% of commercial height. To estimate biomass, the basic wood density of each clone was determined. To calculate the biomass of the other components, a compartmentalization model obtained from a bibliographic survey of biomass for clones at a similar age was used. The results obtained were the accumulation of total average biomass production estimated at 139,067.00 kg/ha for clone AS-028, 104,050.00 kg/ha for clone GG-2808, 106,725.00 kg/ha for clone AS-006, 128,225.00 kg/ha for clone GG- 1069 and 111,400.00 kg/ha for clone GG-1980. To obtain the nutrient content and stock values for each clone, samples made up of branches, leaves, bark and wood from each clone studied were sent to the analysis laboratory. The nutrient stock found was 1,719.00 kg/ha for clone AS-028, 1,397.00 kg/ha for clone GG-2808, 2,159.00 kg/ha for clone AS-006, 1,813.00 kg/ha for clone GG-1069 and 1,284.00 kg/ha for clone GG-1980. Three nutritional export scenarios were proposed based on the harvesting system (CN1, CN2 and CN3), where CN1 represents the removal of all above-ground biomass (wood, twigs, leaves and bark), CN2 represents the removal of wood and bark, with twigs and leaves remaining in the harvesting area, and in CN3 only wood would be removed, with twigs, leaves and bark remaining in the area. Using the results of the volume of waste left on site and the nutrient stock, the expected savings in fertilizers for each scenario were calculated. The savings obtained based on the scenarios found were R$ 2,401.23 (CN2) and R$ 3,513.70 (CN3) for clone AS-028, R$ 2,055.69 (CN2) and R$ 2,908.26 (CN3) for clone GG-2808, R$ 3. 487.44 (CN2) and R$ 4,314.00 (CN3) for clone AS-006, R$ 2,492.32 (CN2) and R$ 3,460.64 (CN3) for clone GG-1069 and R$ 2,096.21 (CN2) and R$ 2,896.67 (CN3) for clone GG-1980. For the planting feasibility analysis, each clone was treated as a project, all the amounts invested and revenues were collected and tabulated, resulting in the cash flow for each project, a Minimum Attractiveness Rate (MAR) of 6% was set, based on the cash flow the Present Value of Benefits PV(B), Present Value of Costs PV(C), Net Present Value (NPV), Annualized Net Present Value (ANNV), Internal Rate of Return (IRR) were calculated. The results obtained for all the projects based on the classic methodology (MC) were that all the projects are considered attractive (or recommendable).

Key-words Nutrient cycling, nutritional export, livestock-forest integration system, economic feasibility analysis.

4.1 **Introdução**

Os povoamentos florestais comerciais, fornecem produtos além de madeira, denominados de produtos florestais não-madeireiros, que consistem em todo o material biológico de origem vegetal não-lenhoso, como resinas, gomas, extratos , taninos e no caso do eucalipto, o óleo medicinal das folhas se mostra como produto de crescente interesse comercial. Todos os produtos derivados de árvores cultivadas estão experimentando uma crescente demanda pela sociedade, o que tem motivado investimentos e o desenvolvimento no setor florestal de base (Lacerda, 2022).

Estimam-se um total de 9,5 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 77,3% correspondem ao cultivo de eucalipto, ou seja aproximadamente 7,3 milhões de hectares. A produção da extração vegetal e da silvicultura – PEVS 2022, aponta que a produção florestal atingiu um valor de R$ 33,7 bilhões com de aumento de 11,9% em relação à 2021, com destaque para a silvicultura que apresentou o valor de R$ 27,4 bilhões, correspondendo a 81,5% do total e com aumento de 14,9% em relação ao ano anterior, demonstrando a importância e o contínuo crescimento do setor florestal para o agronegócio brasileiro (IBGE, 2022).

Nesse contexto, o segmento de biomassa florestal está emergindo como um ator de destaque para atender às necessidades energéticas, sendo reconhecido como uma fonte renovável crucial. O gênero *Eucalyptus* tem se destacado como a espécie mais amplamente plantada, devido ao seu rápido crescimento em comparação com outras espécies, e às características favoráveis de rendimento energético de sua madeira (Cunha, *et. al*., 2021).

A produção/acumulação de biomassa é influenciada por fatores edafoclimáticos como luz, temperatura, precipitação, concentração de CO_2 (dióxido de carbono), estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos na lâmina foliar, teor de clorofila e acumulação de carboidratos principais que afetam a fotossíntese e respiração (Kramer, Kozlowski, 1972; Vogel, 2013). As plantas superiores necessitam de luz solar, CO_2, O_2 (oxigênio), água e elementos minerais como: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, cloro, ferro, manganês, molibdênio, zinco, níquel, etc. para se desenvolverem e acumularem biomassa (Haag, 1987).

O crescimento da planta mantém um balanço entre a área da superfície disponível para a produção de alimentos e a área da superfície disponível para a absorção de água e de íons minerais. Para que ocorram as reações bioquímicas necessárias para a manutenção das células e crescimento. Sob condições ambientais favoráveis a maioria das plantas pode usar a luz no processo de fotossíntese para transformar gás carbônico (CO_2) e água em fontes de energia. A

nutrição das plantas envolve absorção de todas as substâncias inorgânicas do ambiente necessárias para os processos bioquímicos essenciais, e a distribuição e utilização dessas substâncias para o metabolismo e crescimento, mais de 60 elementos químicos têm sido identificados nas plantas, nem todos são essenciais ou mesmo úteis e são absorvidos como íons inorgânicos provenientes da solução do solo (Raven, *et al*., 2014).

No desenvolvimento inicial de uma floresta a biomassa produzida é proveniente em grande parte dos carboidratos e direcionada principalmente para a copa (Andrae, 1978), gradualmente com o crescimento a biomassa se direciona para a madeira e casca representando de acordo com Schumacher & Hoppe, (1997) em média 80% da biomassa acima do solo em povoamentos maduros, enquanto a o crescimento da copa diminui.

De acordo com Reis *et al.* (1985), a proporção de biomassa e nutrientes contidos na madeira do tronco vai depender do tipo de solo, a densidade populacional e a espécie vegetal. Em áreas de solo de melhor qualidade, foram observados pelos pesquisadores que a madeira representa cerca de 60% da biomassa total da árvore, enquanto em áreas de menor qualidade, a madeira compõe apenas aproximadamente 45% da biomassa total.

A produção da biomassa acima do solo é influenciada pelos fatores ambientais bióticos e abióticos e depende das condições edafoclimáticas do povoamento ou plantio florestal, também pode ser influenciada pelo uso racional de fertilizantes visando promover sistemas de produção mais sustentáveis (Da Silva, 2023).

Para determinar a quantidade relativa dos elementos necessários para o crescimento das plantas, as análises químicas são consideradas essenciais, os elementos que são requeridos em grandes quantidades (mais de 1.000 mg/kg de massa seca) são denominados macronutrientes (N, K, Ca, Mg, P e S). Enquanto os que são requeridos em menor quantidade (menos de 100 mg/kg de massa seca) são denominados micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni e Mo).

As espécies do gênero *Eucalyptus* em função de seu rápido crescimento e alta produtividade acarreta grande demanda por recursos como água e nutrientes (Bellote *et al*., 2008), e em razão da colheita exporta grande parte dos nutrientes contidos na biomassa acima do solo podendo interferir na capacidade de manutenção da eficiência produtiva dos povoamentos ao longo prazo, se fazendo necessário a quantificação de biomassa e nutrientes produzidos exportados pela colheita florestal (Schumacher; Caldeira, 2001).

O entendimento da dinâmica nutricional nos ecossistemas florestais é fundamental para a compreensão e antecipar os efeitos da nutrição no crescimento florestal, onde as principais entradas de nutrientes no sistema podem ocorrer através de deposições atmosféricas, intemperismo físico, fixação biológica de nitrogênio e fertilização, enquanto as saídas podem

ocorrer através da colheita da biomassa, queimadas, lixiviação e erosão hídrica, sendo a colheita das árvores a principal via de exportação nutricional (Landsberg, 1986; Pritchett, 1990).

Nesse sentido, é crescente o aumento na adoção de sistemas integrados de produção considerados ambientalmente mais sustentáveis e viáveis economicamente como, por exemplo, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), surgindo como alternativa aos sistemas convencionais de produção agropecuária no Brasil, conceitualmente a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é definida como:

> Uma estratégia que visa a produção sustentável por meio da integração das atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, comtemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (Balbino, *et. al*., 2011a).

Considerando o fator econômico como fundamental para adoção desse sistema, faz-se necessário que o mesmo seja viável economicamente para o produtor, contribuindo para além das questões ambientais e ecológicas, com a diversificação da renda, redução dos riscos de produção e amortização dos custos de implantação com a antecipação de renda (Cavalcanti *et al*., 2019), podendo a exequibilidade do sistema ser verificada através da Análise de Viabilidade Econômica (AVE).

Segundo Silva e Parizzi (2016) a AVE é um “exame” de um projeto com finalidade de fornecer informações ao empreendedor/investidor sobre os riscos e possibilidades associadas à um novo empreendimento, embasando sua escolha de aceitar ou não esses riscos.

Este estudo teve como objetivos: quantificar a biomassa, o teor e estoque de nutrientes, definir cenários de exportação nutricional por ocasião da colheita, analisar as vantagens econômicas para o produtor ao adotar um dos cenários propostos e analisar a viabilidade econômica do plantio para cada clone estudado.

4.2 **Material e Métodos**

4.2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudos está localizada no Instituto Federal Goiano, Câmpus Morrinhos, no município de Morrinhos, que está localizado no estado de Goiás, na região Centro-Oeste do país. Trata-se de uma URT - Unidade de Referência Tecnológica, que faz divisa com as cidades de Rio Quente, Aloândia e Goiatuba, também localizadas no estado de Goiás. Com uma abrangência territorial de 2.846,2 km², possui as seguintes coordenadas geográficas: Latitude-Sul: 17° 43' 16", Longitude-Oeste: 49° 6' 29" (CIDADE-BRASIL, 2016) (Figura 1). Morrinhos

possui clima tropical. No verão o volume pluviométrico é maior que no inverno. Em dezembro ocorre o maior volume de precipitação, com uma média de 257 mm. Enquanto no mês de julho considerado o mais seco essa média é de apenas 4 mm. De acordo com Köppen e Geiger a classificação do clima é Aw – sendo tropical úmido, com duas estações bem definidas, seca no inverno e úmida no verão. Em Morrinhos, a temperatura média anual é de 23.4 °C. A média anual de pluviosidade é de 1352 mm. Localizado numa zona temperada, o mês mais quente do ano é outubro com uma temperatura média de 25.8 °C. A temperatura mais baixa de todo o ano ocorre no mês de junho, onde a temperatura média é 21.2 °C (Climate-data, 2024). O solo, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos é caracterizado como um Latossolo Vermelho distrófico (Santos, 2013).

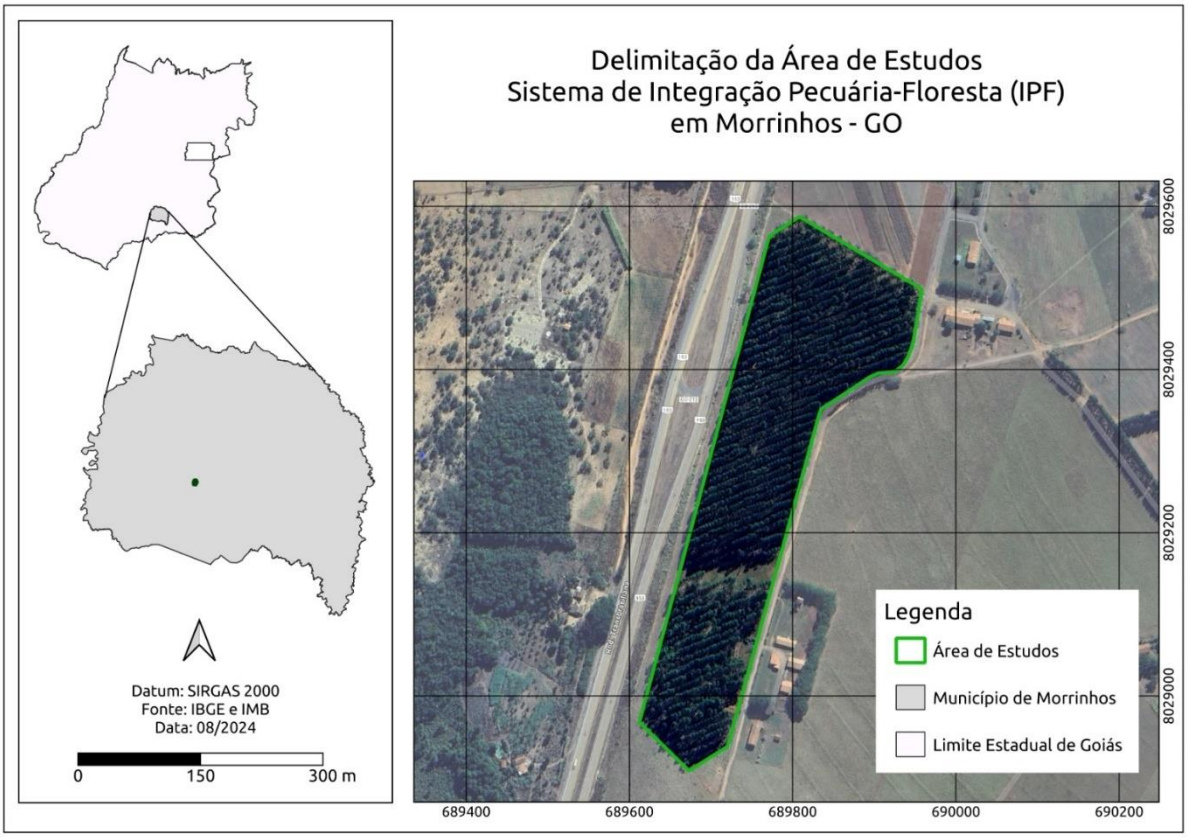

Figura 1. Localização da área de estudos no município Morrinhos, Goiás. Fonte: elaborado pela autora.

A pesquisa foi realizada em área de teste clonal de eucalipto com plantio de aproximadamente 5 anos de idade, implementado em 2018, com área de 10 hectares, em altitude de 771 m.

O plantio está disposto em linha simples com espaçamento entre plantas de 4 metros e entre renques espaçamento de 10 metros com presença de pastagem, a densidade de 250 plantas/ha. A seguir uma representação da disposição e dos componentes do plantio (Figura 2).

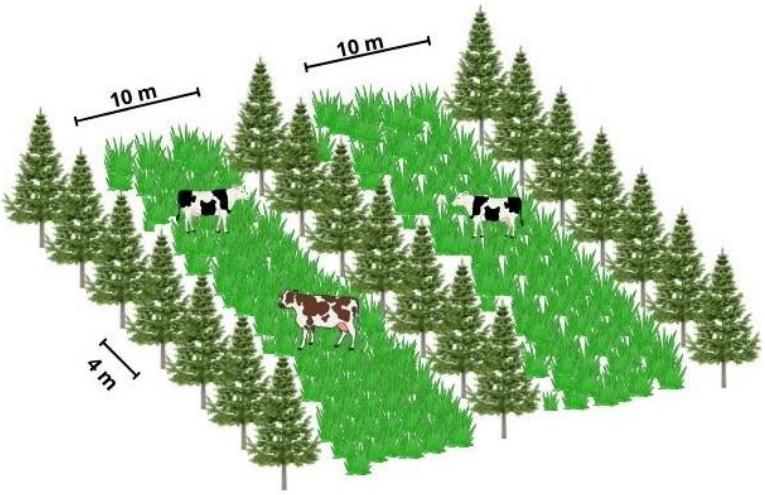

Figura 2. Representação do sistema IPF em Morrinhos – GO. Fonte: A autora.

Na área de estudos (figura 3) foi realizado pelos pesquisadores da Embrapa Florestas, um ranqueamento de todos os clones, pois trata-se de um teste clonal o critério de classificação foi produção de volume de madeira do fuste (do maior para o menor volume).

Figura 3. Área do estudo localizada no campus do Instituto Federal Goiano, Morrinhos - GO. Fonte: Francine Calil.

De acordo com essa classificação os 5 melhores clones foram selecionados para o estudo, na Tabela 3.1, logo abaixo está descrito a posição de cada clone e suas respectivas composições.

Tabela 3.1. Clones selecionados em ordem de ranqueamento e composição.

	CLONE	**COMPOSIÇÃO**
1°	AS-028	*E. urophylla* x *E. grandis*
2°	GG-2808	*E. urophylla* x *E. grandis*
3°	AS-006	*E. urophylla* – híbrido
4°	GG-1069	*E. urophylla* x *E. grandis*
5°	GG-1980	*E. urophylla* x *E. grandis*

Fonte: A autora.

4.2.2 Coleta de dados

Na área de estudos, caracterizada acima, foi realizado o inventário florestal no mês de abril de 2023, quando o plantio possuía idade aproximada de 5 anos juntamente com ranqueamento de todos os clones dentre os quais foram selecionados os cinco primeiros clones de acordo com o volume de madeira do fuste do maior para o menor.

Foram selecionados 5 árvores de cada clone, após o corte foi realizado a cubagem rigorosa do fuste das árvores pelo método desenvolvido por Smalian, que consiste em mensurar o tronco já sem galhos, em seções (toras) medindo 1 metro (Figura 4), as medidas dos diâmetros da base e do topo de cada tora mais o comprimento são usados para calcular o volume de cada seção a partir da média das áreas transversais superior e inferior de cada dividindo por 2 e por fim multiplicando pela altura da seção, para encontrar o valor total de volume para cada arvore somam-se todas seções de acordo com a metodologia de (Velozo, 2021), as medidas de diâmetro foram feitas com a casca.

As equações abaixo foram utilizadas para cálculo de volume da biomassa onde A_1 representa a área transversal inferior, A_2 representa a área transversal superior e h representa a altura da seção. Na segunda equação o volume total é calculado através da soma dos fatores V_1+V_n.

$$V_1 = (A_1+A_2/2)*h$$

A1 – área transversal inferior

A2 – área transversal superior

h – altura da secção

$V_{total} = V_1 + V_2 + ... + V_n$

Figura 4. Altura total do tronco medida com auxílio de uma trena(A), corte das secções ao longo do fuste (B e C), nos clones de estudo abatidos, área de estudos, Morrinhos – GO. Fonte: A autora.

Foram retirados discos em 6 posições: base, DAP (diâmetro na altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 6 cm) para realização de análises energéticas e determinação da densidade básica da madeira como podemos visualizar a seguir (Figuras 5 e 6).

Figura 5. Medidas de diâmetro e DAP realizadas ao longo do tronco com auxílio de uma suta, área de estudos, Morrinhos – GO. Fonte: Daniella Gomes.

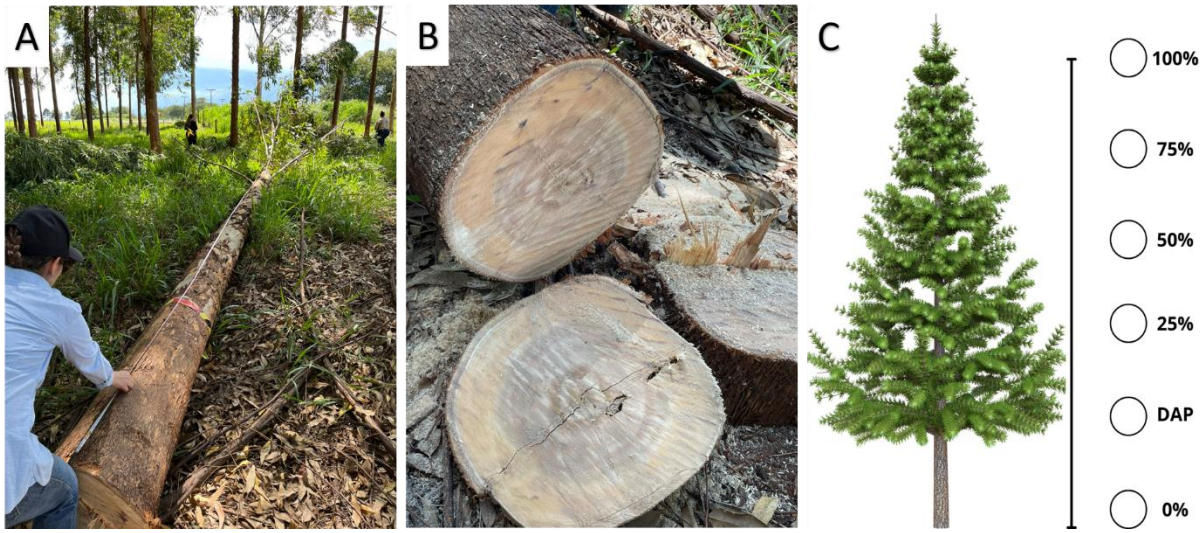

Figura 6. Cubagem (A), retirada dos discos de madeira (B) e posições longitudinais de retirada dos discos de madeira, até altura comercial. Fonte: A autora.

4.2.3 Determinação da densidade básica da madeira

A densidade da madeira é descrita por Moreschi, (2010), como a quantidade de massa do material lenhoso por unidade de volume, sua formação está relacionada diretamente aos elementos anatômicos que compõem a madeira. A variação da densidade básica da madeira pode ocorrer conforme a natureza da espécie, até mesmo dentro do próprio individuo, podendo haver influência dos fatores ambientais e tratos silviculturais, por esse motivo ela é vista como uma característica complexa na madeira (Castro *et. al*., 2019; Oliveira, 2020).

Os discos de madeira foram encaminhados para o Laboratório de Biomassa e Qualidade da Madeira da Universidade Federal de Goiás, onde foram separados da casca e seccionados em 4 cunhas, exceto os discos de 100% da altura comercial. Para determinar a densidade básica da madeira sem casca (DB, kg m^{-3}), foram utilizadas duas cunhas por posição mais o disco de 100% da altura comercial, totalizando 55 amostras por clone

A partir do peso seco, amostras permaneceram por 48 horas em temperatura de 103° C, e peso saturado de cada cunha (colocada em água até o preenchimento total) através do método hidrostático de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003), a densidade básica foi obtida. A média aritmética por árvore, cinco repetições (árvores) foram usadas para determinar a densidade básica média por clone.

4.2.4. Compartimentalização e estimativa de biomassa

De acordo com Oliveira (2020), a biomassa florestal oferece importantes conhecimentos sobre a dinâmica desses ecossistemas, principalmente nas áreas de manejo florestal e clima.

A produção de biomassa florestal pode variar severamente em consequência da disponibilidade dos recursos no sítio, influenciando a fotossíntese, a compartimentalização da biomassa e carbono, respiração, produção de folhas, etc. (Ryan *et al*., 2010). Para Schumacher *et al*. (2011) e Tolosana *et al.*, (2014), a disponibilidade da biomassa, bem como sua distribuição nas frações da árvore dependem da espécie, idade, características edafoclimáticas e manejo aplicado ao plantio.

Para o cálculo da biomassa dos compartimentos casca, galhos e folhas, foi aplicado um modelo de compartimentalização das árvores baseado na literatura, utilizando os valores encontrados para a biomassa da madeira (volume x densidade). Considerando a dificuldade de realização de compartimentalização das árvores abatidas a campo, foi utilizada as porcentagens de compartimentalização adotadas por Velozo, 2021, sendo: casca = 9,9%, folha = 7,5% e galho = 11,2%, dada a biomassa de 71,4% encontrada para a madeira. Amostras de galho, folha e casca dos clones coletadas no campo (Figura 7).

Figura 7. Amostras de folha (A), galho (B) e casca (C) coletadas dos cinco clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO. Fonte: A autora.

A estimativa da biomassa foi calculada após a obtenção do valor da densidade básica da madeira e do volume, por meio da equação (1) a seguir:

$B = V\ (m^3)$ x Densidade (kg/m^3) > B = V x Densidade em kg

B = Biomassa

V= volume médio/árvore

Densidade básica da madeira

4.2.5 Teor e estoque de nutrientes

As amostras de galho, folha e casca e madeira foram enviadas ao laboratório de Ecologia de Plantas ECOFLOR do setor de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Goiás, onde foram colocadas em sacos de papel e passaram pelo processo de secagem em estufa de circulação e renovação de ar em temperatura de 65°C por aproximadamente 72 horas até o peso constante (Figura 8).

Figura 8. Amostras de galho, folha e casca dos AS-028, GG-2808, AS-006, GG1069 e GG-1980 coletados no município de Morrinhos – GO, em estufa de circulação de ar. Laboratório EcoFlor – UFG. Fonte: A autora.

Após a secagem das amostras, as mesmas foram primeiro trituradas, em triturador Lippel (Figura 9) e em seguida moídas em moinho tipo Willey (Figura 10) no Laboratório de Biomassa e Qualidade da Madeira- LQMBio, da Universidade Federal de Goiás.

Figura 9. Triturador tipo Lippel, Laboratório LQMBio – UFG. Fonte: A autora.

Figura 10. Moinho tipo Willey, Laboratório LQMBio – UFG. Fonte: A autora.

Figura 11. Amostras de Galho, folha e casca trituradas e moídas, identificadas por clone, preparadas para serem encaminhadas ao laboratório. Fonte: A autora.

As amostras trituradas e moídas (Figura 11) foram encaminhadas para o laboratório para determinação de teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mg e Zn), logo após foi realizado o cálculo do estoque de nutrientes contidos na biomassa. O cálculo de estoque de nutrientes foi através do teor médio de nutrientes pela biomassa seca de acordo com a metodologia proposta por CALIL et al., 2013.

Para verificação do teor e do estoque nutricional em relação as frações da biomassa dos clones foi realizada a análise dos componentes principais - PCA (sigla em inglês), utilizando matriz de correlação.

4.2.6 Cenários de exportação nutricional com base nos diferentes sistemas de colheita e economia

A exportação de nutrientes por meio da colheita da biomassa foi avaliada considerando três cenários distintos: 1). Colheita de toda a árvore, onde são exportados os quatro compartimentos da árvore (madeira, casca, galhos e folhas); 2). Colheita da madeira com casca, resultando na exportação da madeira com casca, enquanto os compartimentos de galhos e folhas permanecem na área; 3). Colheita apenas da madeira, exportando exclusivamente a madeira, enquanto os compartimentos de casca, galhos e folhas permanecem na área.

Após análise, procedeu-se ao cálculo dos nutrientes remanescentes na área e sua conversão em economia monetária representada pelo valor do adubo economizado por hectare.

4.2.7 Análise de viabilidade econômica para os 5 clones estudados

De acordo com Rasoto *et al*., (2012), a análise de investimento ou viabilidade tem como objetivo investigar a viabilidade econômica de um projeto e antecipar, por meio de estimativas, os prováveis resultados a serem obtidos com a implementação do projeto. Os métodos utilizados para a análise não se alteram, independentemente do setor em análise, respeitando-se apenas os riscos associados às peculiaridades de cada atividade.

Existem variadas técnicas, métodos e metodologias para avaliar a viabilidade econômica (VE) de um projeto de investimento (PI) em ativos reais. Entre os principais métodos citados por Lima e Southier (2024) os que serão utilizados no presente estudo são: Valor presente (VP), Valor presente líquido (VPL), Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA) e Taxa Interna de Retorno (TIR), além da escolha da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que se mostra fundamental como parâmetro para verificar a VE em um PI, no presente estudo será empregada a metodologia clássica (MC) que considera um prêmio pelo risco, incorporando um acréscimo (spread) sobre a TMA . Ou seja, o risco é expresso como uma sobretaxa sobre a taxa de desconto (TMA). Assim, se o PI for aprovado compensará o risco. Se VPL > 0 e/ou TIR > TMA e/ou Payback < N (Horizonte de Planejamento), então a MC recomenda a implementação do PI em estudo. (Lima; Southier, 2024).

Para realizar a análise de viabilidade é necessário a organização sistemática do fluxo de caixa que consiste na relação entre entradas e saídas de recursos financeiros em determinado período de tempo. De acordo com a NBR 14653-4 (ABNT, 2002, p.4), FC "é a série de receitas, custos e despesas de um empreendimento ao longo de um determinado período". A seguir na figura 12 está exemplificado o fluxo de caixa organizado para análise dos projetos.

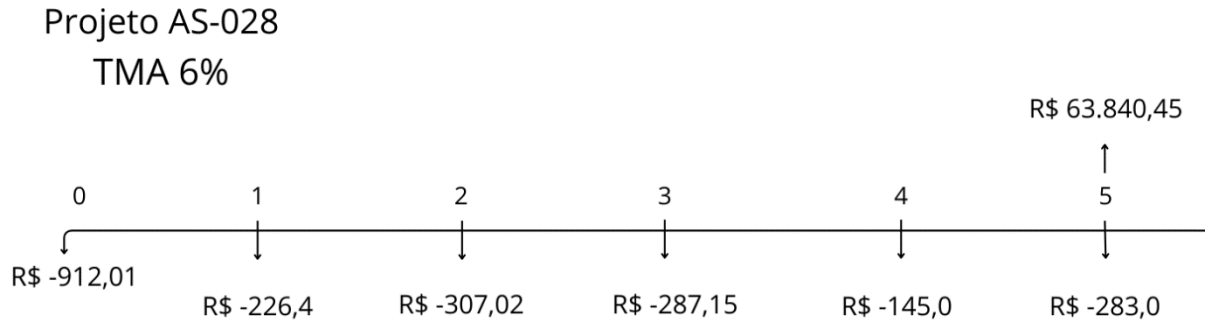

Figura 12: Diagrama do fluxo de caixa dos projetos analisados. Fonte: Elaborado pela autora.

As definições, conceitos e fórmulas para cálculo de FC, MA, VP, VPL, VPLA e TIR se encontram descritas a seguir, de acordo com Lima e Southier (2024):

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é o percentual mínimo de retorno do investimento que a organização definir (Casarotto Filho; Kopittke, 2020), ou seja, o retorno mínimo requerido pelo empreendedor, tornando-se um parâmetro essencial para verificar a viabilidade econômica de um PI, em virtude de quase todos os indicadores serem dependentes do seu valor. Exceto a TIR que, após ser determinada tem seu valor confrontado coma TMA para aferir o nível de atratividade financeira do investimento (Lima; Southier, 2024).

O Valor Presente (VP) é o valor monetário, na data zero, resultante ao final da vida útil do projeto, sem considerar o Investimento Inicial (FCo). Conforme fórmula proposta, em que: j: período, N: Horizonte de planejamento, FCj: Fluxo de Caixa estimado para o período j, TMA: Taxa Mínima de Atratividade (Lima; Southier, 2024).

$$VP = \sum_{j=1}^{N} \frac{FC_j}{(1+TMA)^j}$$

O Valor Presente Líquido (VPL) é o valor monetário, no momento zero, resultante ao final da vida útil do projeto, descontando-se o Investimento Inicial (FC0). O VPL, é o resultado do processo de descapitalização (para a data atual, utilizando como taxa de desconto a TMA) de todos os componentes do FC esperados como resultado de uma decisão de investimento. Conforme fórmula proposta, em que: em que: j: período, N: Horizonte de planejamento, FC0: Investimento Inicial ou Fluxo de Caixa no momento zero, FCj: Fluxo de Caixa estimado para o período j, TMA: Taxa Mínima de Atratividade, VP: Valor Presente (Lima; Southier, 2024).

$$VPL = \sum_{j=1}^{N} \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} - |FC_0|$$

O Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA) é o valor monetário resultante da distribuição do VPL por unidade de tempo. Para comparar Projetos de Investimento (PIs) com vidas úteis diferentes (Ns), sem fazer ajustes, recomenda-se a utilização do VPLA. Também é conhecido como Custo Anual Uniformemente Equivalente – CAUE (Souza, Clemente, 2008; Casarotto Filho, Kopittke, 2010). Conforme fórmula proposta, em que: N: Horizonte de planejamento, VPL: Valor Presente Líquido, TMA: Taxa Mínima de Atratividade (Lima; Southier, 2024).

$$VPLA = VPL \cdot TMA \frac{(1+TMA)^N}{(1+TMA)^N - 1}$$

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que torna o VPL do projeto nulo. Pode ser determinada apenas por métodos numéricos, como o método de Newton-Raphson (Franco, 2007). “A TIR apenas informa o retorno máximo que o projeto pode obter caso fosse possível reinvestir todos os fluxos de caixa com taxas iguais à TIR do projeto” (Harzer, 2015). Como medida de risco, a TIR pode ser interpretada como um limite superior para a variabilidade da TMA (Souza; Clemente, 2008). Calculado apenas por métodos numéricos como o método de Newton-Raphson em que: j: período, N: Horizonte de planejamento, FC0: Investimento Inicial, FCj: Fluxo de Caixa estimado para o período j (Lima; Southier, 2024).

$$\sum_{j=1}^{N} \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} - |FC_0| = 0 \text{ ou } \sum_{j=0}^{N} \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} = 0$$

Para a realização da análise será elaborado o fluxo de caixa, estipulada a taxa mínima de atratividade (TMA), e calculados os seguintes indicadores de viabilidade: fluxo de investimentos ou custos (VP(C)), fluxo de benefícios (VP(B)), valor presente líquido (VPL), valor presente líquido anualizado (VPLA) e taxa interna de retorno (TIR).

Durante a análise, os valores dos investimentos feitos ao longo do período desde a implantação até a colheita foram levantados e tabulados, custos em geral descrevendo todas as operações realizadas no plantio até o corte, bem como os valores de entrada com a venda da madeira e todas as receitas obtidas afim de elaborar o fluxo de caixa, a partir do qual foi possível realizar os cálculos necessários para determinação da viabilidade de cada projeto. Para a tabulação e cálculos das informações financeiras do sistema foi utilizado o software Microsoft Excel® em decorrência de suas ferramentas que viabilizam variadas formas de cálculos e índices com precisão.

Cada clone representa um projeto, totalizando 5 projetos analisados.

A economia gerada com insumos e fertilizantes provenientes dos cenários de exportação nutricional foram adicionadas às receitas, com a finalidade de agregar todos os custos, receitas e economias geradas por cada projeto, obtendo índices e taxas com maior precisão.

O valor de venda da madeira foi levantado junto ao Instituto para o fortalecimento da Agropecuária de Goiás (IFAG) através do portal de cotações do próprio Instituto para a data de

28 de abril de 2023 onde, o valor mínimo, médio e máximo para o metro estéreo (st) do eucalipto no estado de Goiás foi cotado em R$ 180,00, R$ 196,65 e R$210,00 respectivamente. Os valores de venda foram calculados de acordo com o valor médio apresentado pelo IFAG.

Para possibilitar a análise de viabilidade do plantio, a taxa de juros considerada foi de 6% ao ano (a.a.), correspondente à taxa de juros de empréstimos de capital Pronaf Bioeconomia para produtores familiares com limite máximo de financiamento de R$ 250 mil. Taxas mais vantajosas, mediante aos 5,5% (a.a.) + CDI (11,99%) = 17,49% ao ano aplicados aos financiamentos empresariais em geral.

4.3 **Resultados e Discussão**

4.4 **Biomassa no componente arbóreo**

A biomassa acumulada na madeira dos clones estudados foi obtida através do produto entre volume e a densidade, e a partir do resultado foi aplicado modelo de compartimentalização encontrado através de levantamento bibliográfico por Velozo (2021), onde a madeira corresponde em média a 71,4% da biomassa total acima do solo, as proporções encontradas para as frações folha, galho e casca foram 7,5%, 11,2% e 9,9 respectivamente.

Na tabela 3.2, é possível verificar os valores referentes a biomassa média acumulada (kg/árvore) nos clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG1069 e GG-1980 para as frações madeira, galho, folha, casca e total por árvore.

Tabela 3.2. Biomassa média acumulada (kg/árvore) para os cinco clones estudados.

CLONE	**VOLUME MÉDIO/ ÁRVORE (m^3)**	**DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA kg/m^3**	**BIOMASSA**				
			Madeira	Galho	Folha	Casca	Total
			kg/árvore				
AS-028	0,909	437,00	397,20	62,30	41,70	55,07	**556,30**
GG-2808	0,764	389,00	297,20	46,61	31,21	41,26	**416,20**
AS-006	0,731	417,00	304,82	47,81	32,01	42,26	**426,90**
GG-1069	0,805	455,00	366,27	57,45	38,47	50,78	**512,90**
GG-1980	0,740	430,00	318,20	49,91	33,42	44,11	**445,60**

Fonte: A autora.

* Composição dos clones: AS 028 (*E. urophylla* x *E. grandis)*, GG 2808 (*E. urophylla* x *E. grandis)*, AS 006 (*E. urophylla* – híbrido*)*, GG 1069 (*E. urophylla* x *E. grandis)*, GG 1980 e *(E. urophylla* x *E. grandis).*

O sistema IPF aos 5 anos de idade com os clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG1069 e GG-1980 contava com 250 árvores por hectare, o produto entre a biomassa total média das árvores e densidade populacional (250 plantas ha^{-1}) representou a biomassa total por hectare para cada clone, assim como a biomassa por compartimento (tabela 3.3).

Tabela 3.3. Biomassa média acumulada (kg/ha^{-1}) para os cinco clones estudados.

CLONE	BIOMASSA				
	MADEIRA	GALHO	FOLHA kg ha^{-1}	CASCA	TOTAL
AS-028	99.300,00	15.575,00	10.425,00	13.767,00	139.075,00
GG-2808	74.300,00	11.652,5	7.802,5	10.300,00	104.050,00
AS-006	76.205,00	11.952,5	8.002,5	10,565,00	106.725,00
GG-1069	91.567,00	14.362,5	9,617,5	12,695,00	128.225,00
GG-1980	79.550,00	12.477,5	8.355,00	11.027.5	111.400,00

Fonte: A autora.

Observa-se de acordo com os valores apresentados na tabela anterior que o clone AS-028 apresentou maior volume de biomassa total média (valores convertidos em Mg ha^{-1}) entre os cinco clones estudados, o valor obtido foi de 139,067 Mg ha^{-1}, o clone GG-2808 apresentou o menor valor, sendo de 104,05 Mg ha^{-1}.

Para a biomassa da fração madeira o maior valor obtido foi de 99,3 Mg ha^{-1} para o clone AS-028, enquanto o clone GG-2808 obteve o menor valor que foi de 74,3 Mg ha^{-1}. A sequência de alocação de biomassa nos compartimentos para os cinco clones de eucalipto neste trabalho foi madeira (71,4%) > galho (11,2%) > casca (9,9%) > folha (7,5%).

Em estudo de Wink *et. al* (2018) com o clone H13 (*Eucalyptus grandis x E. urophylla*) aos 5 anos de idade, cultivado em sistema agrossilvipastoril, no município de Nova Canaã do Norte - MT, a biomassa média total obtida foi de 123,11 Mg ha^{-1}, apresentando 74,84% na fração madeira, 12,73% de casca, 6,93% de galhos grossos e 5,5% de biomassa residual (galhos finos e folhas), valores correspondentes aos verificados no presente estudo.

No estudo de Velozo (2021), com os clones AEC-2034, AEC-2111, AEC-007 e AEC-0043, realizado na Fazenda Macaúba, no município de Inaciolândia – GO, aos 4,5 anos de idade, com 413 árvores vivas por hectare, verificou-se que o maior volume de biomassa total

média foi de 61,83 Mg ha^{-1} do clone AEC-0043 com sequência de acumulação de biomassa nos compartimentos madeira > galho > casca > folha. Valores inferiores aos encontrados neste estudo.

No ano de 2015, Coelho Júnior, apresentou seu estudo desenvolvido em sistema integrado lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na fazenda Boa Vereda no município de Cachoeira Dourada, Goiás, resultados semelhantes apesar da diferença na densidade do plantio que foi de 668 árvores vivas por/ha, com *E. urograndis* aos 5 anos de idade. A produtividade de biomassa total obtida foi de 144,35 Mg ha^{-1}, e de 114,25 Mg ha^{-1} de madeira, a ordem de produção de biomassa acima do solo encontrada no estudo foi madeira (79,14%) > galhos (9,69%) > casca (8,13%) > folha (3,02%).

Resultados semelhantes em plantio puro obtidos por Yukimitu (2023), em seu estudo sobre biomassa e nutrientes no fuste e folhas de eucalipto em resposta ao manejo da adubação na região do Bolsão de Mato Grosso do Sul, Bioma Cerrado, contendo o material genético I144 (híbrido comercial de *Eucalyptus urophylla*) aos 6,2 anos de idade apresentou os resultados correspondentes de 121,14 Mg ha^{-1} para as árvores com adubação operacional e 137,19 Mg ha^{-1} com adubação suplementar, com a sequência de volume de biomassa encontrada sendo lenho (80-81%) > casca (9-11%) > galho (6-7%) > folha (2-3%).

Guimarães (2014), encontrou em seu estudo sobre biomassa e nutrientes com *E. urograndis*, (espaçamento 3,5 x 2,5m) *E. grandis e E. dunni* (espaçamento 3,5 x 2,0m) valores de biomassa acima do solo (sem raiz) 134,7 Mg ha^{-1}, 116,6 Mg ha^{-1} e 108,4 Mg ha^{-1}, respectivamente aos 4,5 anos de idade no bioma Pampa com a seguinte ordem de alocação de biomassa madeira do tronco > galho > casca do tronco > folha.

A variação no volume de produção da biomassa no componente arbóreo pode ser descrita como resultado das diferenças edafoclimáticas entre os povoamentos florestais, fatores como luz, concentração de CO_2 na atmosfera, temperatura, estrutura e disposição das folhas na copa, distribuição e comportamentos dos estômatos, acumulação de carboidratos e teor de clorofila podem afetar a fotossíntese e a respiração, mesmo em ambientes semelhantes, a questão nutricional, manejo, material genético escolhido e variações entre os plantios pode resultar em diferenças na produtividade. De acordo com Reis *et al*., (1985), o tipo de solo, densidade populacional e espécie influencia na proporção de biomassa e nutrientes na madeira do fuste, a proporção de biomassa de madeira pode alcançar 60% do total em sítios com melhor qualidade, enquanto em sítios com pior qualidade a madeira constitui apenas 45% da biomassa total (Kramer & Kozlowski, 1972; Vogel, 2013).

A maior concentração de biomassa acumulada foi na fração madeira, a distribuição da biomassa acima do solo nos compartimentos da planta geralmente segue a ordem: lenho do fuste > galho > casca > folhas. Mesma ordem encontrada para o presente estudo (Curlin, 1970; Caldeira et. al., 2007; Schumacher e Caldeira, 2001).

A explicação para essa distribuição de biomassa nas diferentes frações ao longo do crescimento dos povoamentos florestais segundo Gonçalves *et.al*., (2000) se deve as diferentes fases nutricionais das árvores.

A produção do lenho aumenta após o fechamento das copas nos plantios florestais, conforme o aumento da idade, a porcentagem de folhas diminui como resultado da movimentação de boa parte dos carboidratos principais que são direcionados das folhas para o lenho (Andrae, 1978; Schumacher e Caldeira, 2001).

A produtividade de biomassa acima do solo obtida pelo sistema IPF estudado se mostrou comparável aos estudos desenvolvidos em sistemas integrados de produção desenvolvidos por Wink *et. al* (2018) , Velozo (2020) e Coelho Júnior (2015), mostrou-se relevante mesmo diante da produtividade dos plantios homogêneos citados, sendo comparáveis aos resultados do povoamento de I144 (híbrido comercial de *Eucalyptus urophylla*) aos 6,2 anos de idade desenvolvido por Yukimitu, (2023) e aos resultados de Guimarães (2014) em plantios puros de *E. urograndis* (1142 plantas/ha^{-1}), *E. grandis e E. dunni* (1428 planta/ha-^{1}) aos 4,5 anos de idade.

4.5 **Teor e estoque de nutrientes**

As tabelas 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 a seguir descrevem os valores médios dos teores e quantidade de acumulo de nutrientes nos compartimentos galho, casca, folha e madeira para os clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG1069 e GG-1980 respectivamente.

A concentração de nutrientes para os cinco clones seguiu o mesmo padrão com maior concentração nas folhas e menor concentração na madeira, com algumas exceções apontadas a seguir separadamente. A ordem decrescente de concentração dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foi folha > casca > galho > madeira.

Os maiores teores médios dos macronutrientes em g/kg na biomassa acumulada nos clones estudados foram de Ca no compartimento casca, exceto nos clones GG-1069 onde o teor foi maior na folha e no clone AS-028 onde os teores foram iguais nas frações casca e folha, enquanto o menor teor foi S.

Os maiores teores médios dos micronutrientes em mg/kg na biomassa acumulada nos clones estudados foram de Fe e Mn na fração folha seguido da casca, enquanto a menor concentração foi de B, encontrada principalmente nas folhas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Yukimitu (2023), em estudo sobre o material genético I144 (híbrido comercial de *Eucalyptus urophylla*) aos 6,2 anos de idade onde as concentrações nutricionais obtidas em ordem decrescente foram folhas > casca > galhos > lenho.

Zhang (2022) em seu estudo em seu estudo com clones derivados de várias espécies diferentes, incluindo *E. urophylla* , *E. grandis* , *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh , *Eucalyptus tereticornis Sm* aos 6 anos de idade na china encontrou a mesma ordem de concentração de nutrientes sendo folhagem > casca do caule > galhos > tronco.

Tabela 3.4. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone AS-028.

	CLONE AS-028							
	GALHO		CASCA		FOLHA		MADEIRA	
Teores em **g/kg**	N	**2,0** g/kg	N	4,0 g/kg	N	**15,0** g/kg	N	3,0 g/kg
	P	0,6 g/kg	P	1,2 g/kg	P	**1,8** g/kg	P	**0,4** g/kg
	K	2,0 g/kg	K	6,8 g/kg	K	**7,2** g/kg	K	**1,6** g/kg
	Ca	3,3 g/kg	Ca	16,8 g/kg	Ca	16,8 g/kg	Ca	**1,5** g/kg
	Mg	0,5 g/kg	Mg	0,5 g/kg	Mg	**1,3** g/kg	Mg	0,5 g/kg
	S	**0,1** g/kg	S	0,3 g/kg	S	0,2 g/kg	S	0,3 g/kg
Teores em **mg/kg**	B	**2,0** mg/kg	B	8,0 mg/kg	B	**23,0** mg/kg	B	10,0 mg/kg
	Cu	3,0 mg/kg	Cu	3,0 mg/kg	Cu	5,0 mg/kg	Cu	5,0 mg/kg
	Fe	135,0 mg/kg	Fe	157,0 mg/kg	Fe	**238,0** mg/kg	Fe	**115,0** mg/kg
	Mn	53,0 mg/kg	Mn	163,0 mg/kg	Mn	**206,0** mg/kg	Mn	**22,0** mg/kg
	Zn	**66,0** mg/kg	Zn	58,0 mg/kg	Zn	58,0 mg/kg	Zn	**38,0** mg/kg

Fonte: A autora.

No clone as AS-028 os maiores teores de nutrientes foram encontrados na fração folha, exceto o Ca apresentou quantidade alto teor para a fração casca, enquanto os menores foram encontrados na madeira com exceção do N, S e B com concentrações menores nos galhos.

Tabela 3.5. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone GG-2808.

	CLONE GG-2808							
	GALHO		CASCA		FOLHA		MADEIRA	
Teores em **g/kg**	N	**2,0** g/kg	N	4,0 g/kg	N	**18,0** g/kg	N	4,0 g/kg
	P	0,8 g/kg	P	1,4 g/kg	P	1,4 g/kg	P	**0,2** g/kg
	K	2,0 g/kg	K	6,0 g/kg	K	**8,4** g/kg	K	**1,8** g/kg
	Ca	4,5 g/kg	Ca	**18,3** g/kg	Ca	14,6 g/kg	Ca	**1,5** g/kg
	Mg	0,7 g/kg	Mg	**1,6** g/kg	Mg	1,5 g/kg	Mg	**0,1** g/kg
	S	0,1 g/kg	S	0,3 g/kg	S	0,1 g/kg	S	0,3 g/kg
Teores em **mg/kg**	B	**2,0** mg/kg	B	7,0 mg/kg	B	**29,0** mg/kg	B	10,0 mg/kg
	Cu	4,0 mg/kg	Cu	3,0 mg/kg	Cu	**5,0** mg/kg	Cu	3,0 mg/kg
	Fe	126,0 mg/kg	Fe	136,0 mg/kg	Fe	**195,0** mg/kg	Fe	**115,0** mg/kg
	Mn	60,0 mg/kg	Mn	166,0 mg/kg	Mn	145,0 mg/kg	Mn	**29,0** mg/kg
	Zn	60,0 mg/kg	Zn	60,0 mg/kg	Zn	60,0 mg/kg	Zn	**68,0** mg/kg

Fonte: A autora.

No clone GG-2808 os maiores teores de nutrientes foram encontrados na fração folha, com exceção do Ca e Mg que foram maiores na casca, enquanto os menores teores foram encontrados na madeira com exceção do N e B com menores concentrações no galho.

Tabela 3.6. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone AS-006.

	CLONE AS-006							
	GALHO		CASCA		FOLHA		MADEIRA	
Teores em **g/kg**	N	**2,0** g/kg	N	5,0 g/kg	N	**16** g/kg	N	3,0 g/kg
	P	0,6 g/kg	P	1,0 g/kg	P	**1,4** g/kg	P	**0,2** g/kg
	K	1,6 g/kg	K	4,8 g/kg	K	**7,6** g/kg	K	1,6 g/kg
	Ca	2,8 g/kg	Ca	**28,5** g/kg	Ca	19,5 g/kg	Ca	**1,8** g/kg
	Mg	0,3 g/kg	Mg	0,6 g/kg	Mg	**1,4** g/kg	Mg	0,3 g/kg
	S	0,1 g/kg	S	0,1 g/kg	S	0,2 g/kg	S	0,2 g/kg
Teores em **mg/kg**	B	**1,0** mg/kg	B	8,0 mg/kg	B	**25,0** mg/kg	B	9,0 mg/kg
	Cu	3,0 mg/kg	Cu	3,0 mg/kg	Cu	**6,0** mg/kg	Cu	3,0 mg/kg
	Fe	168,0 mg/kg	Fe	215,0 mg/kg	Fe	**206,0** mg/kg	Fe	168,0 mg/kg
	Mn	57,0 mg/kg	Mn	168,0 mg/kg	Mn	**195,0** mg/kg	Mn	**26,0** mg/kg
	Zn	**78,0** mg/kg	Zn	55,0 mg/kg	Zn	58,0 mg/kg	Zn	**40,0** mg/kg

Fonte: A autora.

No clone AS-006 os maiores teores de nutrientes foram encontrados na fração folha, com exceção do Ca maior na casca e Zn maior no galho, os menores teores foram encontrados na madeira com exceção do N e B que obtiveram menores concentrações no galho.

Tabela 3.7. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone GG-1069.

	CLONE GG-1069							
	GALHO		CASCA		FOLHA		MADEIRA	
Teores em **g/kg**	N	**2,0** g/kg	N	5,0 g/kg	N	**16,0** g/kg	N	5,0 g/kg
	P	0,6 g/kg	P	0,8 g/kg	P	**2,0** g/kg	P	**0,4** g/kg
	K	1,6 g/kg	K	4,8 g/kg	K	**9,2** g/kg	K	**1,2** g/kg
	Ca	3,0 g/k	Ca	9,5 g/kg	Ca	**14,7** g/kg	Ca	**1,3** g/kg
	Mg	0,3 g/kg	Mg	0,9 g/kg	Mg	**1,5** g/kg	Mg	**0,1** g/kg
	S	0,2 g/kg	S	0,2 g/kg	S	0,2 g/kg	S	0,2 g/kg
Teores em **mg/kg**	B	**1,0** mg/kg	B	10,0 mg/kg	B	**24,0** mg/kg	B	8,0 mg/kg
	Cu	2,0 mg/kg	Cu	2,0 mg/kg	Cu	**8,0** mg/kg	Cu	2,0 mg/kg
	Fe	225,0 mg/kg	Fe	225,0 mg/kg	Fe	**263,0** mg/kg	Fe	**144,0** mg/kg
	Mn	54,0 mg/kg	Mn	164,0 mg/kg	Mn	**208,0** mg/kg	Mn	**25,0** mg/kg
	Zn	63,0 mg/kg	Zn	57,0 mg/kg	Zn	63,0 mg/kg	Zn	**39,0** mg/kg

Fonte: A autora.

No clone GG-1069 os maiores teores de nutrientes foram encontrados na fração folhas, enquanto os menores teores foram encontrados na madeira com exceção do N e B que obtiveram menores concentrações no galho.

Tabela 3.8. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nos compartimentos do clone GG-1980.

	CLONE GG-1980							
	GALHO		CASCA		FOLHA		MADEIRA	
Teores em **g/kg**	N	**2,0** g/kg	N	4,0 g/kg	N	**17,0** g/kg	N	3,0 g/kg
	P	0,6 g/kg	P	1,2 g/kg	P	**1,6** g/kg	P	**0,2** g/kg
	K	2,0 g/kg	K	4,8 g/kg	K	**8,4** g/kg	K	**1,2** g/kg
	Ca	4,3 g/kg	Ca	**18,5** g/kg	Ca	15,0 g/kg	Ca	**1,0** g/kg
	Mg	0,5 g/kg	Mg	1,3 g/kg	Mg	1,3 g/kg	Mg	**0,1** g/kg
	S	0,1 g/kg	S	0,1 g/kg	S	**0,3** g/kg	S	0,1 g/kg
Teores em **mg/kg**	B	**1,0** mg/kg	B	9,0 mg/kg	B	**25,0** mg/kg	B	9,0 mg/kg
	Cu	**2,0** mg/kg	Cu	4,0 mg/kg	Cu	**6,0** mg/kg	Cu	3,0 mg/kg
	Fe	125,0 mg/kg	Fe	134,0 mg/kg	Fe	**215,0** mg/kg	Fe	125,0 mg/kg
	Mn	63,0 mg/kg	Mn	168,0 mg/kg	Mn	**195,0** mg/kg	Mn	**28,0** mg/kg
	Zn	54,0 mg/kg	Zn	53,0 mg/kg	Zn	**64,0** mg/kg	Zn	53,0 mg/kg

Fonte: A autora.

No clone GG-1980 os maiores teores de nutrientes foram encontrados na fração folha, com exceção do Ca maior na casca, os menores teores foram encontrados na madeira com exceção do N, B e Cu que obtiveram menores concentrações no galho.

O N teve maior concentração nas folhas em comparação aos demais componentes da biomassa, o que de acordo com Malavolta (1985) acontece em decorrência deste nutriente participar de grande parte das reações de metabolização de aminoácidos, aminas, amidas, proteínas, etc., que ocorrem principalmente nas folhas em razão da fotossíntese.

A diferença na concentração de nutrientes entre os compartimentos da planta está relacionada ao ciclo bioquímico, que com o aumento da idade causa deslocamento nutricional de tecidos senescentes para tecidos com maior atividade metabólica, principalmente para as folhas, ocasionando a redução dos teores por unidade de biomassa, mas aumentando em quantidades totais, destacando que nas folhas se encontram a maioria das células vivas que são responsáveis pela fotossíntese e transpiração, portanto demandam maior disponibilidade de nutrientes (Pallardy, 2008; Vieira; Schumacher, 2011).

Desde o século 19, foram estabelecidos 17 elementos químicos presentes nas plantas que são considerados necessários para o crescimento normal (carbono, hidrogênio, oxigênio, potássio, cálcio, magnésio, nitrogênio, fósforo, enxofre, ferro, manganês, zinco, cobre, cloro, boro, molibdênio e níquel), julgados essenciais por dois critérios, se é necessário para o ciclo

de vida da planta e produzir sementes viáveis e se faz parte de alguma molécula constituinte da planta que seja, por si mesma essencial, um terceiro critério consiste em sintomas de deficiência na ausência do elemento mesmo que a planta produza sementes viáveis. Para determinar a quantidade relativa dos elementos necessários para o crescimento das plantas, as análises químicas são consideradas essenciais, os elementos que são requeridos em grandes quantidades (mais de 1.000 mg/kg de massa seca) são denominados macronutrientes (N, K, Ca, Mg, P e S). Enquanto os que são requeridos em menor quantidade (menos de 100 mg/kg de massa seca) são denominados micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni e Mo) (Raven, *et al*., 2014).

As menores concentrações foram encontradas na fração madeira, com algumas exceções na fração galho como descrito anteriormente resultado que de acordo com Marengo e Lopes (2009), ocorre em decorrência da translocação e pouca concentração de nutrientes nesse compartimento.

Os elementos com menor concentração encontrada nos macronutrientes foram enxofre e o fósforo, o que ocorreu em virtude da baixa disponibilidade destes nutrientes no solo.

Velozo (2021) analisando os clones AEC-2034, AEC-2111, AEC-007 e AEC-0043 aos 4,5 anos de idade encontrou o mesmo resultado, assim como Hernadéz *et al*., (2009) que analisou a espécie *Eucalyptus dunnii* aos nove anos de idade e encontrou resultados semelhantes.

O grande teor de cálcio na fração casca pode ser justificado por ser um elemento estrutural que faz parte da lamela média da membrana celular e pouco móvel no floema das plantas (Ferri, 1985), o alto teor de Ca na fração casca também foi encontrado por Guimarães (2014) que em sua análise com *E. grandis*, *E. dunni* e *E. urograndis* encontrou para este último um teor de Ca na casca correspondente a 52% de todo cálcio alocado na biomassa.

O potássio que obteve o terceiro maior teor entre os macronutrientes (Ca > N > K) é considerado um elemento altamente móvel no floema sendo redistribuído com facilidade principalmente para os tecidos mais novos, tendo a proteção contra doenças como uma de suas funções, auxiliando também na manutenção dos frutos na planta (Schumacher *et al*., 2010).

Os micronutrientes desempenham várias funções fisiológicas fundamentais para as plantas além do crescimento, como por exemplo, a floração, frutificação, propagação, proteção etc. (Marschner, 1986).

Os maiores teores de boro (B) e cobre (Cu) foram encontrados na fração folha, seguida da casca, resultados similares dos obtidos por Velozo (2021) que observou os maiores teores de boro nos galhos e folhas, porém o Cu em seu estudo apresentou maior teor na madeira e casca.

Na fração folha foi observado o maior teor de manganês, nutriente formador de cloroplastos e clorofila, ativador de várias enzimas, tornando-se fundamental para a fotossíntese (Malavolta, 1985).

Segundo Gonçalves e Valeri (2001), as folhas e brotações são as partes mais ativas na planta metabolicamente, decorrentes da relação com as reações enzimáticas e compostos bioquímicos de transferência de energia, resultando em maiores teores de micronutrientes, enquanto os menores teores são encontrados na madeira. Resultados similares aos encontrados nesse estudo com exceção do B e alguns clones apresentaram B e Cu com menores teores na fração galho.

4.5.1. Macronutrientes

Abaixo a tabela 3.9, descreve os valores do estoque de macronutrientes na biomassa para os clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980.

Tabela 3.9. Estoque de macronutrientes (kg/ha) na biomassa dos cinco clones estudados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), no município de Morrinhos – GO.

	FRAÇÃO	N	P	K	Ca	Mg	S
				kg/ha			
	Madeira	297,50	37,50	157,50	147,50	47,50	27,50
AS-028	Galho	30,00	7,50	30,00	50,00	7,50	1,50
	Folha	155,50	18,70	75,00	175,00	13,50	12,50
	Casca	55,00	15,00	87,50	230,00	5,00	2,50
Total		**538,00**	**78,70**	**350,00**	**602,50**	**73,50**	**44,00**
	Madeira	297,00	14,75	133,5	111,25	7,25	22,25
GG-2808	Galho	23,25	9,25	23,25	52,25	8,00	1,00
	Folha	140,25	10,75	65,5	113,75	11,50	0,75
	Casca	41,00	14,25	61,75	188,25	16,25	3,00
TOTAL		**501,50**	**49,00**	**284,00**	**465,50**	**43,00**	**27,00**
	Madeira	228,50	15,00	121,75	146,50	22,75	15,00
AS-006	Galho	23,75	71,50	191,00	334,50	35,75	11,75
	Folha	128,00	11,00	60,75	156,00	11,00	1,50
	Casca	52,75	10,50	50,50	301,00	6,25	1,00
Total		**433,00**	**108,00**	**358,00**	**938,00**	**75,75**	**29,25**
	Madeira	457,75	36,50	109,00	119,00	9,00	18,25
GG-1069	Galho	28,50	8,50	22,75	43,00	4,25	2,75
	Folha	153,75	19,00	88,25	141,25	14,25	1,75
	Casca	63,25	15,00	81,00	213,25	6,25	3,75
Total		**703,20**	**79,00**	**301,70**	**516,50**	**33,70**	**26,50**
	Madeira	238,50	15,75	95,25	79,50	7,75	7,75
GG-1980	Galho	24,75	7,25	24,75	53,50	6,00	1,22
	Folha	142,00	13,25	70,00	125,25	10,75	2,50
	Casca	44,00	13,00	52,75	204,00	14,25	1,10
Total		**449,20**	**49,20**	**242,70**	**462,20**	**38,70**	**12,50**

Fonte: A autora.

Os macronutrientes com maior estoque entre os cinco clones foram Ca (2.985,00 kg/ ha^{-1}) na casca, seguido da folha, exceto no clone As-006 que o estoque foi maior no compartimento galho, seguido de casca e N (2.624,00 kg/ ha^{-1}) na fração madeira seguido da fração folha.

Velozo (2021) em seu estudo encontrou resultados semelhantes para os clones AEC-2034, AEC-2111, AEC-007 e AEC-0043 aos 4,5 anos de idade.

Os menores estoques foram de S (139,00 kg/ ha^{-1}) e P o compartimento com maior estoque de enxofre (S) foi madeira, exceto no clone AS-006 que registrou maior estoque no galho.

O estoque total de macronutrientes para os clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980 foi de 1.686,00, 1.370,00, 2.008,00, 1.660,00 e 1.255,00 kg/ha^{-1} respectivamente.

A ordem decrescente dos estoques de macronutrientes encontradas neste estudo foi Ca > N > K > P > Mg > S.

4.5.2 Micronutrientes

A tabela 3.10, a seguir descreve os valores de estoque de micronutrientes na biomassa para os clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980.

Tabela 3.10. Estoque de micronutrientes (kg/ ha^{-1}) na biomassa acumulada dos cinco clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO.

CLONE	FRAÇÃO	B	Cu	Fe	Mn	Zn
				kg/ha		
	Madeira	0,7500	0,0250	11,2500	2,0000	3,7500
AS-028	Galho	0,0300	0,0450	2,0000	0,7500	1,0000
	Folha	0,2250	0,0500	2,4700	2,1200	0,6000
	Casca	1,0000	0,0250	2,0000	2,0000	0,7500
Total		**2,0000**	**0,1450**	**17,7000**	**6,8000**	**6,1000**
	Madeira	0,7250	0,2000	8,5250	2,1500	5,0500
GG-2808	Galho	0,0220	0,0250	1,4500	0,5000	0,6750
	Folha	0,2250	0,7750	1,5000	1,1200	0,4500
	Casca	0,0500	0,0250	1,4000	1,7000	0,6000
TOTAL		**1,0000**	**1,0200**	**12,8000**	**3,9000**	**6,7000**
	Madeira	0,0750	0,2250	128,0000	1,7500	3,0000
AS-006	Galho	0,0100	0,0250	2,0000	6,7500	0,9250
	Folha	0,2000	0,0250	1,6200	1,5500	0,4500
	Casca	0,0750	0,0250	2,2500	1,7500	0,5750
Total		**0,3500**	**0,0970**	**133,8000**	**5,7000**	**4,9000**
	Madeira	0,7250	0,1750	131,7500	2,2700	3,5500
GG-1069	Galho	0,0125	0,0250	3,2200	0,7750	0,9000
	Folha	0,2250	0,0750	2,5200	2,0000	0,6000
	Casca	0,1000	0,0250	1,7000	2,0500	0,7250
Total		**1,0500**	**0,3000**	**139,1000**	**7,1000**	**5,7000**
	Madeira	0,7000	0,2250	9,9250	2,2250	4,2000
GG-1980	Galho	0,0100	0,0225	1,5500	1,7750	0,6500
	Folha	0,2000	0,0500	1,7750	1,6250	0,5250
	Casca	0,0750	0,0250	1,4750	1,8500	0,5750
TOTAL		**0,9700**	**00,3000**	**14,7000**	**6,4000**	**5,9000**

Fonte: A autora.

O micronutriente com maior estoque entre os cinco clones foi Fe (318,00 kg/ ha^{-1}) no compartimento madeira em todos os 5 clones. O menor estoque foi de Cu (2.093 kg/ ha^{-1}).

O estoque total de micronutrientes para os clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980 foi de 32,84, 27,17, 151,3, 153,4 e 29,46 kg/ha^{-1} respectivamente. A ordem decrescente dos estoques de micronutrientes encontradas neste estudo foi Fe > Mn > Zn > B > Cu.

Coelho (2021) encontrou para micronutrientes, ordem decrescente semelhante Fe >Mn > B > Zn > Cu em seu estudo com os clones VM 58 (cruzamento de *E. camaldulensis x E. urophylla*) o clone GG100 (cruzamento do *E. urophylla x E. grandis*) e Via seminal híbridas de *E urophylla* x *E. grandis*. Aos 7 anos de idade.

4.6 **Análise dos Componentes principais (PCA) do teor e estoque nutricional**

De acordo com a análise dos componentes principais (PCA) percebe-se que o compartimento folha e casca possuem altos teores nutricionais (figura 13), enquanto os compartimentos galho e madeira possuem menores teores. As folhas contem maiores teores de enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), nitrogênio (N), potássio (K), enquanto na casca encontram-se altos teores de magnésio (Mg), fósforo (P), ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca) e zinco (Zn).

Os nutrientes que apresentam relação diretamente proporcional significativa são N e B, P e K, K e Mn e P e Mn (R= 0,96 e p <0,001; R=0,93 e p<0,001; R=0,93 e p<0,001; R=0,92 e p<0,001, respectivamente). O que significa que quanto maior a concentração de um, maior será a do outro. Enquanto os elementos que apresentaram relação inversamente proporcional significativa foram S e Zn (R= -0,12 e p=0,591) ou seja, quanto maior a concentração de um, menor será a do outro.

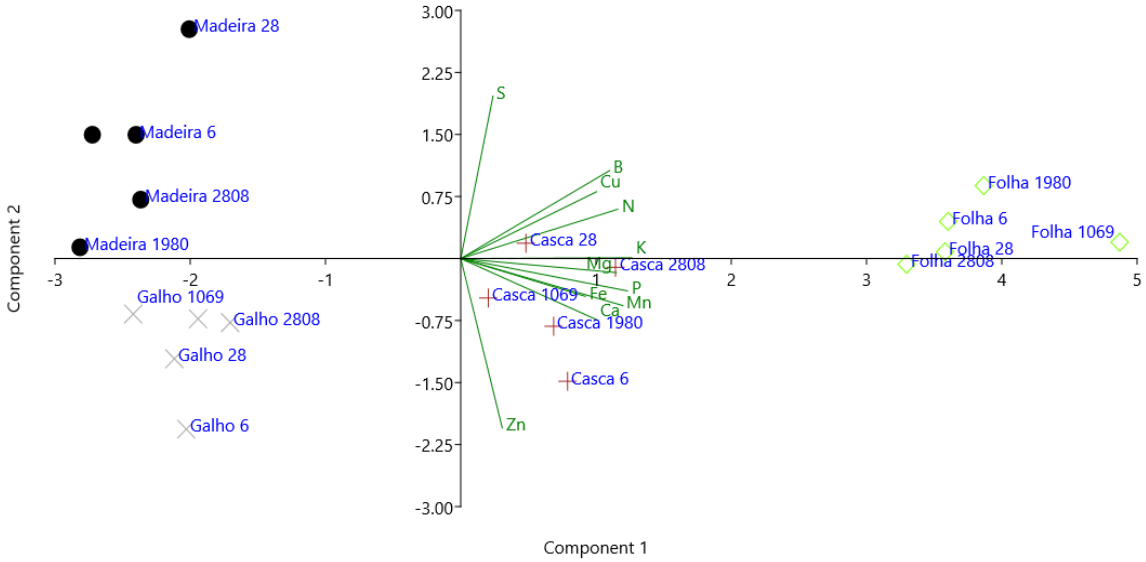

Figura 13. Análise dos componentes principais dos teores nutricionais dos compartimentos folha, galho, casca e madeira dos clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980 em um sistema de integração pecuária-floresta em Morrinhos – GO. Fonte: A autora.

Na figura 14 percebe-se o comportamento do estoque nutricional nos compartimentos galho, folha, casca e madeira em relação à biomassa na análise dos componentes principais (PCA) do estoque de nutrientes. A madeira é o compartimento com maior estoque nutricional, com altas quantidades de cobre (Cu), ferro (Fe), boro (B), nitrogênio (N), zinco (Zn) e enxofre (S), em virtude de sua elevada biomassa. Nas folhas foram observados valores significativos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn), fósforo (P) e potássio (K).

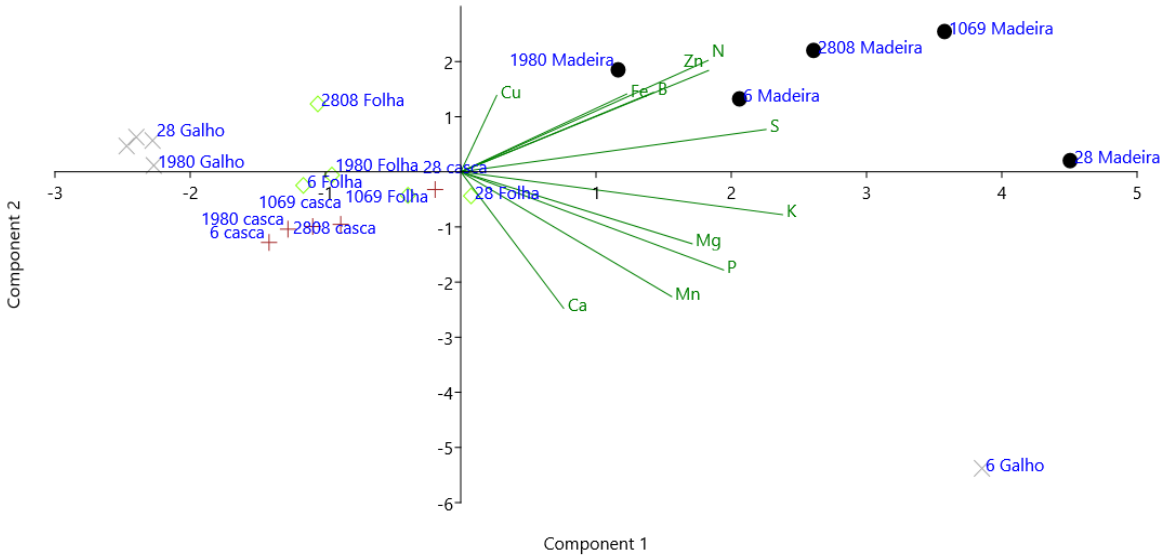

Figura 14. Análise dos componentes principais do estoque nutricional dos compartimentos folha, galho, casca e madeira dos clones AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980 em um sistema de integração pecuária-floresta em Morrinhos – GO. Fonte: A autora.

4.7 **Cenários de exportação de biomassa e nutrientes**

4.7.1 Cenários de exportação da biomassa

A seguir (Tabela 3.11) podemos observar os valores em kg/ha de biomassa exportada pelos possíveis cenários de colheita: 1). Colheita de toda a árvore, onde são exportados os quatro compartimentos da árvore (madeira, casca, galhos e folhas); 2). Colheita da madeira com casca, resultando na exportação da madeira com casca, enquanto os compartimentos de galhos e folhas permanecem na área; 3). Colheita apenas da madeira, exportando exclusivamente a madeira, enquanto os compartimentos de casca, galhos e folhas permanecem na área.

Tabela 3.11. Exportação de biomassa (kg/ha) por ocasião da colheita do eucalipto, considerando os diferentes cenários de exportação para os cinco clones de estudados (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), no município de Morrinhos – GO.

Clone	Cenário 1	Biomassa remanescente após a colheita (%)	Cenário 2	Biomassa remanescente após a colheita (%)	Cenário 3	Biomassa remanescente após a colheita (%)
			kg/ha			
AS 028	139.075,00	0	113.067,00	26.000,00 (22,9%)	99.300,00	39.775,00 (40%)
GG 2808	104.050,00	0	84.600,00	19.455,00 (22,9%)	74.300,00	29.750,00 (40%)
AS 006	106.725,00	0	86.770,00	19.955,00 (22,9%)	76.205,00	30.520,00 (40%)
GG 1069	128.225,00	0	104.262,00	23.980,00 (22,9%)	91.567,00	36.675,00 (40%)
GG 1980	111.400,00	0	90.577,5	20.832,50 (22,9%)	79.550,00	31.860,00 (40%)

Fonte: A autora.

Onde: Cenário 1 = Remoção de toda a árvore (madeira + casca + folhas + galhos); Cenário 2 = Remoção de madeira + casca (permanecendo folhas + galhos) e Cenário 3 = Remoção de madeira (permanecendo folhas + galhos + casca).

4.7.2 Cenários de exportação de nutrientes

Considerando os 3 cenários de colheita propostos na metodologia deste trabalho, o maior potencial de exportação nutricional está no cenário 1, que propõe retirada total da biomassa acima do solo em razão da colheita sendo retiradas do sítio as maiores quantidades de nutrientes em ordem decrescente Ca > N > K > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > B > Cu.

A adoção desse cenário ocasiona uma grande exportação, podendo causar impactos consideráveis na fertilidade e manutenção do plantio em futuras rotações, além de permitir que o solo sofra degradação em função da falta de cobertura (solo descoberto).

Para o cenário 2, onde a colheita retira do sítio madeira e casca foram retirados de acordo com os dados apresentados 73,1% da biomassa total acima do solo, o que significa uma permanência maior que 20% da biomassa, o que oferece maior retorno nutricional para as próximas rotações em comparação ao cenário 1, mas ainda representa grande retirada de nutrientes, principalmente Ca e N.

No cenário 3, a retirada da biomassa acontece apenas com a fração madeira, mantendo galho, folha e casca na área de colheita, de acordo com os cálculos cerca de 60% da biomassa total acima do solo seriam retirados em função da colheita, mantendo em torno de 40% da biomassa total no sítio, o que propiciaria a manutenção adequada da ciclagem de nutrientes, aumentando a eficiência nutricional nas futuras rotações, podendo diminuir consideravelmente os custos com adubação.

De acordo com Santana *et al*., (2008) cerca de 75% dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg são encontrados nos compartimentos afora a madeira na biomassa do eucalipto, ressaltando a importância de manter os resíduos de colheita no campo.

NÚÑEZ-REGUEIRA (2004 *apud* Ries, 2021) estima que para evitar o empobrecimento do solo, cerca de 10% dos resíduos devem permanecer no sítio, principalmente as cascas. O que torna os cenários 2 e 3 recomendáveis nesse sentido.

Na tabela 3.12, são descritas as estimativas de retirada dos nutrientes de acordo com os cenários de colheita propostos, seguidas de saldo de nutrientes após a colheita.

Tabela 3.12. Estimativa da retirada de nutrientes (kg ha^{-1}) em função do cenário de colheita da adotado para os cinco clones estudados.

	CN	MACRONUTRIENTES (kg/ha^{-1})					MICRONUTRIENTES (kg/ha^{-1})					
		N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**	**B**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Zn**
AS-028	1	538,00	78,70	350,00	602,50	73,50	44,00	2,00	0,14	17,70	6,80	6,10
	2	352,50	52,50	245,00	377,50	52,50	30,00	1,75	0,05	13,25	4,00	4,50
	3	297,50	37,50	157,50	147,50	47,50	27,50	0,75	0,02	11,25	2,00	3,75
GG-2808	1	501,50	49,00	284,00	465,50	43,00	27,00	1,00	1,02	12,80	3,90	6,70
	2	338,00	29,00	195,25	299,50	23,50	25,25	0,77	0,22	9,92	3,85	5,65
	3	297,00	14,75	133,50	111,25	7,25	22,25	0,72	0,20	8,52	2,15	5,05
AS-006	1	433,0	108,00	358,0	938,0	75,75	29,25	0,350	0,097	133,8	5,7	4,9
	2	281,25	25,50	172,25	447,50	29,00	16,00	0,14	0,24	130,25	3,50	3,57
	3	228,50	15,00	121,75	146,50	22,75	15,00	0,07	0,22	128,00	1,75	3,00
GG-1069	1	703,2	79,00	301,7	516,5	33,7	26,5	1,05	0,30	139,2	7,1	5,7
	2	521,00	51,50	190,75	332,25	15,25	22,00	0,82	0,19	133,45	4,32	4,27
	3	457,75	36,50	109,75	119,00	9,00	18,25	0,72	0,17	131,75	2,27	3,55
GG-1980	1	449,20	49,2	242,7	462,2	38,7	12,5	0,97	0,30	14,7	6,4	5,9
	2	282,50	28,75	148,00	283,50	22,00	8,85	0,77	0,24	11,39	4,07	4,77
	3	238,50	15,75	95,25	79,50	7,75	7,75	0,70	0,22	9,92	2,22	4,20

Fonte: A autora.

Onde: Cenário (CN) 1 = Remoção de toda a árvore (madeira + casca + folhas + galhos); Cenário 2 = Remoção de madeira + casca (permanecendo folhas + galhos) e Cenário 3 = Remoção de madeira (permanecendo folhas + galhos + casca).

O elemento com maior taxa de exportação em decorrência do cenário de colheita foi o Ca, com maiores proporções na fração casca, os estudos citados anteriormente verificaram comportamento semelhante para o nutriente, o que influencia positivamente na retirada de nutrientes do local de colheita. Velozo (2021) contatou a mesma tendencia de distribuição.

De acordo com Drumond *et al*., (1997) a quantificação dos nutrientes na biomassa de um plantio florestal permite avaliar a intensidade dos reflexos que seriam causados por perturbações naturais ou ação antrópica no ecossistema, em plantios manejados para produção de biomassa de madeira, a retirada dessa fração é a principal via de exportação de nutrientes.

A colheita apenas da madeira do tronco é considerada por Schumacher *et al*., (2013) como a modalidade mais conservadora de aproveitamento da biomassa, sendo a condição ideal para redução do impacto nutricional gerado pela colheita.

4.8 **Economia baseada nos cenários de exportação nutricional**

A seguir (Tabela 3.13) são demonstrados os valores dos fertilizantes, composição e peso, orçados em empresa no estado de Goiás (04/2024), os cálculos para economia gerada de acordo com os cenários de exportação nutricional são baseados nos valores descritos.

Tabela 3.13. Fertilizantes utilizados no cálculo dos cenários de exportação de nutrientes para os cinco clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO.

FERTILIZANTE	UNIDADE	COMPOSIÇÃO	VALOR (R$)
MAP	Saco de 50 kg	52% de P (26 kg)	271,05
Ureia	Saco de 50 kg	46% de N (23 kg)	193,83
Cloreto de Potássio (KCl)	Saco de 50 kg	60% de K (30 kg)	164,81

Fonte: A autora.

Na (Tabela 3.14) temos valores dos recursos que podem ser economizados de acordo com o cenário de exportação em reais R$ por hectare. Os valores se mostraram significativos do ponto de vista econômico.

Tabela 3.14. Economia relacionada aos cenários de exportação de nutrientes por hectare, considerando os diferentes cenários de colheita dos clones de estudo (AS-028, GG-2808, AS-006, GG-1069 e GG-1980), área de estudos, Morrinhos – GO.

CLONE	CENÁ-RIO	FERTILI-ZANTE	QUANTIDADE Em sacas (50kg)	ECONOMIA ESTMADA (R$)	TOTAL (R$) ha^{-1}
AS-028	2	MAP	1,01 sacas	273,76	2.401,23
		Ureia	8 sacas	1550,64	
		KCl	3,5 sacas	576,83	
	3	MAP	1,58 sacas	428,25	3.513,79
		Ureia	10,46 sacas	2027,46	
		KCl	6,42 sacas	1058,08	
GG-2808	2	MAP	0,7 sacas	189,73	2.055,69
		Ureia	7,11 sacas	1378,13	
		KCl	2,96 sacas	487,83	
	3	MAP	1,32 sacas	357,78	2.908,26
		Ureia	8,89 sacas	1723,14	
		KCl	5,02 sacas	827,34	
AS-006	2	MAP	3,1 sacas	840,25	3.487,44
		Ureia	6,6 sacas	1279,27	
		KCl	8,3 sacas	1367,92	
	3	MAP	3,5 sacas	948,67	4.314,00
		Ureia	8,8 sacas	1705,70	
		KCl	10,07 sacas	1659,63	
GG-1069	2	MAP	1,06 sacas	433,68	2.492,32
		Ureia	7,9 sacas	1531,25	
		KCl	3,2 sacas	527,39	
	3	MAP	1,6 sacas	433,68	3.460,64
		Ureia	10,6 sacas	2054,59	
		KCl	5,9 sacas	972,37	
GG-1980	2	MAP	0,7 sacas	189,73	2.096,21
		Ureia	7,2 sacas	1395,57	
		KCl	3,1 sacas	510,91	
	3	MAP	1,2 sacas	325,26	2.896,67
		Ureia	9,1 sacas	1763,85	
		KCl	4,9 sacas	807,56	

Fonte: A autora.

4.9 **Análise de investimento ou viabilidade**

Os resultados dos indicadores de viabilidade econômica obtidos em cada projeto estão descritos a seguir, contendo na primeira análise os valores correspondentes de TMA, VP(B), VP(C), TIR, VPL e VPLA mediante a venda da madeira (venda da madeira como fonte única de receita), adicionando posteriormente ao fluxo de caixa a receita proveniente da economia em insumos e fertilizantes em razão dos cenários de exportação nutricional através do sistema de

colheita florestal, na segunda análise com valores referentes ao cenário 2 (venda da madeira + economia gerada no cenário 2) e na terceira análise com os valores referentes ao cenário 3 (venda da madeira + economia gerada no cenário 3) para cada projeto (clone).

De acordo com Lima e Southier (2024) O projeto de investimento analisado pode ser considerado atrativo (ou recomendável) pela aplicação da Metodologia clássica MC, quando o valor presente do fluxo de receitas e do valor residual supera o valor presente do fluxo de desembolso. Deste modo, o PI é considerado financeiramente atrativo, quando: VPL $\geq$ 0, TIR $\geq$ TMA.

Deve-se observar que o plantio analisado foi implantado dentro de uma unidade de referência tecnológica – URT no campus do Instituto Federal Goiano no município de Morrinhos, GO pela Embrapa o que pode de alguma maneira ter influenciado nos valores referentes aos investimentos do fluxo de caixa no quesito custos operacionais, o que não pode ser considerado como fator que inviabilize os resultados da análise, informado apenas para admissão de contexto distinto das demais unidades produtivas.

A seguir são apresentados os projetos na seguinte ordem, AS-028, GG-2808, AS-006, GG1069 e GG-1980.

Projeto AS-028 com a TMA de 0,06, VP(B)= 47.493,82, VP(C)= 1.754,80, taxa de retorno TIR 124,92%, VPL de R$ 45.739,03 e VPLA= 10.858,28, considerado viável mediante resultados obtidos.

Ao acrescentar os valores referentes à economia gerada pelos cenários de exportação nutricional em razão da colheita temos para o cenário 2 uma TMA de 0,06, VP(B)= 49.288,16, VP(C)= 1.754,80, TIR de 126,69% e VPL de R$ 47.533,37 e VPLA= 11.284,25 (com economia estimada de R$ 2.401,23 por ha).

Para o cenário 3 uma TMA de 0,06, VP(B)= 50.119,53, VP(C)= 1.754,80, TIR foi de 127,50% e o VPL de R$ 48.364,74 e VPLA= 11.481,61 (com economia estimada de R$ 3.513,79 por ha).

Podemos conferir na figura 15, o diagrama representativo do fluxo de caixa para o projeto GG-1980, no cenário 1 (CN1), a única receita é proveniente da venda da madeira no quinto ano. Para o cenário 2 (CN2), a receita é composta da venda da madeira + economia gerada pelo segundo cenário de colheita. No cenário 3 (CN3), a receita é composta pela venda da madeira + economia em fertilizantes gerada pelo terceiro cenário de colheita proposto.

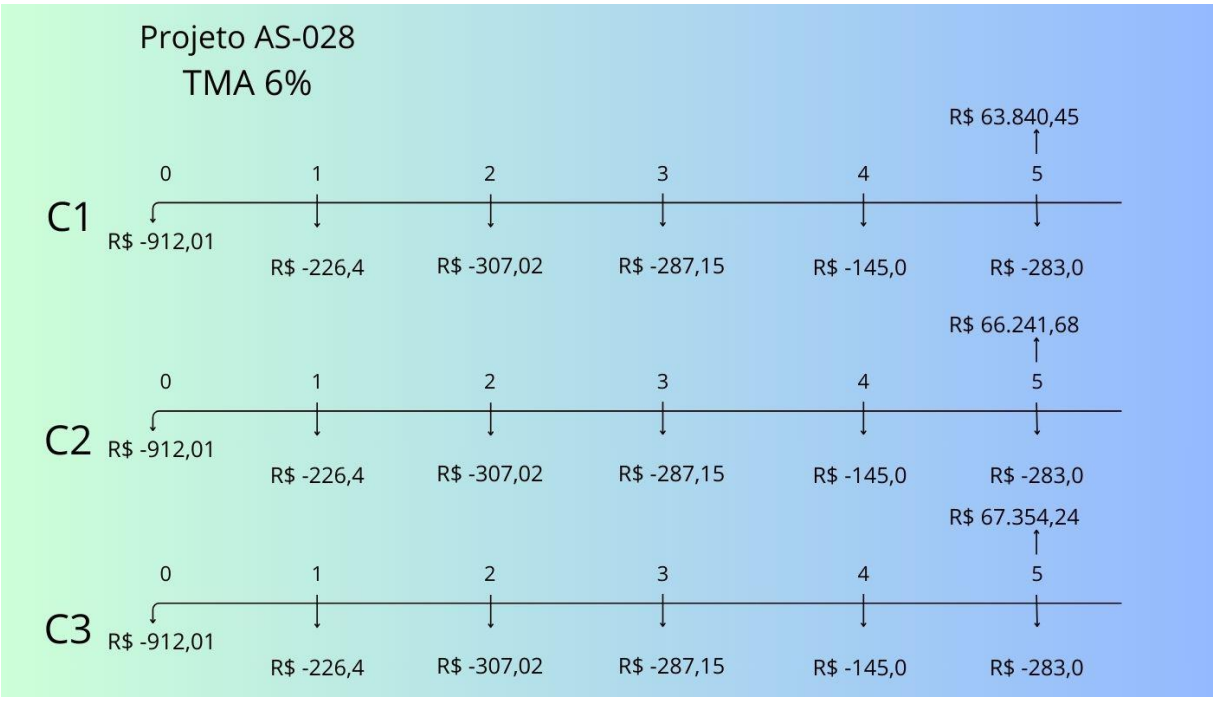

Figura 15. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto AS-028 contendo três cenários distintos de receitas. Fonte: Elaborado pela autora.

Projeto GG-2808 com a TMA de 0,06, VP(B)= 39.883,37, VP(C)= 1.754,80, taxa de retorno TIR 116,71%, VPL de R$ 38.128,58 e VPLA= 9.051,59, considerado viável mediante resultados obtidos.

Ao acrescentar os valores referentes à economia gerada pelos cenários de exportação nutricional em razão da colheita temos para o cenário 2 uma TMA de 0,06, VP(B)= 41.419,50, VP(C)= 1.754,80, TIR de 118,46% e VPL de R$ 39.664,71 e VPLA= 9.416,26 (com economia estimada de R$ 2.055,69 por ha).

Para o cenário 3 uma TMA de 0,06, VP(B)= 42.056,59, VP(C)= 1.754,80, TIR foi de 119,18% e o VPL de R$ 40.301,80 e VPLA= 9.567,50 (com economia estimada de R$ 2.908,26 por ha).

Podemos conferir na figura 16, o diagrama representativo do fluxo de caixa para o projeto GG-1980, no cenário 1 (CN1), a única receita é proveniente da venda da madeira no quinto ano. Para o cenário 2 (CN2), a receita é composta da venda da madeira + economia gerada pelo segundo cenário de colheita. No cenário 3 (CN3), a receita é composta pela venda da madeira + economia em fertilizantes gerada pelo terceiro cenário de colheita proposto.

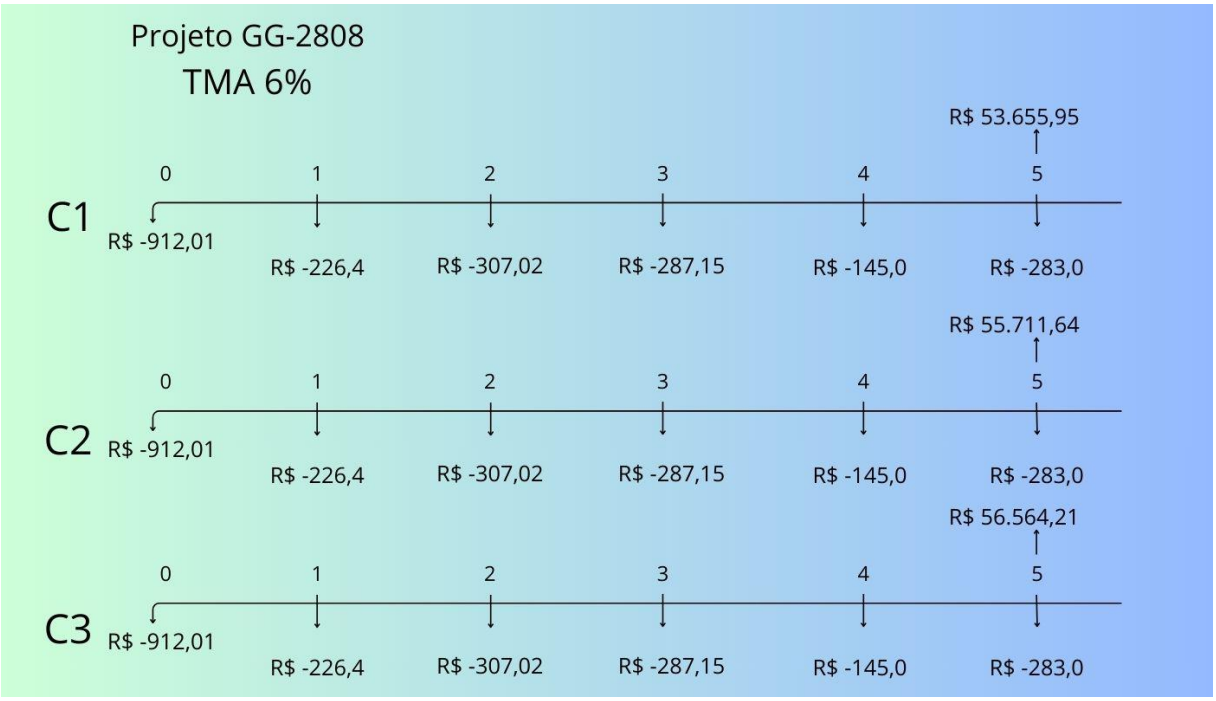

Figura 16. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto GG-2808 contendo três cenários distintos de receitas. Fonte: Elaborado pela autora.

Projeto AS-006 com a TMA= 0,06, VP(B)= 38.152,32, VP(C)= 1.754,80, taxa de retorno TIR 115,47%, VPL de R$ 36.397,52 e VPLA= 8.640,64. Considerado viável mediante resultados obtidos.

Ao acrescentar os valores referentes à economia gerada pelos cenários de exportação nutricional em razão da colheita temos para o cenário 2 temos uma TMA de 0,06, VP(B)= 40.758,34, VP(C)= 1.754,80, TIR de 118,50% e VPL de R$ 39.003,54 e VPLA= 9.259,30 (com economia estimada de R$ 3.487,44 por ha).

Para o cenário 3 TMA= 0,06, VP(B)= 41.375,99, VP(C)=1.754,80, TIR foi de 119,20% e o VPL de R$ 39.621,20 e VPLA= 9.405,93 (com economia estimada de R$ 4.314,00 por ha).

Podemos conferir na figura 17, o diagrama representativo do fluxo de caixa para o projeto GG-1980, no cenário 1 (CN1), a única receita é proveniente da venda da madeira no quinto ano. Para o cenário 2 (CN2), a receita é composta da venda da madeira + economia gerada pelo segundo cenário de colheita. No cenário 3 (CN3), a receita é composta pela venda da madeira + economia em fertilizantes gerada pelo terceiro cenário de colheita proposto.

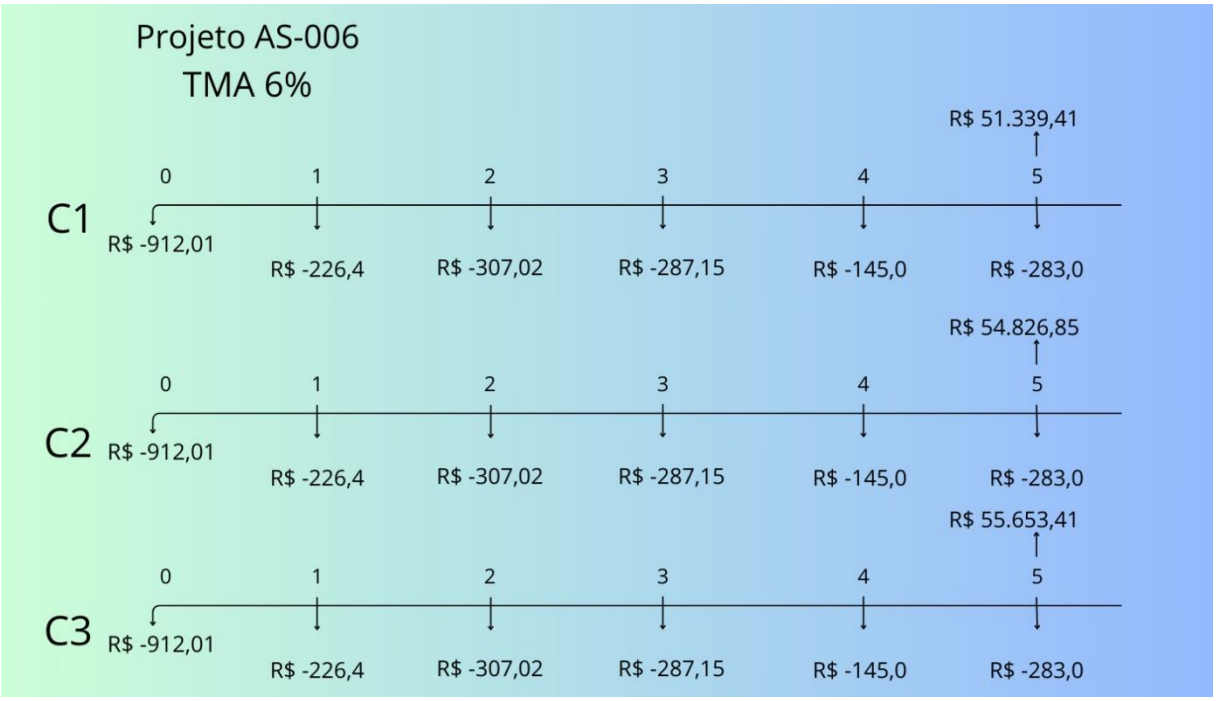

Figura 17. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto AS-006 contendo três cenários distintos de receitas. Fonte: Elaborado pela autora.

Projeto GG-1069 com a TMA= 0,06, VP(B)= 39.883,37 , VP(C)= 1.754,80, taxa de retorno TIR 116,71%, VPL de R$ 38.098,57 e VPLA= 9.044,46 . Considerado viável mediante resultados obtidos.

Ao acrescentar os valores referentes à economia gerada pelos cenários de exportação nutricional em razão da colheita temos para o cenário 2 uma TMA de 0,06, VP(B)= 41.745,78 VP(C)= 1.754,80, TIR de 118,83% e VPL de R$ 39.960,59 e VPLA= 9.486,59 (com economia estimada de R$ 2.492,32 por ha).

Para o cenário 3 TMA= 0,06, VP(B)= 42.469,36, VP(C)=1.754,80, TIR foi de 119,63% e o VPL de R$ 40.684,56 e VPLA= 9.658,37 (com economia estimada de R$ 3.460,64 por ha).

Podemos conferir na figura 18, o diagrama representativo do fluxo de caixa para o projeto GG-1980, no cenário 1 (CN1), a única receita é proveniente da venda da madeira no quinto ano. Para o cenário 2 (CN2), a receita é composta da venda da madeira + economia gerada pelo segundo cenário de colheita. No cenário 3 (CN3), a receita é composta pela venda da madeira + economia em fertilizantes gerada pelo terceiro cenário de colheita proposto.

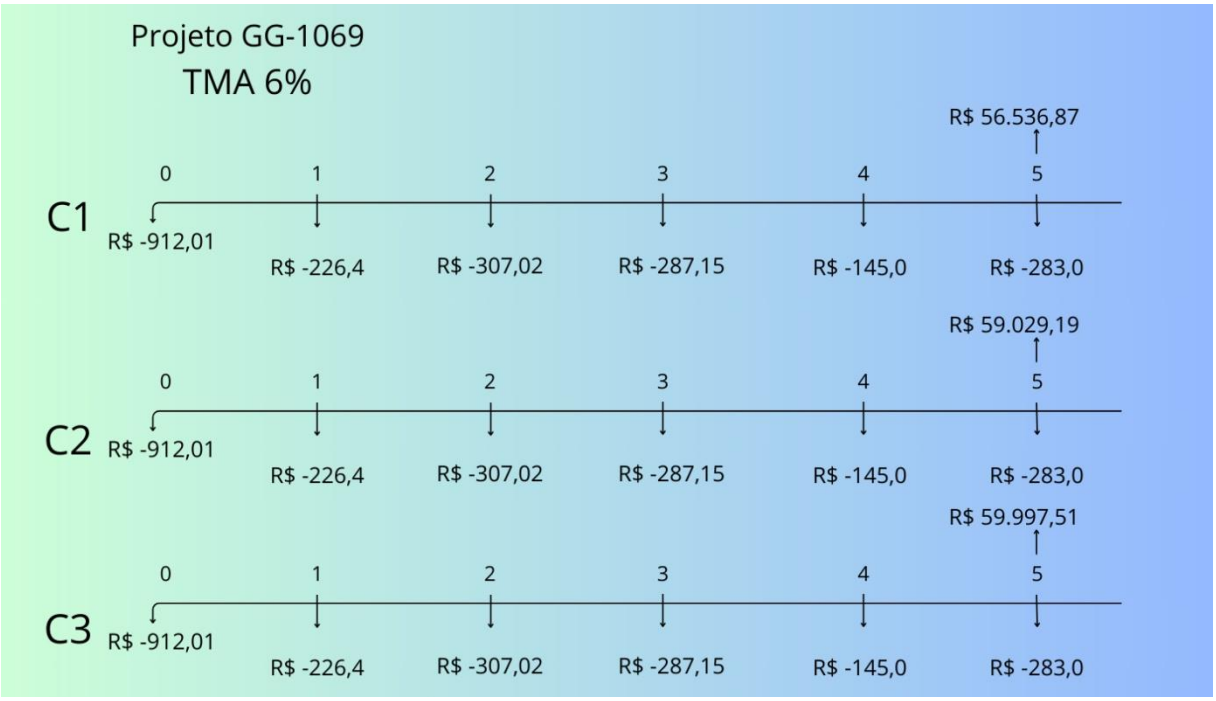

Figura 18. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto GG-1069 contendo três cenários distintos de receitas. Fonte: Elaborado pela autora.

Projeto GG-1980 com a TMA= 0,06, VP(B)= 38.624,03 , VP(C)= 1.754,80, taxa de retorno TIR 115,23%, VPL de R$ 36.839,23 e VPLA= 8.745,50 . Considerado viável mediante resultados obtidos.

Ao acrescentar os valores referentes à economia gerada pelos cenários de exportação nutricional em razão da colheita temos para o cenário 2 uma TMA de 0,06, VP(B)= 40.190,44 VP(C)= 1.754,80 uma TIR de 117,07% e VPL de R$ 38.405,64 e VPLA= 9.117,36 (com economia estimada de R$ 2.096,21 por ha).

Para o cenário 3 TMA= 0,06, VP(B)= 40.788,59, VP(C)=1.754,80 TIR foi de 117,75% e o VPL de R$ 39.003,79 e VPLA= 9.259,36 (com economia estimada de R$ 2.896,67 por ha).

Podemos conferir na figura 19, o diagrama representativo do fluxo de caixa para o projeto GG-1980, no cenário 1 (CN1), a única receita é proveniente da venda da madeira no quinto ano. Para o cenário 2 (CN2), a receita é composta da venda da madeira + economia gerada pelo segundo cenário de colheita. No cenário 3 (CN3), a receita é composta pela venda da madeira + economia em fertilizantes gerada pelo terceiro cenário de colheita proposto.

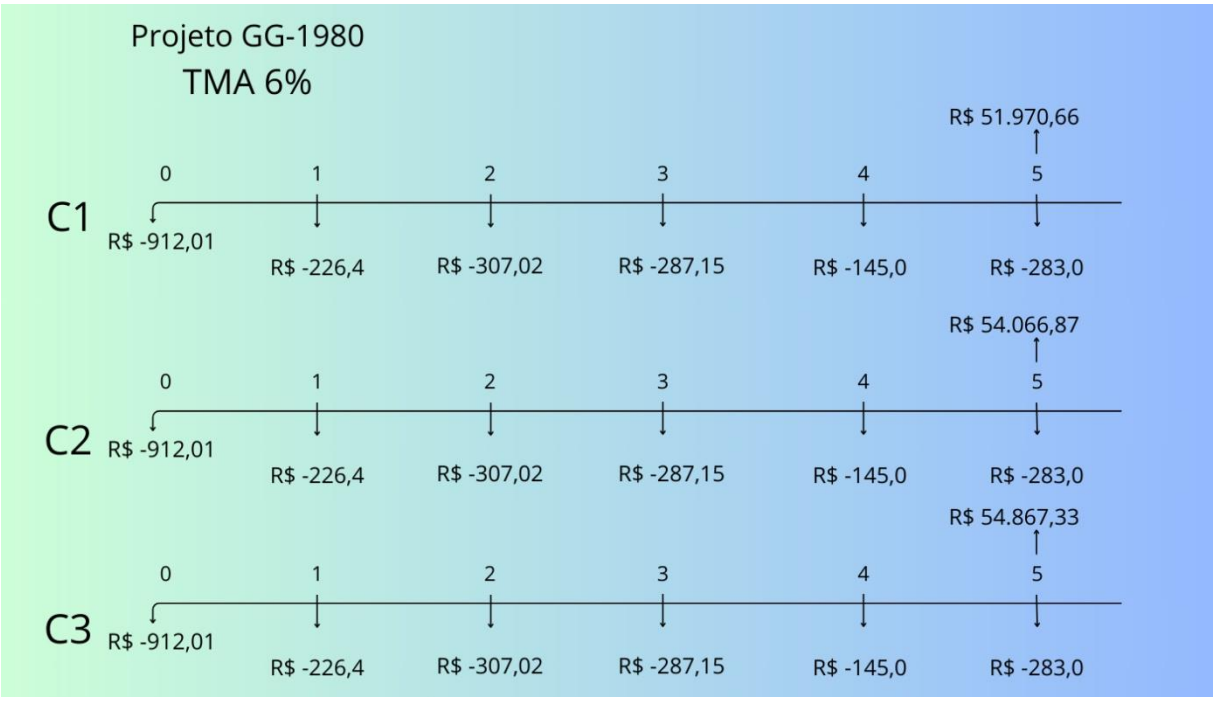

Figura 19. Diagrama do fluxo de caixa para o projeto GG-1980 contendo três cenários distintos de receitas. Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nos resultados obtidos, todos os projetos foram considerados atrativos (ou recomendáveis) pela aplicação da Metodologia clássica MC, pois o valor presente do fluxo de receitas e do valor residual supera o valor presente do fluxo de desembolso. Deste modo, os projetos são considerados financeiramente atrativos, pois: VPL ≥ 0, TIR $\geq$ TMA.

4.10 **Considerações finais**

Todos os cinco clones avaliados nesse estudo apresentaram produção de biomassa significativa mesmo em comparação à plantios puros.

Os estoques nutricionais nos clones estudados forneceram informações fundamentais para os cálculos de economia gerada em virtude do sistema de colheita, demonstrando o potencial de ganhos ecológicos e econômicos com a adoção de sistemas de colheita com menor taxa de exportação de nutrientes.

Todos os projetos foram considerados financeiramente atrativos ou recomendáveis, porém deve-se destacar que a análise de viabilidade foi realizada somente para o componente florestal, recomenda-se, portanto, avaliar os demais componentes do sistema afim de obter valores de investimento e receitas mais próximos do real.

4.11 **Referências**

AMORIM, V. et al. Os benefícios ambientais do plantio de eucalipto: revisão de literatura. **Research, Society and Development**. v. 10, p. e318101119604. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354377963_Os_beneficios_ambientais_do_plantio_de_eucalipto_revisao_de_literatura. Acesso em: 22 de jul. de 2024.

ANDRAE, F. H. **Ecologia Florestal**. Santa Maria: UFSM, 1978. 230 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: madeira, determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco Referencial: integração lavoura-pecuária-floresta.** Brasília, DF: Embrapa, 2011a. 130 p.

BALBINO, L. C.; KICHEL, A. N. (in memoriam); BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. Sistemas de integração: conceitos, considerações, contribuições e desafios. In: BUNGENSTAB et al., (ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap.1. p.31-48. 2019.

BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK R.A.; SILVA, H.D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de Eucalyptus com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**. V.56, p.31–41, 2008.

BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. **FAO - Forestry paper - Forest Resources Assessment.** 1997. 58 p

CALDAS, D. J. **Bioenergia e estoque de carbono de clones de Eucalyptus spp. em sistema integrado de produção**. 2023. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2023.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes- Floresta Ombrófila Mista Montana- Paraná. **Revista Acadêmica.** v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; VIEIRA, M.; BALDINOT, R.; CASTRO, K. C. Biomassa e carbono orgânico em povoamentos de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze. **Ciência Florestal**. v. 25, n. 4, 2015.

CALIL, F. N.; VIERA, M; SCHUMACHER, M. V.; LOPES, V. G.; WITSCHORECK, R. Biomassa e nutrientes em sistema agrossilvicultural no extremo sul do Brasil. **Ecologia e Nutrição Florestal**. v. 1, n. 2, p. 80-88, out. 2013.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de Sequestro de carbono em diferentes Biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 277-289, 2010.

CASTRO, V. G.; PARCHEN, C. F. A.; IWAKIRI, S. **Produção de compósitos madeira-cimento de baixa densidade pelo método vibro-dinâmico de compactação**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 24, n. 2, 2019.

CAVALCANTI, A. C. et al. Cartilha: O Eucalipto em Goiás. **SEBRAE**, Goiás, 2019.

CLIMATE- DATA.ORG. **Acompanhamento do clima**. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/morrinhos-43441/. Acesso em: 21 julho, 2024.

COELHO JÚNIOR, J. M. L. P. **Biomassa e volumetria de híbridos de Eucalyptus Urograndis em sistema de integração lavoura-pecuária floresta (ILPF) na região sul de Goiás**. 2015. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

CUNHA, T. Q. G. DA; SANTOS, A. C.; NOVAES, E.; HANSTED, A. L. S.; YAMAJI, F. M.; SETTE JR, C. R. Eucalyptus expansion in Brazil: Energy yield in new forest frontiers. **Biomass and Bioenergy**, v. 144, 2021.

CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: Young, C. T. e C. B. Davey. (Eds.). **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, p. 313–326, 1970.

DA SILVA, O. A. P. et al. Macro- and Micronutrient Contents and Their Relationship with Growth in Six Eucalyptus Species. **Sustainability**, v. 15, n. 22, p. 15771, jan. 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/15771. Acesso em: 22 de jul. 2024.

DE LACERDA, J. S. Estimativa da Biomassa e Carbono em Áreas Restauradas com Plantio de Essências Nativas. **METRVM**. 2009.

GARLET, C. **Balanço nutricional e sustentabilidade da produtividade de povoamentos de Eucalyptus dunnii Maiden em função do método de colheita da madeira.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p.

72, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/handle/1/23660. Acesso em: 22 de jul. 2024.

GOMES, F. J.; BOSI, C.; PEDREIRA, B. C.; SANTOS, P. M.; PEDREIRA, C. G. S. Parameterization of the APSIM model for simulating palisadegrass growth under continuous stocking in monoculture and in a silvopastoral system. **Agricultural System**, v. 184, n. 1, p. 102876, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102876. Acesso em: 15 de jul. 2024.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 1-57, 2000.

GUIMARÃES, C. C. **Biomassa e Nutrientes em Plantios de Eucaliptos no Bioma Pampa.** 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais e Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

HAAG, H. P. A nutrição mineral e o ecossistema. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 49-52., 1987.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Produção da extração vegetal e da silvicultura 2022. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. v. 37, p. 1–8, 2023. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2022_v37_informativo.pdf. Acesso em: 15 de jul. de 2024.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. Climate change 2001 – **Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. McCarthy, J. J. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. 2001.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972, 745 p.

LACERDA, M. S. **Plantio De Eucalipto E O Serviço Ecossistêmico De Captura E Armazenamento de Carbono**. 2022. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, Goiânia, 2022.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.** v. 363, ed. 1492, p.815-830. 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185. Acesso em 22 de jul. 2024.

LANDSBERG, J. J. Physiological ecology of forest production. London: Academic Press, 1986. 198p.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010.

OLIVEIRA, A. G. S. DOS S. **Biomassa, carbono e nutrientes na parte aérea de três espécies florestais em uma área de caatinga na região de Upanema/RN**. Monografia, Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais, Engenharia Florestal – Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, Mossoró, p. 47. 2020. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/items/9068ad93-0375-4373-9c21-a00bd001f0e8. Acesso em: 22 de jul. 2024.

OLIVEIRA, R. S.; DOLÁCIO, C. J. F.; MOSSATO, E. C.; MAYER, S. C. S.; SILVA, D. A. Estoque de carbono e energia em plantios de Eucalyptus na região norte do Brasil. **Agroecossistemas**. 2020.

PRITCHETT, W. L. Suelos forestales: propriedade, conservación y mejoramento. México: Limusa Noriega, 1990. 634 p.

RAVEN, P. H.; EICHHORN, S. E.; EVERT, R. F. **Biologia Vegetal** - 8ª Edição. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. 2014. 1637p.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; RESENDE, G. C. de; BARROS, N. F. de. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de Eucalyptus grandis plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, n. 2, p.149-162, dez. 1985.

RÜGNITZ, T. M.; CHACÓN, L. M.; PORRO, R. **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. Belém: Centro Mundial Agroflorestal: Consórcio Iniciativa Amazônica, 2009. 81 p.

RYAN, M. G., STAPE, J. L.; FONSECA, S. Factors controlling Eucalyptus productivity: how water availabilityand stand structure alter production and carbon allocation**. Forest Ecology and Management**. 2010.

SALDANHA, M. A. et al. Estimativa do estoque de carbono em um povoamento de Eucalyptus sp. de 25 anos estabelecido no Sul do Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, [*S. l.*], v. 10, n. 1, p. 81–89, 24 mar. 2023. Disponível em: https://periodicos.univille.br/ABC/article/view/1966. Acesso em: 22 de jul. 2024.

SANQUETTA, C. R. et. al. Dynamics of carbon and CO2 removals by Brazilian forest plantations during 1990-2016. **Carbon Balance and Management**. 2018. Disponível em: doi: https://doi.org/10.1186/s13021- 018-0106-4. Acesso em 05 de ago. 2024.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R; ZILIOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S. **As florestas e o carbono**. Curitiba. 2002. p.l 19-140.

SANTOS, H.G. et. al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Ed. 3. Brasília, DF. **Embrapa**, 2013. p. 353.

SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de Eucalyptus globulus (labillardière) sub-espécie maidenii. **Ciência Florestal**, v.11, n.1, p.45-53, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A complexidade dos ecossistemas**. Porto Alegre: Pallotti, 1997. 50 p.

SCHUMACHER, M. V., WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de Eucalyptus spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**. v. 21, n. 1, p.17-22, 2011.

SILVA, D. F.; PARIZZI, C. Análise da viabilidade econômico-financeira do projeto de abertura de uma empresa de alimentação coletiva. **Revista Científica do Claretiano**. v.6. n.1, jan/jun, 2016.

SILVA, H. A. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: cienciometria, biomassa florestal e raízes de forrageiras**. 2021. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

SILVA, M. E. S. **Interação biosfera-atmosfera**. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005. Anais... do X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005 – Universidade de São Paulo. p.14641-14657. 2005.

TOLOSANA, E.; R. LAINA, R.; AMBROSIO, Y.; MARTÍN M. Residual biomass recovery from fully-mechanized delayed thinnings on Spanish Pinus spp. Plantations. **Biomass and Bioenergy**, v. 71, p. 49-52. 2014.

VELOZO, A. P. **Biomassa e estoque de nutrientes no componente arbóreo e na serapilheira em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta na região sul de Goiás**. 2021. 115 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Escola de Agronomia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Biomassa e macronutrientes de uma floresta estacional decidual em Itaara-RS, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 37, n.1, p. 99-105, 2013.

WINK, C.; et.al. Biomassa e nutrientes de eucalipto cultivado em sistema agrossilvipastoril. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. especial, p. 754-762, dez. 2018.

WU, M., DONKE, G. M. & DEO, R. K. Using matrix models to estimate aboveground forest biomass dynamics in the eastern USA through various combinations of LiDAR, Landsat, and forest inventory data. **Environmental Research Letters**. 2018.

YUKIMITU, F. F. **Biomassa e nutrientes no fuste e folhas de Eucalipto em resposta ao manejo da adubação**. Monografia (Graduação em Engenharia Agronômica), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, p. 47. 2023. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/items/78441e05-c45d-4edb-bc09-f9ccc5df900a. Acesso em: 22 de jul. 2024.

RELEVÂNCIA SOCIAL

Mediante ao aumento populacional mundial e a crescente demanda por alimentos e fontes de energia, os sistemas integração pecuária-floreta (IPF) que é uma das variações do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), se mostram como alternativas mais sustentáveis, onde o processo produtivo busca sinergia entre os componentes do sistema, visando maior produtividade e menor impacto ambiental, tornando-se economicamente atraentes para os produtores em virtude da diversificação de renda, maior estabilidade financeira em relação aos fatores climáticos, aumento da qualidade dos produtos e consequentemente obtendo maior valor agregado aos produtos junto ao mercado consumidor.

Ambientalmente a ILPF, se bem conduzida demonstra grande potencial mitigador dos gases de efeito estufa, ocasionando intensificação da ciclagem de nutrientes, redução aos danos no solo melhorando as condições ambientais do sistema, podendo ser adotada para recuperação de áreas degradas de lavoura ou pastagem.

Para a sociedade em geral, a produção de alimentos, energia e a sustentabilidade são fundamentais para manutenção da qualidade de vida no planeta, tornando pesquisas sobre os sistemas produtivos e seus impactos fundamentais e de grande relevância social.

No que se refere aos produtores, os dados obtidos nesse estudo podem contribuir para o conhecimento dos fatores produtivos, nutricionais e econômicos do IPF, embasando uma tomada de decisão assertiva pela adoção ou não do sistema.

Em relação à relevância científica, este estudo compilou informações relevantes que podem contribuir para o avanço da divulgação e adoção desses sistemas.

No âmbito pessoal essa pesquisa contribuiu com o desenvolvimento intelectual e profissional da pesquisadora, tornando-se capaz de compreender e se apropriar da discussão relativa aos sistemas de produção agropecuária no país e várias de suas nuances.