Artigo Científico

Revista sítio novo
Instituto Federal do Tocantins

Desempenho germinativo de *Cochlospermum regium* sob diferentes métodos de superação de dormência tegumentar

https://doi.org/10.47236/2594-7036.2026.v10.2256

Ismael de Oliveira Pinto[1]
Thiago Sampaio Castro[2]
Ageu Pereira de Almeida[3]
Olavo da Costa Leite[4]

Data de submissão concluída: 5/6/2026. Data de aprovação: 14/10/2026. Data de publicação: 3/11/2026.

Resumo – A dormência tegumentar representa o principal obstáculo à propagação controlada de *Cochlospermum regium* (Mart. ex Schrank) Pilg., espécie arbórea nativa do Cerrado brasileiro com relevância ecológica e medicinal. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de diferentes métodos de superação de dormência sobre a germinação e a velocidade germinativa de sementes de *C. regium*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições de 50 sementes cada, totalizando nove tratamentos: escarificação mecânica em tambor rotativo com lixas de granulometria 100, 150 e 220 *grit* durante 60 minutos; escarificação química por imersão em ácido sulfúrico concentrado por dez, trinta e noventa minutos; imersão em água quente a 88°C por cinco minutos; imersão em água quente até resfriamento à temperatura ambiente; e controle. Avaliaram-se a porcentagem de germinação, o índice de velocidade de germinação e as curvas de germinação acumulada ao longo de 21 dias. Os tratamentos com escarificação mecânica com lixa 100 *grit* e escarificação química por noventa minutos proporcionaram os maiores valores de germinação e de velocidade germinativa, superando significativamente os demais tratamentos. Os tratamentos térmicos não diferiram estatisticamente do controle sem tratamento, evidenciando sua ineficácia na superação da dormência tegumentar de *C. regium*. Conclui-se que a dormência da espécie é de natureza predominantemente física e responde de forma seletiva a métodos de escarificação mecânica e química, sendo a escarificação mecânica com lixa 100 *grit* recomendada para uso em viveiros e programas de restauração ecológica do Cerrado, por prescindir de reagentes corrosivos sem comprometimento da eficiência germinativa.

Palavras-chave: Bixaceae. Cerrado. Dormência física. Escarificação. Germinação.

[1] Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Tocantins. Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico no *Campus* Gurupi, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins. Gurupi, Tocantins, Brasil. ismael.pinto@ifto.edu.br https://orcid.org/0000-0001-6068-9522 http://lattes.cnpq.br/3751795167480137.

[2] Doutor em Química pela Universidade de Brasília. Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico no *Campus* Gurupi, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins. Gurupi, Tocantins, Brasil. thiago.casto@ifto.edu.br https://orcid.org/0000-0002-5012-8868 http://lattes.cnpq.br/3132234793047037.

[3] Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Tocantins. Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico no *Campus* Gurupi, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil. ageu.almeida@ifto.edu.br https://orcid.org/0009-0001-4578-9434 http://lattes.cnpq.br/9787005295683582.

[4] Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Tocantins. Professor do Ensino Básico do Colégio Estadual Agrícola de Natividade. Natividade, Tocantins, Brasil. olavo.leite@seduc.to.gov.br https://orcid.org/0000-0002-8959-0064 http://lattes.cnpq.br/1376566013855749.

Revista sítio novo
Instituto Federal do Tocantins

Germination performance of *Cochlospermum regium* under different methods of physical dormancy breaking

Abstract – Seed coat dormancy represents the main obstacle to the controlled propagation of *Cochlospermum regium* (Mart. ex Schrank) Pilg., a native tree species of the Brazilian Cerrado with ecological and medicinal relevance. This study aimed to evaluate the efficiency of different dormancy-breaking methods on the germination and the germination speed of *C. regium* seeds. The experiment was conducted in a completely randomized design with six replications of 50 seeds each, totaling nine treatments: mechanical scarification in a rotary drum with sandpaper grits of 100, 150, and 220 for 60 minutes; chemical scarification by immersion in concentrated sulfuric acid for ten, thirty, and ninety minutes; immersion in hot water at 88°C for five minutes; immersion in hot water until cooling to room temperature; and an untreated control. Germination percentage, germination speed index, and cumulative germination curves were evaluated over 21 days. Mechanical scarification with 100-grit sandpaper and chemical scarification for ninety minutes yielded the highest germination and germination speed values, significantly outperforming all other treatments. Thermal treatments did not differ statistically from the untreated control, demonstrating their ineffectiveness in overcoming seed coat dormancy in *C. regium*. It is concluded that dormancy in this species is predominantly physical in nature and responds selectively to mechanical and chemical scarification methods. Mechanical scarification with 100-grit sandpaper is recommended for use in nurseries and Cerrado ecological restoration programs, as it eliminates the need for corrosive reagents without compromising germination efficiency.
Keywords: Bixaceae. Cerrado. Germination. Physical dormancy. Scarification.

Rendimiento germinativo de *Cochlospermum regium* bajo diferentes métodos de superación de la dormancia tegumentaria

Resumen – La dormancia tegumentaria representa el principal obstáculo para la propagación controlada de *Cochlospermum regium* (Mart. ex Schrank) Pilg., especie arbórea nativa del Cerrado brasileño con relevancia ecológica y medicinal. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de diferentes métodos de superación de dormancia sobre la germinación y la velocidad germinativa de semillas de *C. regium*. El experimento se condujo en un diseño completamente al azar, con seis repeticiones de 50 semillas cada una, totalizando nueve tratamientos: escarificación mecánica en tambor rotatorio con lijas de granulometría 100, 150 y 220 grit durante 60 minutos; escarificación química por inmersión en ácido sulfúrico concentrado durante diez, treinta y noventa minutos; inmersión en agua caliente a 88°C durante cinco minutos; inmersión en agua caliente hasta el enfriamiento a temperatura ambiente; y control sin tratamiento. Se evaluaron el porcentaje de germinación, el índice de velocidad de germinación y las curvas de germinación acumulada a lo largo de 21 días. Los tratamientos con escarificación mecánica con lija 100 grit y escarificación química por noventa minutos proporcionaron los mayores valores de germinación y velocidad germinativa, superando significativamente a los demás tratamientos. Los tratamientos térmicos no difirieron estadísticamente del control sin tratamiento, evidenciando su ineficacia en la superación de la dormancia tegumentaria de *C. regium*. Se concluye que la dormancia de la especie es de naturaleza predominantemente física y responde de forma selectiva a métodos de escarificación mecánica y química, siendo la escarificación mecánica con lija 100 grit recomendada para su uso en viveros y

programas de restauración ecológica del Cerrado, por prescindir de reactivos corrosivos sin comprometer la eficiencia germinativa.
Palabras clave: Bixaceae. Cerrado. Dormancia física. Escarificación. Germinación.

Introdução

Cochlospermum regium (Mart. ex Schrank) Pilg., popularmente conhecido como algodão-do-cerrado, é uma espécie arbórea de porte médio pertencente à família Bixaceae, nativa do Cerrado brasileiro. A espécie apresenta notável adaptabilidade às condições edafoclimáticas adversas do bioma, como solos distróficos, déficit hídrico sazonal e perturbações por fogo, características que conferem ao algodão-do-cerrado papel de destaque na dinâmica de regeneração natural e na revegetação de áreas degradadas (Laumann et al., 2023). Além de sua relevância ecológica, *C. regium* possui reconhecido potencial medicinal, sendo amplamente utilizada em comunidades tradicionais do Cerrado por suas propriedades anti-inflamatórias, antibacterianas e hepatoprotetoras, o que levou à sua inclusão entre as espécies vegetais prioritárias para a conservação de recursos genéticos no Brasil (Carvalho et al., 2024; Galvão et al., 2023).

A conservação e o uso sustentável de *C. regium* enfrentam desafios crescentes em razão da acelerada degradação do Cerrado, segundo maior bioma brasileiro e uma das savanas tropicais de maior biodiversidade do mundo. A expansão agropecuária e o avanço da urbanização têm provocado a fragmentação dos habitats naturais e a redução das populações da espécie, comprometendo tanto sua diversidade genética quanto o recrutamento de indivíduos por via sexuada (Pompeu; Assis; Ometto, 2024). Nesse contexto, o domínio de técnicas eficientes de propagação constitui etapa indispensável para o desenvolvimento de programas de restauração ecológica e para a conservação *ex situ* da espécie.

A dormência tegumentar constitui o principal obstáculo à propagação controlada de *C. regium*. Sementes com esse tipo de dormência apresentam tegumento impermeável à água, o que impede a embebição e retarda ou inviabiliza a germinação em condições de viveiro (Carvalho et al., 2024). Embora essa característica represente uma vantagem adaptativa em ambientes sazonais, pois permite a persistência das sementes no banco do solo até o estabelecimento de condições hídricas favoráveis (Lamont; Pausas, 2023), ela impõe dificuldades consideráveis à produção de mudas em escala. A dormência física em angiospermas está frequentemente associada à presença de camadas paliçádicas de células macroscleréideas na testa, impregnadas com suberina e compostos fenólicos, que atuam como barreiras seletivas à entrada de água (Upretee et al., 2024), padrão documentado para espécies congêneres da família Bixaceae (Just et al., 2023).

Para a superação da dormência tegumentar, os métodos mais estudados incluem a escarificação química com ácido sulfúrico (H_2SO_4), a escarificação mecânica por abrasão e o tratamento térmico com água quente. A escarificação química tem demonstrado eficácia na degradação das camadas impermeabilizantes do tegumento, porém apresenta riscos operacionais associados ao manuseio de reagentes corrosivos e potencial de dano embrionário em exposições prolongadas (Silva et al., 2021; Luera; Gabler, 2022). A escarificação mecânica por meio de tambor rotativo surge como alternativa operacionalmente mais segura e ambientalmente favorável, por dispensar o uso de reagentes químicos e viabilizar o processamento de grandes volumes de sementes de forma mais uniforme (Silva et al., 2021; Debouza et al., 2024). O tratamento térmico, embora eficaz para diversas espécies com

dormência física, apresenta respostas variáveis dependendo da composição e espessura do tegumento de cada espécie (Tang et al., 2022; Wen et al., 2024), demandando avaliação espécie-específica antes de sua adoção em protocolos de produção.

Diante da escassez de informações sobre protocolos pré-germinativos eficientes para *C. regium* e da crescente demanda por mudas dessa espécie em programas de restauração ecológica do Cerrado, o presente estudo objetivou avaliar a eficiência de diferentes métodos de superação de dormência tegumentar através da escarificação mecânica em tambor rotativo com lixas de distintas granulometrias, escarificação química com H_2SO_4 em diferentes tempos de exposição e tratamento térmico com água quente sobre a porcentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação de sementes de *C. regium*.

Materiais e métodos

Os frutos de *Cochlospermum regium* (Mart. ex Schrank) Pilg. foram coletados na primeira quinzena de junho de 2024, em áreas urbanas e rurais do município de Formoso do Araguaia, estado do Tocantins, Brasil (11°00′00″S; 49°31′22″W). As coletas foram realizadas manualmente em múltiplos indivíduos, a fim de assegurar a representatividade genética das amostras. Exemplares botânicos testemunhos (exsicatas) foram preparados e identificados com base em Flora do Brasil (2020) sendo os vouchers depositados no Laboratório de Agricultura do Instituto Federal do Tocantins (IFTO), *Campus* Formoso do Araguaia, para fins de registro e consulta futura. Imediatamente após a coleta, os frutos foram acondicionados em sacos de papel Kraft preservando assim a integridade fisiológica das sementes até o processamento laboratorial.

Os frutos foram transportados ao Laboratório de Sementes do Instituto Federal do Tocantins (IFTO), *Campus* Gurupi, onde permaneceram armazenados em condições ambiente controladas (25°C e 60% de umidade relativa do ar — UR) até o início dos experimentos. Previamente à execução dos testes, as estruturas anemocóricas (alas) foram removidas manualmente de cada unidade de dispersão, a fim de padronizar a manipulação das sementes e assegurar a uniformidade na aplicação dos tratamentos.

Para a prevenção de infecções fúngicas e bacterianas, as sementes foram submetidas à assepsia superficial em solução de hipoclorito de sódio a 5% (v/v) durante cinco minutos, conforme preconizado pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2025). Em seguida, as sementes foram lavadas em água corrente por 10 minutos para a completa remoção dos resíduos químicos e, posteriormente, dispostas sobre peneiras de malha fina para secagem à temperatura ambiente. As sementes completamente secas foram então separadas para os diferentes tratamentos experimentais.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com seis repetições de 50 sementes cada, totalizando nove tratamentos distribuídos em três grupos para a superação da dormência tegumentar: escarificação mecânica (três tratamentos), escarificação química (três tratamentos) e tratamento térmico (dois tratamentos), além de um grupo controle sem tratamento pré-germinativo.

Escarificação mecânica: as sementes foram submetidas à abrasão em tambor rotativo (30 rpm e 15 cm de diâmetro) durante 60 minutos, utilizando lixas de granulometrias 100, 150 e 220 grit, constituindo os tratamentos EM_{100}, EM_{150} e EM_{220}, respectivamente.

Escarificação química: as sementes foram imersas em ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4; 96% P.A.) em béqueres de 25 mL, assegurando-se a completa submersão de todas as unidades. Foram testados os tempos de exposição de dez, trinta e noventa minutos (EQ_{10}, EQ_{30} e EQ_{90}, respectivamente). Imediatamente após cada intervalo, as sementes foram transferidas para água corrente e lavadas durante dez minutos, a fim de neutralizar e remover os resíduos ácidos, prevenindo a degradação dos tecidos seminais.

Tratamento térmico: 100 mL de água destilada foram aquecidos em banho-maria até atingir 88 ± 1°C, aferidos com termômetro digital, em béqueres de 300 mL. As sementes foram submetidas a dois tratamentos distintos: imersão em água a 88 ± 1°C por cinco minutos (TT_5); e (ii) imersão com resfriamento espontâneo até a temperatura ambiente (25°C) (TT_{RA}). Após cada tratamento, as sementes foram drenadas e dispostas sobre papel Germitest® para secagem à temperatura ambiente.

Controle: um grupo de sementes permaneceu sem qualquer tratamento pré-germinativo (TC), servindo como referência comparativa para a avaliação da dormência natural da espécie.

Após os respectivos tratamentos, as sementes foram semeadas entre duas folhas de papel Germitest® umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa seca do substrato, conforme preconizado pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2025). Os rolos de papel foram acondicionados em sacos plásticos transparentes, mantidos fechados sem perfurações, para manutenção da umidade interna e minimização das perdas hídricas por evaporação. Os rolos foram então incubados em germinador tipo BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) a 27 ± 1°C, sob fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro, com iluminação provida por quatro lâmpadas fluorescentes brancas (6.500 K; 20 W).

As avaliações foram conduzidas diariamente ao longo de 21 dias, contemplando os seguintes parâmetros de desempenho germinativo:

Porcentagem de germinação (G%): considerou-se germinada a semente que apresentou protrusão radicular igual ou superior a dois milímetros, critério adotado conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2025). A contagem foi realizada diariamente, e o valor final de G% foi registrado ao término do período de avaliação, expressando-se o resultado em relação ao total de sementes semeadas por repetição.

Índice de velocidade de germinação (IVG): o IVG foi calculado conforme metodologia proposta por Maguire (1962), por meio da seguinte expressão:

$$\mathrm{IVG} = \frac{\mathrm{G_1}}{\mathrm{N_1}} + \frac{\mathrm{G_2}}{\mathrm{N_2}} + \cdots + \frac{\mathrm{G_n}}{\mathrm{N_n}}$$

em que:

$\mathrm{G_n}$= número de sementes germinadas no dia n; e

$\mathrm{N_n}$= número de dias decorridos desde a semeadura até o dia n.

A dinâmica germinativa foi representada graficamente por meio de curvas de germinação acumulada, construídas a partir das contagens diárias ao longo dos 21 dias de avaliação, em complemento às análises de G% e IVG.

Os dados de porcentagem de germinação (G%) e índice de velocidade de germinação (IVG) foram previamente submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos e ao teste de Levene para homogeneidade de variâncias. Os dados de G%, por não atenderem aos pressupostos de normalidade, foram transformados pela função $\sqrt{x+1}$ antes das análises. Após a transformação, os dados atenderam aos pressupostos de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk, p >

0,05) e de homogeneidade de variâncias (Levene, p > 0,05), permitindo a aplicação da análise de variância paramétrica. Os dados de IVG atenderam aos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias, não sendo necessária transformação prévia. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade (p ≤ 0,01), com o auxílio do programa SISVAR versão 5.1 (Ferreira, 2019). As figuras foram elaboradas no editor de planilhas LibreOffice Calc (versão 26.2).

Resultados e discussão

A análise de variância revelou efeito significativo dos tratamentos sobre a porcentagem de germinação (G%) e o índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes de *C. regium* (p ≤ 0,01), evidenciando que os métodos de superação de dormência tegumentar exerceram influência distinta sobre o desempenho germinativo da espécie (Tabela 1). O coeficiente de variação foi de 7,96% para G% e 6,92% para o IVG, valores classificados como baixos segundo Pimentel-Gomes (2009), o que indica elevada precisão e homogeneidade experimental.

Tabela 1 – Germinação (G%) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Cochlospermum regium* (Mart. ex Schrank) Pilg. submetidas a tratamentos para superação de dormência tegumentar.

Tratamento	Germinação (%)	IVG
Escarificação mecânica		
EM_{100}	87ª	64a
EM_{150}	60b	50b
EM_{220}	55b	34cd
Escarificação química		
EQ_{10}	39c	26de
EQ_{30}	57d	39c
EQ_{90}	89ª	60ab
Tratamento térmico		
TT_5	33cd	27de
TT_{RA}	27d	25e
Controle		
TC	24d	21e
QM Trat	16,536950**	9,305665**
QM Resíduo	0,321255	0,180958
Média Geral	52,44	38,31
C.V.%	7,96	6,92

EM_{100}, EM_{150}, EM_{220}: escarificação mecânica em tambor rotativo (30 rpm; 60 min; 15 cm de diâmetro) com lixas de granulometria 100, 150 e 220 grit, respectivamente; EQ_{10}, EQ_{30}, EQ_{90}: imersão em ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4; 96% P.A.) por dez, trinta e noventa minutos, respectivamente; TT_5: imersão em água quente (88 ± 1°C) por cinco minutos; TT_{RA}: imersão em água quente (88 ± 1°C) até resfriamento à temperatura ambiente (25°C); TC: controle sem tratamento pré-germinativo. Os dados de G% foram transformados pela função $\sqrt{(x + 1)}$ para fins de análise estatística e são apresentados em valores originais na tabela; os dados de IVG não foram transformados. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,001). **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Para a porcentagem de germinação, os tratamentos EM_{100} (87%) e EQ_{90} (89%) proporcionaram os maiores valores, não diferindo estatisticamente entre si ($p \leq 0,01$), mas superando significativamente todos os demais tratamentos (Tabela 1). Esses resultados evidenciam que tanto a abrasão mecânica promovida pela lixa de maior poder abrasivo (100 grit) quanto a escarificação química prolongada com H_2SO_4 concentrado foram eficientes na superação da dormência tegumentar de *C. regium*, provavelmente por promoverem a ruptura ou o desgaste do tegumento impermeável, restabelecendo a permeabilidade hídrica necessária à retomada do metabolismo germinativo.

Os tratamentos EM_{150} (60%) e EM_{220} (55%) proporcionaram valores intermediários de G%, não diferindo estatisticamente entre si ($p \leq 0,01$) (Tabela 1). A menor eficiência das lixas de granulometria mais fina em relação à EM_{100} sugere que o grau de abrasão tegumentar é determinante para a superação da dormência física, uma vez que lixas de *grit* mais elevado promovem desgaste mais superficial, possivelmente insuficiente para a remoção completa das camadas impermeabilizantes do tegumento (Sugiyama et al., 2021). O tratamento EQ_{30} (57%), embora apresente média numericamente próxima à de EM_{150} e EM_{220}, não diferiu estatisticamente dos tratamentos térmicos e do controle ($p \leq 0,01$), indicando que trinta minutos de exposição ao H_2SO_4 foram insuficientes para promover escarificação química efetiva do tegumento de *C. regium*. Esse resultado reforça que o tempo de imersão é fator determinante na degradação química do tegumento, sendo necessária exposição mais prolongada para a efetiva superação da dormência física da espécie (Just et al., 2023).

Os tratamentos EQ_{10} (39%) e TT_5 (33%) resultaram em valores intermediários-baixos de G%, não diferindo estatisticamente entre si ($p \leq 0,01$), porém ambos significativamente superior a EQ_{30}, TT_{RA} e TC. Os tratamentos TT_5 (33%) e TT_{RA} (27%) não diferiram estatisticamente do controle TC (24%), evidenciando que a imersão em água quente a 88°C, independentemente do tempo de exposição, foi ineficaz na superação da dormência tegumentar de *C. regium*, possivelmente por não atingir intensidade térmica suficiente para promover fissuras no tegumento impermeável da espécie. A porcentagem de germinação observada no controle (24%) confirma a presença de dormência física tegumentar em *C. regium* e reforça a necessidade de tratamentos pré-germinativos adequados para a obtenção de estandes satisfatórios em condições de produção (Just et al., 2023; Wen et al., 2024).

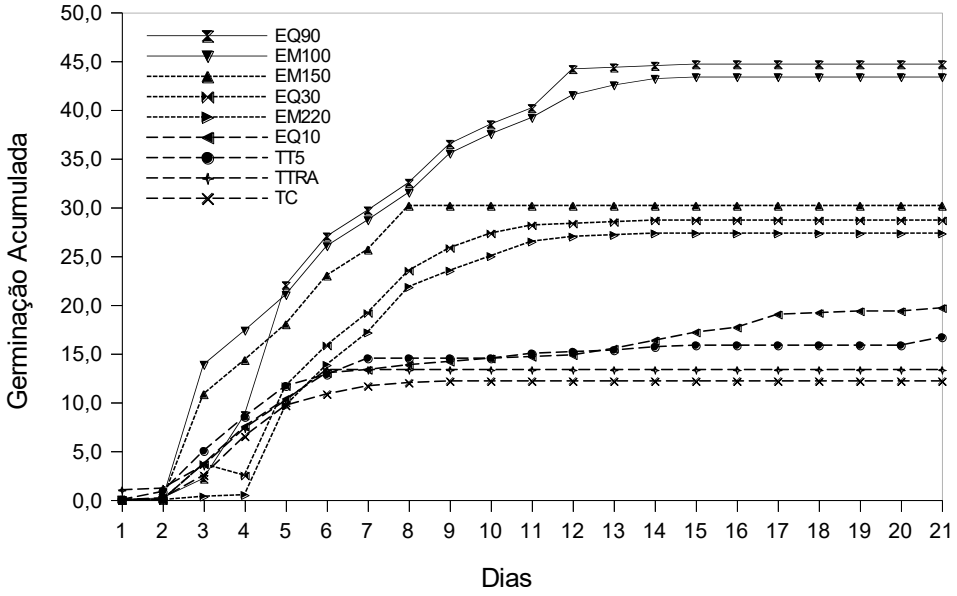
Para o IVG, o padrão de resposta foi similar ao observado para G%, porém com maior discriminação entre os tratamentos. O maior IVG foi registrado para EM_{100} (64), não diferindo estatisticamente de EQ_{90} (60) ($p \leq 0,01$). EQ_{90}, por sua vez, não diferiu de EM_{150} (50), que superou significativamente os demais tratamentos (Tabela 1). Esses resultados indicam que, além de promover maior porcentagem final de germinação, a escarificação mecânica com lixa 100 *grit* e a escarificação química prolongada (90 min) também aceleram o processo germinativo, sugerindo que ambos os métodos promovem escarificação tegumentar mais eficiente, com reflexos tanto na uniformidade quanto na velocidade de emergência das plântulas.

Os tratamentos EQ_{10} (26) e TT_5 (27) não diferiram estatisticamente entre si ($p \leq 0,01$), tampouco diferiram de TT_{RA} (25) e TC (21), os quais registraram os menores valores de IVG do experimento. Embora EQ_{10} e TT_5 tenham apresentado IVG numericamente superior ao de EQ_{30}. Esses resultados reforçam que a imersão em água quente a 88°C, independentemente do tempo de exposição, e a escarificação química por dez minutos foram igualmente ineficientes na aceleração do processo

germinativo de *C. regium*, com velocidade de germinação estatisticamente equivalente à do controle sem tratamento pré-germinativo.

A análise das curvas de germinação acumulada evidenciou diferenças entre os tratamentos quanto ao número final de sementes germinadas, ao período de início do processo germinativo, à taxa de acúmulo diário e ao ponto de estabilização das curvas (Figura 1). Os tratamentos EM_{100} e EQ_{90} destacaram-se pelo início precoce da germinação e pela maior inclinação das curvas nos primeiros dias de avaliação, indicando resposta germinativa mais rápida e uniforme. Os tratamentos TT_{RA} e TC, por sua vez, apresentaram curvas de baixa inclinação e estabilização precoce em valores reduzidos, comportamento compatível com a manutenção da dormência tegumentar. Esses padrões são consistentes com os resultados de G% e IVG discutidos anteriormente, reforçando a superioridade dos tratamentos de escarificação mecânica com lixa 100 *grit* e escarificação química prolongada na promoção do desempenho germinativo de *C. regium*.

Figura 1 – Germinação acumulada de sementes de *Cochlospermum regium* (Mart. ex Schrank) Pilg. submetidas a tratamentos para superação de dormência tegumentar, avaliada ao longo de 21 dias. EM_{100}, EM_{150} e EM_{220}: escarificação mecânica em tambor rotativo (30 rpm; 60 min) com lixas de granulometria 100, 150 e 220 grit, respectivamente; EQ_{10}, EQ_{30} e EQ_{90}: imersão em ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4; 96% P.A.) por dez, trinta e noventa minutos, respectivamente; TT_5: imersão em água quente (88 ± 1°C) por cinco minutos; TT_{RA}: imersão em água quente (88 ± 1°C) até resfriamento à temperatura ambiente (25°C); TC: controle sem tratamento pré-germinativo. Cada ponto representa a média de seis repetições.



Os tratamentos EM_{100} e EQ_{90} destacaram-se desde os primeiros dias de avaliação, com início da germinação a partir do segundo dia após a semeadura e incrementos diários expressivos até aproximadamente o sétimo dia, quando as curvas passaram a apresentar menor taxa de acúmulo e tendência à estabilização. Ao término do período de avaliação, esses tratamentos atingiram médias de 43 e 45 sementes germinadas, respectivamente, as mais elevadas entre todos os tratamentos testados. A rápida e intensa resposta germinativa observada nesses tratamentos reflete a eficiência dos métodos de escarificação na remoção da barreira tegumentar à absorção de água, favorecendo a embebição e a retomada do metabolismo

germinativo na maior parte das sementes, em conformidade com os valores de G% e IVG já discutidos.

Os tratamentos EQ_{30} e EM_{150} apresentaram curvas germinativas com perfil visual semelhante, iniciando a germinação entre o segundo e o terceiro dia após a semeadura, porém com taxa de acúmulo diário inferior à observada para EM_{100} e EQ_{90}. Ambos os tratamentos estabilizaram suas curvas entre o décimo e o décimo segundo dia, atingindo médias finais de aproximadamente 29 e 30 sementes germinadas, respectivamente, posicionando-se em patamar intermediário de desempenho, embora pertençam a grupos estatísticos distintos conforme discutido anteriormente. O tratamento EM_{220}, embora também tenha promovido início da germinação nos primeiros dias, apresentou curva de ascensão mais lenta e estabilização em valores inferiores aos de EM_{150}, confirmando que a menor capacidade abrasiva da lixa 220 *grit* resulta em desgaste tegumentar insuficiente para a remoção completa das camadas impermeabilizantes, em consonância com os dados de G% e IVG já apresentados.

O tratamento EQ_{10} resultou em curva de germinação acumulada com ascensão gradual e prolongada, sem fase de incremento acelerado claramente definida, atingindo ao término do período de avaliação média de aproximadamente 20 sementes germinadas. Esse comportamento é compatível com escarificação tegumentar heterogênea promovida pelo curto período de exposição ao H_2SO_4, no qual apenas uma fração das sementes teve o tegumento suficientemente modificado para permitir a embebição em tempo hábil, enquanto as demais permaneceram com a barreira física parcialmente intacta.

Os tratamentos TT_5 e TT_{RA} produziram curvas germinativas de baixa inclinação e estabilização precoce, atingindo valores finais equivalentes aos do controle. O controle TC apresentou a curva de menor acúmulo ao longo de todo o período avaliado, com início tardio da germinação e estabilização em torno de 12 sementes germinadas, confirmando que a dormência tegumentar impede a germinação espontânea da maior parte do lote de *C. regium* nas condições avaliadas. A sobreposição das curvas de TT_5 e TT_{RA} com a de TC reforça que a imersão em água quente a 88°C, independentemente do tempo de exposição, foi incapaz de promover escarificação tegumentar efetiva, sendo insuficiente para superar a barreira física imposta pelas camadas impermeabilizantes do tegumento da espécie.

Os resultados obtidos indicam que a superação da dormência tegumentar de *C. regium* ocorre de forma mais eficiente por métodos que promovem desgaste físico ou degradação química do tegumento. Os tratamentos EM_{100} e EQ_{90} destacaram-se como os mais eficientes, tanto para G% quanto para o IVG, sendo recomendados para aplicação em laboratório, viveiro e programas de produção de mudas da espécie. A ineficácia dos tratamentos térmicos com água quente a 88°C, cujo desempenho foi estatisticamente equivalente ao do controle, reforça que a dormência de *C. regium* é de natureza predominantemente física, associada à impermeabilidade tegumentar à água (Wen et al., 2024), e que as sementes da espécie respondem mais favoravelmente a métodos de escarificação do que ao choque térmico (Just et al., 2023).

A dormência física, caracterizada pela impermeabilidade do tegumento à água, é reconhecida como mecanismo adaptativo que confere às sementes a capacidade de persistir no banco do solo até que condições ambientais favoráveis se estabeleçam (Lamont; Pausas, 2023; Wen et al., 2024). No gênero *Cochlospermum*, esse tipo de dormência está associado à presença de camadas paliçádicas na testa, cuja impermeabilidade impede a embebição até que estímulos ambientais ou artificiais

promovam a abertura de vias de entrada de água. A natureza estritamente física da dormência verificada em *C. regium*, evidenciada pela ausência de resposta ao tratamento térmico e pela responsividade seletiva à escarificação mecânica e química, está em consonância com o padrão descrito para espécies congêneres, reforçando a consistência do comportamento germinativo dentro da família Bixaceae (Just et al., 2023).

A eficiência da escarificação mecânica com lixa de maior abrasividade (EM_{100}) e da escarificação química prolongada (EQ_{90}) na promoção de germinação rápida e sincronizada corrobora o conceito de que tratamentos pré-germinativos eficazes devem promover, simultaneamente, elevadas porcentagens de germinação e uniformidade do processo germinativo (Jaganathan; Biddick, 2021; Sugiyama et al., 2021). A concentração da germinação nos primeiros dias de avaliação, observada nesses tratamentos, reduz a heterogeneidade do estande e representa vantagem operacional relevante para programas de restauração ecológica do Cerrado, bioma no qual *C. regium* desempenha papel pioneiro na revegetação de áreas perturbadas, especialmente após eventos de incêndio (Laumann et al., 2023; Just et al., 2023). Nesse contexto, a produção de mudas uniformes em intervalo de tempo reduzido constitui fator crítico para o sucesso do estabelecimento de plântulas em campo, reforçando a relevância prática dos tratamentos de escarificação aqui avaliados.

A ineficiência dos tratamentos térmicos com água quente a 88°C em *C. regium* contrasta com resultados reportados para outras espécies com dormência física, nas quais o calor úmido demonstrou ser eficaz na ruptura da impermeabilidade tegumentar (Tang et al., 2022). Esse contraste sugere que a composição e a arquitetura das camadas impermeabilizantes do tegumento de *C. regium* diferem qualitativamente das espécies responsivas ao choque térmico, tornando indispensável a ação abrasiva ou a degradação química para a efetiva superação da barreira física. Tais diferenças interespecíficas na responsividade aos métodos de escarificação reforçam a importância de estudos espécie-específicos previamente à adoção de protocolos germinativos em programas de propagação, uma vez que a extrapolação direta de metodologias entre espécies pode resultar em ineficiência operacional ou em danos ao embrião (Sugiyama et al., 2021; Bertuzzi et al., 2023; Debouza et al., 2024).

A identificação do tegumento como principal barreira à embebição em *C. regium* vai ao encontro de estudos recentes que demonstram que a camada paliçádica de células macroscleréideas, impregnada com suberina e compostos fenólicos, constitui a estrutura responsável pela dormência física em angiospermas (Upretee et al., 2024). A permeabilidade tegumentar pode ser inferida pelo padrão de embebição hídrica, uma vez que sementes com dormência física absorvem água de forma restrita ou nula até que a barreira seja rompida por meios físicos ou químicos (Zhu et al., 2021). Esse mecanismo fundamenta a ineficácia dos tratamentos térmicos com água quente a 88°C no presente estudo, nos quais a temperatura empregada foi insuficiente para dilatar ou romper as estruturas selantes do tegumento de *C. regium*, reforçando que a superação dessa barreira requer ação mecânica ou química direta sobre as camadas impermeabilizantes.

A escarificação química apresentou resposta dose-dependente em relação ao tempo de exposição ao H_2SO_4. EQ_{90} (89%) diferiu estatisticamente de EQ_{10} (39%), evidenciando maior eficiência do tempo prolongado na superação da dormência tegumentar. Esse padrão é consistente com o mecanismo de degradação química gradual da camada paliçádica e da cutícula tegumentar. Exposições insuficientes ao ácido resultam em escarificação heterogênea, na qual apenas uma fração das

sementes tem seu tegumento adequadamente modificado, o que gera lotes com germinação tardia e desuniforme (Yang et al., 2022)

Do ponto de vista ecológico, a dormência física de sementes de *C. regium* representa uma adaptação ao ambiente sazonal do Cerrado, no qual a impermeabilidade tegumentar garante o adiamento da germinação até o estabelecimento de condições hídricas favoráveis (Jaganathan; Biddick, 2021). No entanto, essa mesma característica impõe desafios relevantes à propagação controlada da espécie em viveiros e programas de restauração ecológica, contextos nos quais a sincronia e a velocidade germinativa são critérios essenciais para a eficiência produtiva (Laumann et al., 2023). A escarificação pré-germinativa configura-se, assim, não apenas como ferramenta agronômica, mas como intervenção que mimetiza os processos naturais de escarificação tegumentar que, em condições de campo, demandariam meses ou anos para ocorrer espontaneamente, seja por abrasão com partículas do solo, por variações térmicas extremas ou pela ação de microrganismos degradadores do tegumento (Lamont; Pausas, 2023).

A comparação entre os métodos de escarificação mecânica e química reforça que a escolha do protocolo deve considerar não apenas a eficiência germinativa, mas também aspectos de praticidade, segurança operacional e escala de produção. Em contextos de produção em larga escala de mudas de espécies nativas do Cerrado, EM_{100} apresenta vantagem operacional por dispensar o uso de reagentes corrosivos e viabilizar o processamento de grandes volumes de sementes com menor risco laboratorial (Debouza et al., 2024). Por outro lado, EQ_{90} pode ser preferível em situações nas quais a uniformidade máxima de germinação seja prioritária e as condições de segurança laboratorial estejam asseguradas. Estudos conduzidos com espécies de florestas sazonalmente secas de distintas regiões tropicais confirmam que a dormência física responde de forma superior à escarificação mecânica ou química em comparação ao tratamento térmico, padrão que se mostra robusto independentemente da família botânica ou da procedência geográfica das sementes (Bertuzzi et al., 2023).

Considerações finais

Os resultados indicam que a dormência das sementes de *C. regium* é predominantemente física. A superação ocorreu de forma seletiva por meio de degradação mecânica ou química do tegumento, enquanto o tratamento térmico com água quente a 88 °C não gerou resposta significativa nas condições avaliadas. A escarificação mecânica com lixa de granulometria 100 grit (EM_{100}) consolida-se como uma alternativa técnica e operacionalmente viável para viveiros e programas de restauração ecológica no Cerrado, pois substitui reagentes corrosivos sem comprometer a eficiência germinativa. O padrão de resposta quanto à granulometria e ao tempo de exposição ao H_2SO_4 indica que a intensidade da escarificação e não apenas o método em si é o fator determinante para a qualidade germinativa. Como direções para investigações futuras, recomenda-se aprofundar o estudo dos parâmetros microanatômicos do tegumento (como a espessura da camada paliçádica e o grau de impregnação por suberina) entre diferentes populações da espécie, além de avaliar a viabilidade da automação da escarificação mecânica para produção em larga escala e o desempenho em campo das mudas obtidas por esse método.

Referências

BERTUZZI, Tania et al. Variation in seed dormancy of chaco seasonally dry forest species: effects of seed traits and population environmental conditions. **Plants, Basel**, v. 12, n. 9, p. 1790, 2023. DOI: 10.3390/plants12091790.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 2025.

CARVALHO, Luna Alcântara Neres et al. The genus Cochlospermum Kunth: a comprehensive review of key species with a focus on botanical, pharmacological, and chemical attributes. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v. 17, n. 53, p. e1358, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n53-024.

DEBOUZA, Nour El Houda et al. Mechanical scarification: the key to optimal germination parameters in nine flowering species of the United Arab Emirates. **Innovations in Agriculture**, Sofia, v. 7, p. 1-10, 2024. DOI: 10.3897/ia.2024.124153.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.

FLORA DO BRASIL. **Cochlospermum regium (Mart. ex Schrank) Pilg.** Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://floradobrasil.jbrj.gov.br. Acesso em: 21 set. 2026.

GALVÃO, Fernanda et al. Chemical composition and effects of ethanolic extract and gel of Cochlospermum regium (Schrank) Pilg. leaves on inflammation, pain, and wounds. **Journal of Ethnopharmacology**, Shannon, v. 302, p. 115881, 2023. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115881.

JAGANATHAN, Ganesh; BIDDICK, Matthew. Experimental warming hastens physical dormancy break and germination in tropical Fabaceae. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 12, p. e782706, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.782706.

JUST, Michael et al. Germination physiology of Cochlospermum fraseri (Bixaceae), a deciduous tree from Northern Australia with physical seed dormancy. **Conservation Physiology**, Oxford, v. 11, n. 1, p. coad057, 2023. DOI: 10.1093/conphys/coad057.

LAMONT, Byron; PAUSAS, Juli. Seed dormancy revisited: dormancy-release pathways and environmental interactions. **Functional Ecology**, London, v. 37, n. 3, p. 608-624, 2023. DOI: 10.1111/1365-2435.14269.

LAUMANN, Pedro Dias et al. Germination traits explain the success of direct seeding restoration in the seasonal tropics of Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 529, p. 120706, 2023. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120706.

LUERA, Paula; GABLER, Christopher. Combined effects of scarification, phytohormones, stratification, and soil type on the germination and/or seedling performance of three tamaulipan thornscrub forest species. **Plants**, Basel, v. 11, n. 20, p. 2687, 2022. DOI: 10.3390/plants11202687.

MAGUIRE, James D. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. DOI: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x.

PIMENTEL-GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

POMPEU, João; ASSIS, Tainá Oliveira; OMETTO, Jean Pierre. Landscape changes in the cerrado: challenges of land clearing, fragmentation and land tenure for biological conservation. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, v. 906, p. 167581, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167581.

SILVA, Brenda Rayssa dos Santos et al. Germinação e alterações anatômicas em sementes de Erythrina velutina Willd. escarificadas com ácido sulfúrico (H_2SO_4). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 11092–11106, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-759.

SUGIYAMA, Anna et al. Intraspecific variation along an elevational gradient alters seed scarification responses in the polymorphic tree species Acacia koa. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 12, p. e716678, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.716678.

TANG, Li et al. Methods of breaking physical dormancy in seeds of the invasive weed Mimosa pudica (Fabaceae) and a comparison with 36 other species in the genus. **PeerJ**, Corte Madera, v. 10, p. e13567, 2022. DOI: 10.7717/peerj.13567.

UPRETEE, Prerana; BANDARA, Manjula; TANINO, Karen. The role of seed characteristics on water uptake preceding germination. **Seeds**, Basel, v. 3, n. 4, p. 559-574, 2024. DOI: 10.3390/seeds3040038.

WEN, Zhaozhu et al. Physical seed dormancy in legumes: molecular advances and perspectives. **Plants**, Basel, v. 13, n. 11, p. 1473, 2024. DOI: 10.3390/plants13111473.

YANG, Seung-Hyun et al. Acid scarification completes the germination of Hovenia dulcis seeds. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 11, p. 2801, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12112801.

ZHU, Mingwei et al. Identification of the initial water-site and movement in Gleditsia sinensis seeds and its relation to seed coat structure. **Plant Methods**, Londres, v. 17, p. 55, 2021. DOI: 10.1186/s13007-021-00756-z.

Agradecimentos

Ao *Campus* Gurupi e ao *Campus* Formoso do Araguaia, do Instituto Federal do Tocantins, pelo apoio dado na condução dos experimentos.

Informações complementares

Descrição	Declaração
Financiamento	Não se aplica.

Aprovação ética		Não se aplica.
Conflito de interesses		Não há.
Disponibilidade dos dados de pesquisa subjacentes		O trabalho não é um *preprint* e os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos neste artigo.
Uso de Inteligência Artificial		Sim. Em conformidade com as diretrizes editoriais, declaramos que o uso de Inteligência Artificial neste trabalho limitou-se a funções de assistência editorial e revisão textual. Não houve geração de dados sintéticos, manipulação de imagens ou produção de texto que substituísse o julgamento técnico e a originalidade dos autores-pesquisadores. Utilizou-se ferramenta de IA para revisar a ortografia, gramática e coesão textual dos parágrafos escritos originalmente. A ferramenta auxiliou na padronização das referências bibliográficas e citações de acordo com as normas da ABNT solicitadas pela revista. A IA foi empregada para fornecer a base de tradução dos resumos para a língua inglesa (*Abstract*) e espanhola (*Resumen*), sendo os resultados revisado quanto à terminologia técnica. Todas as sugestões fornecidas pela IA foram analisadas e validadas pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo conteúdo final.
CrediT	Ismael de Oliveira Pinto	Funções: conceitualização, análise formal, escrita, revisão e edição da versão final.
	Thiago Sampaio Castro	Funções: conceitualização, análise formal, escrita, revisão e edição da versão final.
	Ageu Pereira de Almeida	Funções: conceitualização, análise formal, escrita, revisão e edição da versão final.
	Olavo da Costa Leite	Funções: conceitualização, análise formal, escrita, revisão e edição da versão final.

Avaliadores: Os avaliadores optaram pela avaliação fechada e pelo anonimato.
Revisor do texto em português: Wilken Figueredo Matos*.
Revisor do texto em inglês: San Thiago de Araújo e Silva*.
Revisor do texto em espanhol: Wilken Figueredo Matos*.

Como citar (ABNT):
PINTO, Ismael de Oliveira *et al*. Desempenho germinativo de Cochlospermum regium sob diferentes métodos de superação de dormência tegumentar. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 10, p. e2256, 2026. DOI: 10.47236/2594-7036.2026.v10.2256. Disponível em: https://sitionovo.ifto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/2256.

* Conforme informado pelos autores e comprovado pelo documento anexado ao sistema.