

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
- *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Luís Filipe Moreira Soyer

**COMPARAÇÃO DO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL DE DIFERENTES
ESPÉCIES E HÍBRIDOS DE *EUCALYPTUS SPP.* E *CORYMBIA SPP.* SUBMETIDOS
À HIDRODESTILAÇÃO**

São João Evangelista

2026

LUIS FILIPE MOREIRA SOYER

**COMPARAÇÃO DO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL DE DIFERENTES
ESPÉCIES E HÍBRIDOS DE *EUCALYPTUS SPP.* E *CORYMBIA SPP.* SUBMETIDOS
À HIDRODESTILAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Edgard Geraldo Bertoli Trindade

São João Evangelista

2026

S731c Soyer, Luís Filipe Moreira.
 Comparação do rendimento de óleo essencial de
diferentes espécies e híbridos de *Eucalyptus spp.* e
Corymbia spp. submetidos à hidrodestilação / Luís Filipe
Moreira Soyer – 2026.
 39f.: il.

 Orientador: Dr. Edgard Geraldo Bertoli Trindade.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em
Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus*
São João Evangelista, 2026.

 1. Extração de óleo essencial. 2. Hidrodestilação tipo
Clevenger. 3. Eucalipto. 4. Óleo de eucalipto. 5. Híbridos
florestais I. Soyer, Luís Filipe Moreira. II. Instituto Federal
de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 634.973

Luís Filipe Moreira Soyer

**COMPARAÇÃO DO RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL DE DIFERENTES
ESPÉCIES E HÍBRIDOS DE *EUCALYPTUS SPP.* E *CORYMBIA SPP.* SUBMETIDOS
À HIDRODESTILAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* São
João Evangelista, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em: 18/06/2026 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **EDGARD GERALDO BERTOLI TRINDADE**
Data: 18/06/2026 18:05:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Edgard Geraldo Bertoli Trindade – IFMG

Documento assinado digitalmente
 **MARIA RITA RAMOS MAGALHAES**
Data: 18/06/2026 18:12:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ma. Maria Rita Ramos Magalhães – IFMG

Documento assinado digitalmente
 **IVAN DA COSTA ILHEU FONTAN**
Data: 18/06/2026 18:33:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan – IFMG

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio incondicional e por nunca medirem esforços para que eu alcançasse meus objetivos. À minha família, que sempre acreditou em mim mesmo nos momentos mais difíceis. Dedico esta conquista a todos que fizeram parte da minha trajetória acadêmica e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força e sabedoria durante toda esta caminhada.

Aos meus pais e familiares, pelo apoio, incentivo e compreensão nos momentos de dificuldade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edgard Geraldo Bertoli Trindade, pela orientação, paciência e pelos conhecimentos compartilhados ao longo deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista e todos os professores, pela estrutura e oportunidade de formação acadêmica.

Aos amigos e colegas de curso, pelo companheirismo, apoio e momentos vividos durante essa trajetória.

RESUMO

Os óleos essenciais de espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam ampla aplicação nos setores farmacêutico, cosmético, alimentício e agrícola, sendo seu rendimento influenciado por fatores genéticos, fisiológicos e ambientais. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o teor de umidade, o teor de matéria seca, o rendimento e a densidade do óleo essencial de diferentes espécies e híbridos de eucalipto cultivados no Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. Foram avaliados quatro materiais genéticos: *Eucalyptus urophylla* (C1), *Corymbia torelliana* × *Corymbia citriodora* (C2), *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* (C3) e *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis* (C4). As folhas foram coletadas, fragmentadas e submetidas à hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger com tempo de extração de três horas e temperatura de 100°C. Foi utilizada uma proporção massa/massa de 1:10 de folhas em relação à água. Foram determinados os teores de umidade em base seca e úmida, matéria seca das folhas e o rendimento e densidade dos óleos essenciais obtidos por hidrodestilação. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, 5%) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade quando observada diferença estatística pela ANOVA. Os clones C3 e C4 apresentaram os maiores teores de umidade e os menores teores de matéria seca. O maior rendimento de óleo essencial foi observado no clone C4, com 16,07 mL kg⁻¹ de matéria seca, seguido pelo clone C3, com 10,05 mL kg⁻¹. Não foi observada diferença estatística pela ANOVA (5%) para a densidade dos óleos, uma vez que esta propriedade apresentou baixa variação absoluta, se inserindo entre 0,843 e 0,920 g cm⁻³. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que os híbridos C3 e C4 avaliados apresentaram o maior potencial para produção de óleo essencial, com destaque para o *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis* (C4), confirmando que a hibridização pode ser responsável pelo aumento do rendimento de óleo essencial.

Palavras-chave: Extração de óleo essencial. Hidrodestilação tipo Clevenger. Eucalipto. Óleo de eucalipto. Híbridos florestais.

ABSTRACT

Essential oils from species of the genus *Eucalyptus* have wide applications in the pharmaceutical, cosmetic, food, and agricultural sectors, and their yield is influenced by genetic, physiological, and environmental factors. This study aimed to evaluate moisture content, dry matter content, essential oil yield, and density in different eucalyptus species and hybrids cultivated at the Federal Institute of Minas Gerais – São João Evangelista Campus. Four genetic materials were evaluated: *Eucalyptus urophylla* (C1), *Corymbia torelliana* × *Corymbia citriodora* (C2), *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* (C3), and *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis* (C4). The leaves were collected, fragmented, and subjected to hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus for an extraction period of three hours at 100°C. A leaf-to-water mass ratio of 1:10 was used. Moisture content on both dry and wet bases, leaf dry matter content, as well as the yield and density of the essential oils obtained by hydrodistillation, were determined. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA, 5%), and means were compared using Tukey's test at the 5% significance level whenever a significant effect was detected by ANOVA. Clones C3 and C4 exhibited the highest moisture contents and the lowest dry matter contents. The highest essential oil yield was observed for clone C4, reaching 16.07 mL kg⁻¹ of dry matter, followed by clone C3 with 10.05 mL kg⁻¹. No statistically significant difference was observed by ANOVA (5% significance level) for the oil density, as this property exhibited low absolute variation, ranging from 0.843 to 0.920 g cm⁻³. Based on the obtained results, it can be concluded that the evaluated C3 and C4 hybrids exhibited the greatest potential for essential oil production, with particular emphasis on the *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis* (C4) hybrid, confirming that hybridization may be responsible for increasing essential oil yield.

Keywords: Essential oil extraction. Clevenger-type hydrodistillation apparatus. *Eucalyptus*. *Eucalyptus* essential oil. Forest hybrids.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Plantio experimental das espécies e híbridos utilizados no presente estudo, localizadas no viveiro do IFMG – Campus São João Evangelista.....	14
Figura 2 - Coleta do material vegetal em campo, onde A) Indivíduo da espécie <i>Eucalyptus urophylla</i> e B) Coleta do material vegetal.....	15
Figura 3 - Determinação dos teores de umidade e matéria seca do material vegetal, onde A) Amostragem em triplicatas e B) Determinação da massa úmida e C) Amostras secando em estufa para determinação da massa seca.....	16
Figura 4 - Preparo do material vegetal para extração de óleo essencial, onde A) Folhas sendo preparadas para extração e B) Material vegetal em granulometria aproximada de 5 cm x 0,5 cm.....	18
Figura 5 - Processo de extração de óleo essencial. Vegetal. A) Pesagem do material vegetal e B) Material vegetal submetido à hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger e C) Óleo essencial extraído do material vegetal durante o processo de hidrodestilação.....	19
Figura 6 - Médias, desvio padrão e resultados do Teste de Médias de Tukey (5%) para rendimento de óleo essencial dos clones em estudo.....	26
Figura 7 - Médias, desvio padrão e resultado do Teste de Médias de Tukey (5%) para densidade dos óleos essenciais dos clones em estudo.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos tratamentos e repetições utilizados no presente estudo.....	13
Tabela 2 - Médias obtidas para Teor de Umidade em Base Seca (UBS), Teor de Umidade em Base Úmida (UBU) e Teor de Matéria Seca (TMS) para os clones em estudo. Médias seguidas de letras apresentaram diferença significativa pela ANOVA (5%). Médias seguidas de mesma letra podem ser consideradas iguais pelo Teste de Médias de Tukey (5%). Desvio padrão entre parênteses.....	22
Tabela 3 - Médias obtidas para Rendimento e Densidade dos óleos essenciais para os clones em estudo. Médias seguidas de letras apresentaram diferença significativa pela ANOVA (5%). Médias seguidas de mesma letra podem ser consideradas iguais pelo Teste de Médias de Tukey (5%). Desvio padrão entre parênteses.....	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1	Área experimental e coleta do material vegetal	13
2.2	Teor de umidade e teor de matéria seca	15
2.3	Preparo da matéria vegetal para extração	17
2.4	Extração do óleo essencial	18
2.5	Cálculo do rendimento de óleo essencial	19
2.6	Determinação experimental e análise estatística.....	20
2.7	Delineamento experimental e análise estatística.....	20
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.1	Teor de umidade em base seca, base úmida e matéria seca	22
3.2	Rendimento e densidade de óleo essencial.....	23
4	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, é originário da Austrália e apresenta ampla diversidade genética, com aproximadamente 700 espécies e subespécies descritas. Introduzido no Brasil no início do século XX, o eucalipto demonstrou elevada adaptação às condições edafoclimáticas do país, consolidando-se como uma das principais culturas florestais brasileiras. Embora sua exploração esteja historicamente associada à produção de madeira para celulose, papel, energia e construção civil, as folhas dessas espécies também representam importante fonte de óleos essenciais, constituindo um Produto Florestal Não Madeireiro (PFNM) de elevado valor agregado (SILVEIRA; LAZZAROTTO, 2021). Na produção de óleos essenciais, destacam-se também espécies do gênero *Corymbia*, pertencente à família Myrtaceae e nativo da Austrália. Embora suas espécies tenham sido classificadas por muitos anos dentro do gênero *Eucalyptus*, atualmente constituem um gênero distinto, reconhecido pelo elevado potencial de produção de óleos essenciais. Nesse contexto, a espécie *Corymbia citriodora* merece destaque devido à ampla utilização comercial de seu óleo essencial (REIS *et al.*, 2013).

Os óleos essenciais são misturas complexas de compostos voláteis produzidos pelo metabolismo secundário vegetal, armazenados em estruturas secretoras como glândulas foliares. Esses compostos exercem funções ecológicas relacionadas à defesa contra herbívoros, adaptação a estresses ambientais e atração de polinizadores (AZIZ *et al.*, 2018). Além disso, possuem grande relevância econômica devido às suas aplicações nas indústrias farmacêutica, cosmética, alimentícia e agrícola.

A composição química dos óleos essenciais de eucalipto é predominantemente formada por monoterpenos e sesquiterpenos, variando conforme a espécie, híbrido e condições de cultivo. Entre os principais compostos destacam-se o 1,8-cineol (eucaliptol), característico de espécies como *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus camaldulensis*, e o citrôn timerlal, predominante em *Corymbia citriodora* (VITTI; BRITO, 2003). Compostos como α -pineno, limoneno e α -terpineol também conferem propriedades de interesse industrial e farmacológico (PEREIRA, 2010). Em razão dessa composição química, os óleos essenciais apresentam atividades antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória, inseticida e antifúngica (SILVA *et al.*, 2024).

O rendimento e a composição química dos óleos essenciais sofrem influência de fatores ambientais e genéticos, como sazonalidade, manejo, idade das folhas, espécie e híbrido utilizados (ANDRADE; GOMES, 2000). Considerando que o rendimento e a composição química dos óleos essenciais são determinados pela interação entre fatores genéticos e

ambientais, a hibridização destaca-se como uma importante ferramenta nos programas de melhoramento florestal. Essa estratégia permite reunir características desejáveis de diferentes espécies ou genótipos, contribuindo para o desenvolvimento de materiais com maior potencial produtivo, composição química de interesse comercial e melhor adaptação às condições ambientais. Além dos ganhos silviculturais, híbridos podem apresentar diferenças significativas no teor e na composição dos óleos essenciais em função da recombinação genética entre espécies parentais (HENRIQUE, 2018).

Diversos métodos podem ser empregados na extração de óleos essenciais, destacando-se a destilação por arraste a vapor, hidrodestilação, extração por solventes orgânicos, extração assistida por micro-ondas e extração por fluido supercrítico (KANT; KUMAR, 2022). Entre essas técnicas, a hidrodestilação utilizando aparelho de Clevenger permanece amplamente empregada em pesquisas laboratoriais devido à simplicidade operacional, baixo custo e boa eficiência na recuperação de compostos voláteis (AZIZ *et al.*, 2018).

Apesar da ampla utilização comercial de algumas espécies tradicionais, muitos híbridos florestais ainda carecem de caracterização quanto ao potencial para produção de óleo essencial. Considerando que a hibridização é uma prática amplamente utilizada nos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*, há grande interesse em avaliar se essa estratégia genética é capaz de influenciar a produção e o rendimento de óleo essencial presente nas folhas dessas espécies.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo comparar o rendimento de óleo essencial de *Eucalyptus urophylla* (C1); *Corymbia torelliana* × *Corymbia citriodora* (C2); *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* (C3) e *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis* (C4) submetidos ao processo de extração de óleos essenciais por hidrodestilação, contribuindo para a identificação de materiais genéticos com maior potencial produtivo para o setor florestal brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental e coleta do material vegetal

O material vegetal utilizado no presente estudo apresenta idade aproximada de 7 anos foi coletado em plantios experimentais do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Campus São João Evangelista, localizado no município de São João Evangelista/MG. As coletas foram realizadas durante o mês de abril de 2026, sob coordenadas geográficas 18.553407° S, 42.753345° W. Para o município de São João Evangelista (MG), a classificação climática de Köppen, segundo o mapa climático de Alvares *et al.* (2013), é predominantemente Cwa, caracterizada como clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente. Esse tipo climático apresenta estação chuvosa concentrada no verão e período seco no inverno, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C.

Foram avaliadas quatro espécies/híbridos de eucalipto. Os indivíduos utilizados no experimento podem ser observados na Tabela 1 e Figura 1.

Tabela 1 – Distribuição dos tratamentos e repetições utilizados no presente estudo

Espécie	Sigla
<i>Eucalyptus urophylla</i>	C1
<i>Corymbia torelliana</i> × <i>citriodora</i>	C2
<i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>grandis</i>	C3
<i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>grandis</i> × <i>camaldulensis</i>	C4

Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Figura 1 – Plantio experimental das espécies e híbridos utilizados no presente estudo, localizadas no viveiro do IFMG – Campus São João Evangelista



Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Cada tratamento foi constituído por um único indivíduo (matriz), de onde foram retiradas as amostras de folha usadas para a determinação das variáveis analisadas. As espécies utilizadas vieram de um grupo de plantas morfológicamente e geneticamente semelhantes, capazes de cruzar entre si e gerar descendentes férteis, e que compartilham uma história evolutiva comum. Ressalta-se que as plantas passaram por podas anuais para redução de copa, como parte do manejo silvicultural do cultivo, não relacionadas ao objetivo deste estudo.

Quanto à coleta do material, as folhas foram coletadas sempre às 6h da manhã, visando minimizar possíveis interferências relacionadas ao ciclo circadiano e às variações fisiológicas decorrentes do horário de coleta, sendo este um procedimento comum em estudos relacionados à extração de óleo essencial. A amostragem foliar foi composta por folhas retiradas das porções superior, intermediária e inferior da copa, em proporções equivalentes, com o objetivo de avaliar a disponibilidade real de aproveitamento de folhas para extração de óleo essencial. Uma exemplificação de coleta pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Coleta do material vegetal em campo. A) Indivíduo da espécie *Eucalyptus urophylla* e b) Coleta do material vegetal



Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

2.2 Teor de umidade e teor de matéria seca

Após a coleta, foi realizada a determinação do teor de umidade e da matéria seca das folhas, foram utilizadas três repetições para cada indivíduo pertencente aos tratamentos avaliados. Inicialmente, as amostras foliares tiveram sua massa úmida determinada em balança analítica de precisão, imediatamente após a coleta do material vegetal. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C por um período de 72 horas, até obtenção de massa constante. Esse procedimento foi realizado pelo método gravimétrico com secagem em estufa. O processo de determinação do teor de umidade e matéria seca pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Determinação dos teores de umidade e matéria seca do material vegetal. A) Amostragem em triplicatas e B) Determinação da massa úmida e C) Amostras secando em estufa para determinação da massa seca



Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Após a secagem, as amostras foram novamente pesadas para obtenção da massa seca, utilizando-se o método gravimétrico para determinação da umidade e do teor de matéria seca das folhas. O Teor de Umidade em Base Seca (UBS) das amostras foi calculado conforme a Equação 1 e o Teor de Umidade em Base Úmida (UBU), conforme a Equação 2. O teor de matéria seca foi determinado conforme a Equação 3:

Equação 1

$$UBS(\%) = \frac{MU - MS}{MS} \times 100$$

Em que:

UBS = teor de umidade em base seca (%);

MU = massa úmida da amostra (g);

MS = massa seca da amostra (g).

Equação 2

$$UBU(\%) = \frac{MU - MS}{MU} \times 100$$

Em que:

UBU = teor de umidade em base úmida (%);

MU = massa úmida da mostra (g);

MS = massa seca da amostra (g).

Equação 3

$$TMS(\%) = \frac{MS}{MU} \times 100$$

Em que:

TMS = teor de matéria seca (%);

MU = massa úmida da amostra (g);

MS = massa seca da amostra (g).

Os valores de matéria seca obtidos foram posteriormente utilizados para o cálculo do rendimento do óleo essencial em base seca (mL kg⁻¹ de matéria seca), permitindo maior padronização e comparabilidade entre os tratamentos avaliados.

2.3 Preparo da matéria vegetal para extração

Após a determinação do teor de umidade e da matéria seca das folhas, as folhas foram submetidas à fragmentação manual com auxílio de tesoura, padronizando-se partículas com dimensões aproximadas de 5 cm de comprimento por 0,5 cm de largura. A padronização granulométrica do material vegetal foi adotada com o objetivo de reduzir possíveis variações relacionadas ao tamanho das partículas durante o processo de hidrodestilação, proporcionando maior uniformidade experimental entre as amostras avaliadas. O processo de preparo da matéria

vegetal pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Preparo do material vegetal para extração de óleo essencial. A) Folhas sendo preparadas para extração e B) Material vegetal em granulometria aproximada de 5 cm x 0,5 cm



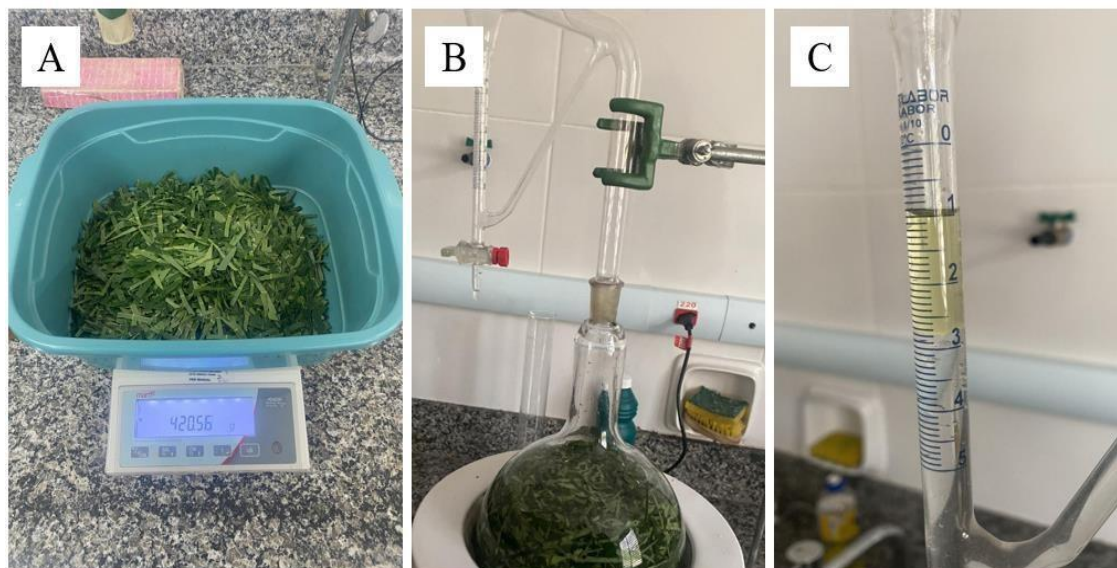
Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

A redução e uniformização das dimensões das folhas também foi realizada com o objetivo de aumentar a área superficial de contato entre o material vegetal e a água durante a extração, favorecendo a transferência de calor, a ruptura das estruturas secretoras e a liberação dos compostos voláteis presentes nos tecidos foliares. Além disso, a padronização do material buscou minimizar diferenças na difusão do óleo essencial entre as espécies e híbridos estudados, permitindo comparações mais consistentes entre os tratamentos.

2.4 Extração do óleo essencial

A extração do óleo essencial foi realizada por hidrodestilação utilizando aparelho do tipo Clevenger. O equipamento e processo de extração podem ser observados na Figura 5.

Figura 5 – Processo de extração de óleo essencial. Vegetal. A) Pesagem do material vegetal e B) Material vegetal submetido à hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger e C) Óleo essencial extraído do material vegetal durante o processo de hidrodestilação



Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Para cada extração foram utilizados 400 g de folhas frescas e 4 kg de água destilada, adotando-se proporção 1:10 (massa/massa). O sistema foi mantido à temperatura de 100°C durante 3 horas de extração.

Foram realizadas três repetições para cada espécie/híbrido avaliado. Ao término da hidrodestilação, o óleo essencial foi recolhido diretamente do aparelho de Clevenger, sendo o volume mensurado após a coleta com auxílio de pipeta graduada. Para isso, esperou-se o óleo essencial estar em temperatura ambiente (25°C) para evitar possíveis interferências relacionadas a mudanças de volume associadas à temperatura. Após a mensuração, o material foi armazenado em geladeira com temperatura de 4±2°C em vidros de cor âmbar, visando sua conservação.

2.5 Cálculo do rendimento de óleo essencial

O rendimento do óleo essencial foi expresso em mL kg⁻¹ de matéria seca. O cálculo foi realizado conforme a Equação 4:

Equação 4

$$R = \frac{V}{MSa}$$

Onde:

R = rendimento de óleo essencial (mL kg⁻¹ de matéria seca);

V = volume de óleo obtido (mL);

MSa = massa seca da amostra utilizada na extração (kg).

Ressalta-se que o rendimento de óleo essencial também foi expresso em porcentagem (% massa/massa), com o objetivo de possibilitar comparações com estudos que reportam os resultados de rendimento em valores percentuais. Para isso, os valores obtidos em mL kg⁻¹ de matéria seca foram convertidos para massa utilizando a densidade de cada óleo essencial. Em seguida, o rendimento foi calculado em percentual pela relação entre a massa de óleo obtida e a massa seca da biomassa utilizada na extração.

2.6 Determinação da densidade do óleo essencial

A densidade dos óleos essenciais foi determinada na temperatura ambiente de aproximadamente 25°C. Para a medição do volume das amostras, utilizaram-se pipetas automáticas devidamente calibradas, enquanto a determinação da massa foi realizada em balança analítica de precisão. Posteriormente, a densidade foi calculada pela razão entre a massa e o volume das amostras de óleo essencial, conforme a Equação 5.

Equação 5

$$D = \frac{M_o}{V_o}$$

Onde:

D = densidade (g/cm³);

Mo = massa do óleo essencial (g);

Vo = volume do óleo (cm³).

2.7 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por quatro tratamentos correspondentes às espécies/híbridos avaliados e três repetições.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade. Quando constatadas diferenças significativas entre os tratamentos, aplicou-se o teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade. Para avaliação da normalidade dos resíduos foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk (5%). Também foram elaborados gráficos de barras para melhor visualização do comportamento dos tratamentos em relação ao rendimento de óleo essencial.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teor de umidade em base seca, base úmida e matéria seca

Os valores médios de teor de umidade em base seca (UBS), teor de umidade em base úmida (UBU) e teor de matéria seca (TMS) das folhas dos diferentes clones avaliados encontram-se apresentados na Tabela 2. Verificou-se diferença significativa entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas.

Tabela 2 – Médias obtidas para Teor de Umidade em Base Seca (UBS), Teor de Umidade em Base Úmida (UBU) e Teor de Matéria Seca (TMS) para os clones em estudo. Médias seguidas de letras apresentaram diferença significativa pela ANOVA (5%). Médias seguidas de mesma letra podem ser consideradas iguais pelo Teste de Médias de Tukey (5%). Desvio padrão entre parênteses

Clone	UBS (%)	UBU (%)	TMS (%)
C1	134,66 (3,58) c	57,38 c (0,64)	42,62 a (0,64) a
C2	155,40 (3,91) b	60,84 b (0,59)	39,16 b (0,59) b
C3	199,49 (7,82) a	66,59 a (0,86)	33,41 c (0,86) c
C4	197,26 (2,13) a	66,36 a (0,24)	33,64 c (0,24) c

Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Os clones C3 (*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*) e C4 (*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis*) apresentaram os maiores valores de UBS, com 199,49% e 197,26%, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Por outro lado, o clone C1 (*Eucalyptus urophylla*) apresentou o menor teor de umidade em base seca, com 134,66%, enquanto o clone C2 (*Corymbia torelliana* × *Corymbia citriodora*) apresentou valor intermediário de 155,40%.

Resultado semelhante foi observado para a umidade em base úmida, em que os clones C3 e C4 apresentaram os maiores percentuais de água nos tecidos foliares, com 66,59% e 66,36%, respectivamente. O clone C1 apresentou o menor valor (57,38%), evidenciando menor conteúdo hídrico em suas folhas e o clone C2 apresentou valor intermediário (60,54%).

Em relação ao teor de matéria seca, observou-se comportamento inverso ao da umidade. O clone C1 apresentou o maior valor de matéria seca (42,62%), seguido por C2 (39,16%). Os clones C3 e C4 apresentaram os menores percentuais, com 33,41% e 33,64%,

respectivamente.

Observa-se que os resultados da análise estatística para os teores de umidade em base seca (UBS) e em base úmida (UBU) apresentaram comportamento semelhante, refletindo a correlação positiva existente entre essas variáveis. Em contrapartida, a matéria seca (MS) apresentou tendência inversa à observada para UBS e UBU, com resultados estatísticos opostos. Esse comportamento é esperado, uma vez que a matéria seca é inversamente proporcional ao teor de umidade, de modo que aumentos nos valores de UBS e UBU correspondem à redução dos valores de MS.

As diferenças observadas entre os materiais genéticos podem estar relacionadas às características fisiológicas e anatômicas específicas de cada espécie ou híbrido. Segundo Andrade e Gomes (2000), fatores genéticos influenciam diretamente a composição dos tecidos foliares e a capacidade de retenção de água, refletindo nos teores de umidade e matéria seca. Além disso, variações na espessura foliar, quantidade de tecidos de reserva e adaptação fisiológica podem contribuir para as diferenças observadas entre os clones avaliados.

3.2 Rendimento e densidade de óleo essencial

Os resultados de rendimento e densidade dos óleos essenciais obtidos por hidrodestilação encontram-se apresentados na Tabela 3. Foi observada diferença significativa entre os tratamentos apenas para o rendimento de óleo essencial.

Tabela 3 – Médias obtidas para Rendimento e Densidade dos óleos essenciais para os clones em estudo. Médias seguidas de letras apresentaram diferença significativa pela ANOVA (5%).

Médias seguidas de mesma letra podem ser consideradas iguais pelo Teste de Médias de Tukey (5%). Desvio padrão entre parênteses

Clone	Rendimento (ml/kg)	Rendimento (%)	Densidade (g/cm ³)
C1	6,73 (0,74) bc	0,61 (0,07) bc	0,920 (0,05)
C2	4,01 (1,41) c	0,35 (0,11) c	0,897 (0,03)
C3	10,05 (0,62) b	0,89 (0,04) b	0,895 (0,02)
C4	16,07 (2,54) a	1,35 (0,22) a	0,843 (0,01)

Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Os rendimentos de óleo essencial observados nos clones avaliados variaram de

0,35% a 1,35%, evidenciando a influência do material genético sobre essa característica. De maneira geral, os valores obtidos situaram-se dentro da faixa relatada para espécies e híbridos de *Eucalyptus* explorados comercialmente para a produção de óleo essencial, cujos rendimentos normalmente variam entre 0,2% e 1,0% (Vitti e Brito, 2003). O maior rendimento foi obtido pelo clone C4 (*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis*), que apresentou média de 16,07 mL kg⁻¹ de matéria seca ou 1,35%, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Em seguida, destacou-se o clone C3 (*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*), com rendimento de 10,05 mL kg⁻¹ ou 0,89%. O menor rendimento foi observado no clone C2 (*Corymbia torelliana* × *Corymbia citriodora*), com 4,01 mL kg⁻¹ ou 0,35%. O clone C1 (*Eucalyptus urophylla*) apresentou rendimento intermediário, de 6,73 mL kg⁻¹ ou 0,61%, não diferindo estatisticamente dos clones C2 e C3 pelo teste de médias.

Ressalta-se que, do ponto de vista anatômico, as folhas do clone C2 diferem significativamente das observadas nos demais materiais genéticos avaliados (C1, C3 e C4). Entre as principais características distintivas, destaca-se a presença de tricomas (pelos epidérmicos) em sua superfície foliar, característica comumente associada a algumas espécies do gênero *Corymbia*. Essa particularidade anatômica pode influenciar aspectos fisiológicos e funcionais das folhas, além de contribuir para uma diferenciação importante entre os materiais avaliados. Tal característica pode ter contribuído para o menor rendimento observado, possivelmente em função de alterações na estrutura foliar e na distribuição dos metabólitos secundários.

É importante destacar que *Corymbia citriodora* é amplamente reconhecida por seu elevado potencial para a produção de óleo essencial, sendo uma das principais espécies cultivadas para essa finalidade, sendo relatado na literatura, valores que chegam a 3,5% de rendimento percentual (FELIZARDO *et al.*, 2013). Entretanto, o híbrido C2 (*Corymbia torelliana* × *Corymbia citriodora*) apresentou o menor rendimento entre os materiais avaliados, indicando que, neste caso específico, a hibridização não resultou em ganhos para a produção de óleo essencial. Esse resultado sugere que a combinação genética entre *C. torelliana* e *C. citriodora* pode não favorecer a expressão das características associadas ao elevado rendimento de óleo observadas na espécie parental *Corymbia citriodora*. Por outro lado, os híbridos derivados de *Eucalyptus urophylla*, especialmente os clones C3 (*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*) e C4 (*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus camaldulensis*), apresentaram os maiores rendimentos de óleo essencial, evidenciando que, nesses materiais, a hibridização contribuiu positivamente para o incremento da produtividade. Esses resultados demonstram que os efeitos da hibridização sobre a produção de óleo essencial

são dependentes das espécies envolvidas e das interações genéticas estabelecidas entre os parentais.

Segundo Silveira e Lazzarotto (2021), a produção de óleo essencial em espécies de eucalipto é fortemente influenciada pelo material genético, podendo ocorrer ampla variação no rendimento entre espécies e híbridos. A superioridade observada para os clones C3 e, principalmente, C4 sugere que a combinação genética entre espécies de *Eucalyptus* pode favorecer características relacionadas à formação e ao acúmulo de compostos voláteis nas glândulas secretoras das folhas. De acordo com Silva, Brito e Silva Junior (2006), existe ampla variabilidade na produção de óleo essencial entre espécies de eucalipto, sendo o fator genético um dos principais responsáveis pelas diferenças observadas no rendimento. Esses autores destacam que espécies distintas podem apresentar potencial produtivo bastante variável, mesmo quando cultivadas sob condições semelhantes.

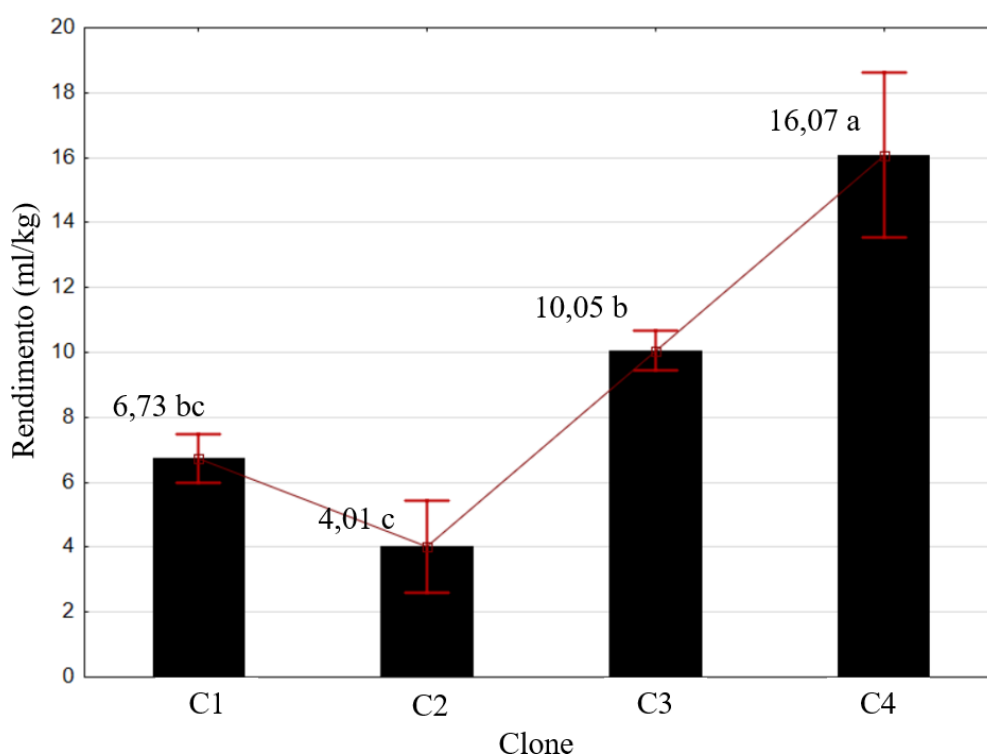
Embora os clones C3 e C4 tenham apresentado menores teores de matéria seca, ambos registraram os maiores rendimentos de óleo essencial. Esse resultado indica que a produção de óleo não depende exclusivamente da quantidade de biomassa seca acumulada nas folhas, mas também da capacidade genética de síntese e armazenamento dos metabólitos secundários responsáveis pela constituição do óleo essencial. Entretanto, maiores teores de matéria seca podem representar uma vantagem operacional e econômica, uma vez que as folhas ocupam grande volume durante as etapas de coleta, transporte e processamento. Dessa forma, materiais com maior proporção de matéria seca tendem a disponibilizar maior quantidade de biomassa efetiva por unidade de volume coletado, o que pode contribuir para aumentar a eficiência logística de coleta, transporte e aproveitamento da matéria-prima na extração do óleo essencial.

Quanto à densidade dos óleos, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos pela ANOVA (5%). Em termos absolutos, os valores variaram entre 0,843 e 0,920 g cm⁻³. O maior valor foi observado para o clone C1, enquanto o menor foi registrado para o clone C4. Todos os valores encontram-se dentro da faixa normalmente observada para óleos essenciais de espécies de eucalipto (VITTI; BRITO, 2003). Ainda segundo Vitti e Brito (2003), a densidade dos óleos essenciais de eucalipto é geralmente inferior à da água (1,0 g cm⁻³) devido à predominância de compostos terpênicos em sua composição química. As diferenças pontuais observadas na densidade podem estar relacionadas à composição química específica dos óleos produzidos por cada material genético. Conforme descrito por Pereira (2010), a proporção de compostos como 1,8-cineol, citronelal, α -pineno e outros terpenos pode variar significativamente entre espécies e híbridos de eucalipto, influenciando propriedades físico-

químicas como densidade, viscosidade e aroma. Dessa forma, análises cromatográficas futuras poderão contribuir para uma caracterização química mais detalhada dos óleos essenciais obtidos neste estudo, permitindo a identificação e quantificação de seus principais compostos. Além disso, tais análises fornecerão informações importantes sobre o potencial de aplicação industrial desses óleos, possibilitando a correlação entre sua composição química e usos específicos nos setores farmacêutico, cosmético, alimentício, de defensivos agrícolas e no setor de química industrial.

A Figura 6 apresenta o rendimento médio de óleo essencial obtido para os diferentes clones avaliados.

Figura 6 – Médias, desvio padrão e resultado do Teste de Médias de Tukey (5%) para rendimento de óleo essencial dos clones em estudo

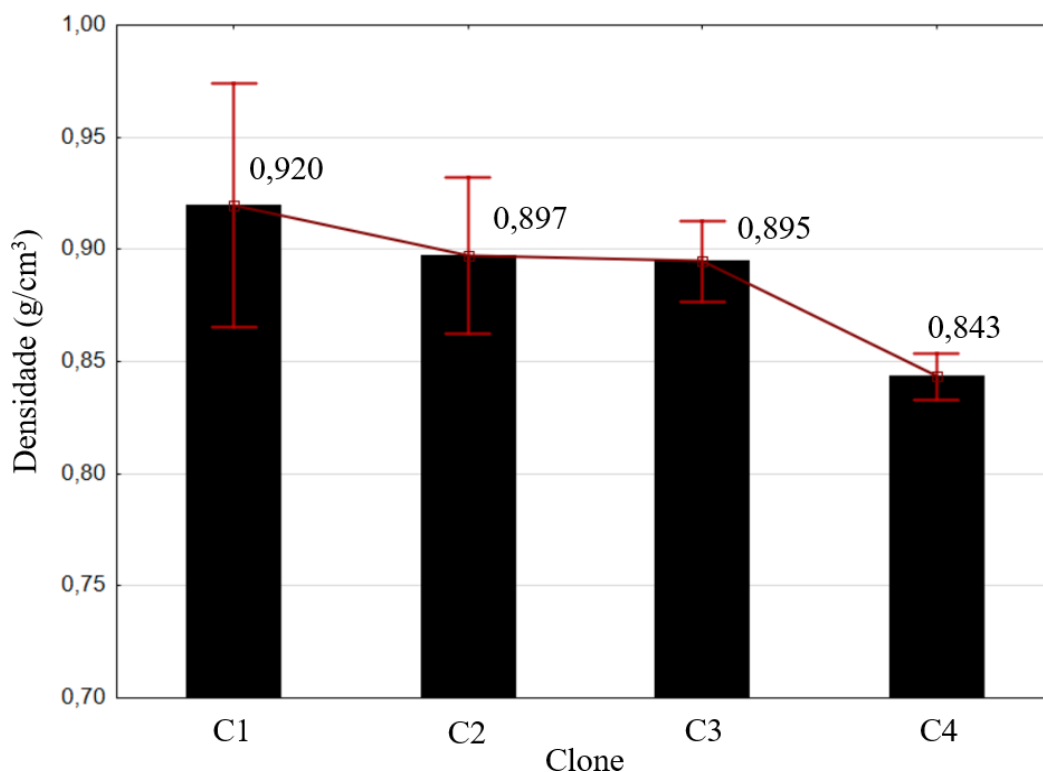


Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Ressalta-se que a partir da análise gráfica das Figuras 6 e 7, foi possível inferir com maior clareza as diferenças observadas entre os clones avaliados, uma vez que a representação visual dos dados permite identificar padrões, tendências e contrastes que complementam os resultados obtidos nas análises estatísticas. A tendência observada no gráfico demonstra aumento expressivo do rendimento de óleo essencial nos híbridos contendo genes de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis*, especialmente no clone C4.

A Figura 7 apresenta os valores médios de densidade dos óleos essenciais obtidos dos diferentes clones avaliados.

Figura 7 – Médias, desvio padrão e resultado do Teste de Médias de Tukey (5%) para densidade dos óleos essenciais dos clones em estudo



Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Além das diferenças entre as médias, observa-se que os desvios representados pelas barras de desvio padrão foram relativamente reduzidos para os clones C1 e C3, indicando maior uniformidade entre as repetições. Por outro lado, o clone C4 apresentou maior amplitude das barras de desvio padrão, evidenciando maior variabilidade experimental, embora sem comprometer sua superioridade estatística em relação aos demais tratamentos.

Ressalta-se que as barras que representam o desvio padrão demonstram baixa variação entre as repetições para todos os tratamentos, indicando boa uniformidade dos resultados obtidos. O clone C1 apresentou maior amplitude de variação, enquanto o clone C4 apresentou os resultados mais consistentes entre as repetições realizadas. Embora as diferenças observadas na densidade dos óleos essenciais tenham sido relativamente pequenas, isso não implica necessariamente similaridade em sua composição química. Óleos com densidades próximas podem apresentar perfis químicos distintos, uma vez que essa propriedade físico-química representa apenas uma medida global da amostra.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os diferentes materiais genéticos de eucalipto apresentam comportamentos distintos quanto à produção de óleo essencial, evidenciando a influência do genótipo sobre essa característica. Entre os materiais avaliados, os híbridos demonstraram maior potencial produtivo, indicando que a hibridização pode ser uma ferramenta eficiente para a obtenção de genótipos mais promissores para essa finalidade. Dessa forma, o estudo atingiu seu objetivo ao avaliar e comparar o desempenho dos diferentes materiais genéticos quanto à produção de óleo essencial, contribuindo para a identificação de materiais com potencial para programas de melhoramento genético e para o aproveitamento econômico dessa matéria-prima. Além disso, os resultados gerados fornecem uma base importante para futuras pesquisas relacionadas à caracterização química dos óleos essenciais e à ampliação de suas possíveis aplicações tecnológicas e industriais.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ANDRADE, A. M.; GOMES, S. S. Influência de alguns fatores não genéticos sobre o teor de óleo essencial em folhas de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 181-189, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/CPkRnSxdXgbP877rVHwXxMs/?lang=pt>. Acesso em: 5 maio. de 2026.
- AZIZ, Z. A. A. *et al.* Essential oils: extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential: a review. **Current Drug Metabolism**, v. 19, n. 13, p. 1100-1110, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30039757/>. Acesso em: 12 maio. de 2026.
- FELIZARDO, M. P.; FREITAS, J. V. de; COSTA, M. A. M. Estudo do rendimento de óleos essenciais de *Corymbia citriodora* em relação ao tempo de extração por arraste a vapor. **Congresso Brasileiro De Sistemas Particulados**, Maceió, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311546051_Estudo_do_rendimento_de_oleos_essenciais_de_Corymbia_citriodora_em_relacao_ao_tempo_de_extracao_por_arraste_a_vapor. Acesso em: 12 maio. de 2026.
- HENRIQUE, M. K. C. **Avaliação da composição química e fito-cito-genotoxicidade dos óleos essenciais de *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *Eucalyptus Urocam***. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018. Disponível em: https://florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/field/anexo/tcc_maikon_kema_c_henrique.pdf. Acesso em: 5 maio. de 2026.
- KANT, R.; KUMAR, A. Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 30, 100829, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554122002339>. Acesso em: 12 maio. de 2026.
- PEREIRA, J. L. **Composição química dos óleos essenciais de espécies de *Eucalyptus* L’Herit (Myrtaceae)**. 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/0d835d3e-fa6b-41d6-9e7a-ce9a7a0a35e1/content>. Acesso em: 15 maio. de 2026.
- REIS, C. A. F. *et al.* *Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil. **Embrapa Florestas**, Colombo, 2013. ISSN 1980-3958; 255. Outubro, 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/974349/1/Doc.255ReisAinfo1.pdf>. Acesso em: 15 maio. 2026.
- SILVA, A. M. T. *et al.* Atividade antifúngica dos óleos essenciais de eucalipto: uma revisão. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 2, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/5340>. Acesso em: 7 maio. de 2026
- SILVA, P. H. M.; BRITO, J. O.; SILVA JUNIOR, F. G. *Potential of eleven *Eucalyptus**

species for the production of essential oils. Scientia Agricola, v. 63, n. 1, p. 85-89, 2006.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sa/a/pc3yckGNT9HcRmnxfVvLfsC/?format=html&lang=en>. Acesso em: 7 maio. de 2026.

SILVEIRA, A. C.; LAZZAROTTO, M. Óleos essenciais de espécies de eucaliptos. In: OLIVEIRA, E. B.; PINTO JÚNIOR, J. E. (org.). O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Brasília, DF: **Embrapa Florestas**, 2021. p. 723-750. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1131890>. Acesso em: 12 maio. de 2026.

SPAROVEK, G. *Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em:

<https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078>. Acesso em: 10 maio. de 2026.

VITTI, A. M. S.; BRITO, J. O. **Óleo essencial de eucalipto**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2003. Documentos Florestais, n. 17, Agosto de 2003. ISSN 0103-4715. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistoricoexterno/DocumentosFlorestaisNumero17.pdf>. Acesso em: 10 maio. de 2026.