

## ***Crescimento e fenologia reprodutiva de Araucaria angustifolia no entorno de um reservatório hidrelétrico no Paraná***

O objetivo do estudo foi analisar se o crescimento e a fenologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia* diferem em função da variação nas características ambientais em diferentes distâncias da margem de um reservatório de hidrelétrica no Sul do Brasil. Foram selecionadas duas áreas, uma próxima ao reservatório ("proximal") e a outra a uma distância de 8 km da margem ("distal"), respectivamente nos municípios de Bituruna e Pinhão, PR. Realizou-se o monitoramento mensal da fenologia reprodutiva e do incremento em circunferência por meio de cintas dendrométricas, bem como a determinação da idade e medição da espessura da casca de 12 indivíduos arbóreos em cada área, além da coleta de dados de variáveis meteorológicas. Foram analisadas as fenofases de androstróbilos imaturos, androstróbilos maduros, estróbilos senescentes, ginostrobilos imaturos e maturação/queda da pinha. O incremento em circunferência foi representado por boxplots, calculados o incremento corrente anual e incremento acumulado, e relacionados com variáveis meteorológicas, idade e espessura da casca por meio da correlação de Spearman. Analisou-se o índice de atividade das fenofases por meio de estatísticas circulares e a correlação de Spearman destas com o incremento e variáveis meteorológicas. O crescimento diferiu significativamente nas áreas, sendo maior na área proximal. As fenofases reprodutivas masculinas e femininas não diferiram entre as áreas, indicando que o período de ocorrência e atividade de indivíduos manifestando as fenofases foi similar entre os ambientes. O incremento mensal foi correlacionado positivamente com a precipitação, temperatura média e mínima nas áreas, enquanto as fenofases foram mais influenciadas pelas variáveis radiação solar média e pelas temperaturas média, mínima e máxima. Na área proximal, foi observada correlação positiva do incremento médio em circunferência com a espessura da casca e idade. Maiores correlações com a temperatura na área proximal foram associadas a influência da altitude e das mudanças ambientais associadas a formação do reservatório. Conclui-se que, em escala local, os indivíduos apresentaram taxas de incremento distintas, porém comportamento fenológico similar, sendo influenciados pelas variáveis ambientais.

**Palavras-chave:** Incremento mensal; Fenofases; Variáveis meteorológicas; Lagos artificiais.

## ***Growth and reproductive phenology of Araucaria angustifolia around a hydroelectric reservoir in Paraná***

The objective of the study was to analyze whether the growth and reproductive phenology of *Araucaria angustifolia* differ as a function of variation in environmental characteristics at different distances from the shore of a hydroelectric reservoir in southern Brazil. Two areas were selected, one near the reservoir ("proximal") and the other at 8 km from the shore ("distal"), respectively in the municipalities of Bituruna and Pinhão, PR. The reproductive phenology and circumference increment by means of dendrometer bands were monitored monthly, age determination and bark thickness measurement of 12 tree individuals in each area, as well as data collection of meteorological variables. The phenophases of immature androstrombils, mature androstrombils, senescent strobils, immature gynostrobils and maturation/needle fall were analyzed. The circumference increment was represented by boxplots, the current annual increment and accumulated increment were calculated, and related to meteorological variables, age, and bark thickness by Spearman correlation. The phenophase activity index was analyzed using circular statistics, and the Spearman correlation of these with increment and meteorological variables. The growth was significantly different between areas, being greater in the proximal area. The male and female reproductive phenophases did not differ between the areas, indicating that the period of occurrence and activity of individuals manifesting the phenophases was similar between the environments. The monthly increment was positively correlated with precipitation, average and minimum temperature in the areas, while the phenophases were more influenced by the variables average solar radiation and the average, minimum and maximum temperatures. In the proximal area, we found a positive correlation of the average circumference increment with bark thickness and age was observed. Higher correlations with temperature in the proximal area were associated with the influence of altitude and environmental changes associated with reservoir formation. We conclude that, on a local scale, the individuals presented distinct rates of increase, but similar phenological behavior, being influenced by environmental variables.

**Keywords:** Monthly increment; Phenophases; Meteorological variables; Artificial lakes.

Topic: Ciências Florestais

Received: 02/07/2022

Approved: 26/07/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Edilaine Duarte**   
Universidade Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0341055722831139>  
<http://orcid.org/0000-0003-3623-5576>  
[eduarda10@gmail.com](mailto:eduarda10@gmail.com)

**Amanda Koche Marcon**   
Universidade Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2522868478765156>  
<http://orcid.org/0000-0002-9640-9825>  
[amandakoche@gmail.com](mailto:amandakoche@gmail.com)

**Christopher Thomas Blum**   
Universidade Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0183995863484543>  
<http://orcid.org/0000-0002-1898-3311>  
[ctblum.ufpr@gmail.com](mailto:ctblum.ufpr@gmail.com)

**Pedro Higuchi**   
Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0068554244216474>  
<http://orcid.org/0000-0002-3855-5555>  
[higuchip@gmail.com](mailto:higuchip@gmail.com)

**Tomaz Longhi Santos**   
Universidade Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2086566884344103>  
<http://orcid.org/0000-0001-9700-2843>  
[tomazlonghi@gmail.com](mailto:tomazlonghi@gmail.com)

**Kyvia Pontes Teixeira das Chagas**   
Universidade Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0078499186084521>  
<http://orcid.org/0000-0003-1361-3204>  
[kyviapontes@gmail.com](mailto:kyviapontes@gmail.com)

**Franklin Galvão**   
Universidade Federal do Paraná, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6639659544951286>  
<http://orcid.org/0000-0002-1425-1607>  
[fgalvao@ufpr.br](mailto:fgalvao@ufpr.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.007.0002

### Referencing this:

DUARTE, E.; MARCON, A. K.; BLUM, C. T.; HIGUCHI, P.; SANTOS, T. L.; CHAGAS, K. P. T.; GALVÃO, F.. Crescimento e fenologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia* no entorno de um reservatório hidrelétrico no Paraná. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.7, p.10-26, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.007.0002>

## INTRODUÇÃO

As formações florestais do Bioma Mata Atlântica foram intensamente alteradas ao longo do tempo, por meio de práticas como o corte seletivo, desmatamento para o desenvolvimento de atividades agrícolas, pecuária, e para a construção de obras de infraestrutura, reduzindo-as a pequenos fragmentos (RIBEIRO et al., 2009; HIGUCHI et al., 2012; ZANETTE et al., 2017). No Brasil, a crescente demanda por energias renováveis, aliada ao alto potencial hídrico, tem propiciado o aumento do número de usinas hidrelétricas (ZARFL et al., 2015). Embora consideradas fontes limpas de energia, estas promovem impactos ambientais onde estão inseridas, como alterações no microclima (e.g. temperatura, precipitação, umidade e nebulosidade) (BAXTER, 1977; SANCHES et al., 2005), perda de habitat e a fragmentação florestal (ZARFL et al., 2015; MARCON et al., 2020). Essas mudanças ambientais podem causar alterações na estrutura, no crescimento e nas características funcionais da vegetação do entorno de barragens (LOPES et al., 2015; MOSER et al., 2019).

Dentre as espécies nativas que tiveram suas populações reduzidas em toda a área de ocorrência natural, devido à fragmentação e desmatamento, destaca-se a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, pertencente à família Araucariaceae e classificada como “Em perigo” de extinção no Brasil (MMA, 2022). Em função da drástica redução das populações e de sua importância ambiental, diversos estudos têm analisado aspectos relacionados a autoecologia da espécie em remanescentes florestais no Sul do Brasil, especialmente associados ao crescimento e fenologia (ANSELMINI et al., 2006; FIGUEIREDO FILHO et al., 2008; ZANON et al., 2010; MACHADO et al., 2014; ZANETTE et al., 2017).

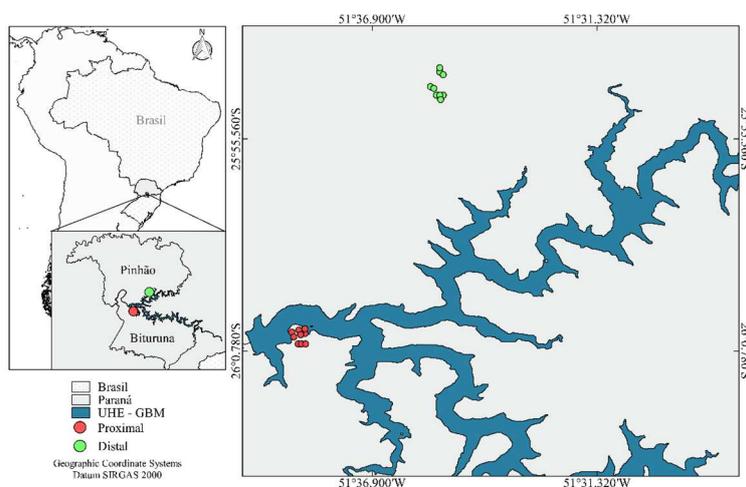
O crescimento está relacionado ao aumento no tamanho em altura, diâmetro, galhos e raízes das plantas, em um determinado intervalo de tempo (MACHADO et al., 2014; FIGUEIREDO FILHO et al., 2015). Enquanto a fenologia está associada ao período de ocorrência dos eventos biológicos (e.g. renovação e queda foliar, floração e frutificação) de espécies e sua relação com fatores abióticos e bióticos (FERRERA et al., 2017). Desse modo, observações fenológicas fornecem informações sobre a periodicidade desses eventos, em função de variações no clima regional e local (MARQUES et al., 2004; ZANON et al., 2010), podendo refletir no ritmo da atividade cambial e crescimento das espécies (JACOBY, 1989).

Considerando a elevada importância da espécie em áreas de Floresta Ombrófila Mista (HIGUCHI et al., 2012; ZANETTE et al., 2017), o presente estudo teve como objetivo analisar se o crescimento em circunferência e fenologia reprodutiva de populações de *Araucaria angustifolia* diferem em função da variação nas características ambientais em diferentes distâncias da margem de um reservatório de hidrelétrica no Sul do Brasil. Buscou-se responder as seguintes questões: 1) Existem diferenças no crescimento em circunferência e padrões fenológicos das populações entre as áreas? 2) Quais variáveis ambientais exercem maior influência no incremento em circunferência e fenologia da espécie?

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Descrição das áreas de estudo

O estudo foi conduzido em duas áreas, uma situada nas margens da Usina Hidrelétrica Governador Bento Munhoz da Rocha Netto (UHE GBM), no município de Bituruna, e a outra localizada a aproximadamente 8 km da margem do reservatório, em Pinhão, região Centro-Sul do Paraná (Figura 1). A UHE GBM está localizada no rio Iguaçu e se destaca por ser a maior usina sob concessão da Companhia Paranaense de Energia (COPEL), com capacidade de 1.676 MW de potência e início das operações em 1980 (COPEL, 2021). Ao longo do estudo, a área correspondente ao entorno do reservatório foi denominada como “proximal” e o fragmento situado a 8 km da margem do reservatório como “distal”.



**Figura 1:** Localização dos indivíduos arbóreos selecionados nas áreas de estudo proximal e distal ao reservatório da UHE-GBM, região Centro-Sul do Paraná.

As áreas proximal e distal estão localizadas em altitudes médias de 772 m e 1178 m, respectivamente. O clima da região é do tipo Cfb (Subtropical úmido com verão temperado) (ALVARES et al., 2013), apresentando temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e no mês mais quente média inferior a 22 °C, sem estação seca definida (LACTEC, 2009). A geologia da região, assim como de grande parte do terceiro planalto paranaense, é configurada pela Formação Serra Geral, grupo São Bento, constituída de rochas vulcânicas, predominantemente básicas (BESSER et al., 2021; LACTEC, 2009). Nas áreas de estudo predominam associações entre Latossolos vermelhos, Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos, variando em função da topografia e declividade. Nas áreas com relevo plano a suave ondulado ocorrem solos mais profundos (Latosolos vermelhos e Cambissolos), enquanto, no terço médio e superior de encostas íngremes predominam Cambissolos e Neossolos litólicos (LACTEC, 2009; SEKI et al., 2021).

Análises físico-químicas dos solos nas áreas de estudo indicaram que na área proximal predominam solos mais férteis, menos ácidos (maior pH) e menor teor e saturação por alumínio, maior soma de bases e de macro (cálcio, magnésio e potássio) e micronutrientes (manganês, cobre, zinco), elevado teor de matéria orgânica, e textura Franco-argilo-siltosa e Argilo-siltosa. Na área distal os solos caracterizam-se por serem menos férteis, mais ácidos e com elevada saturação e teor de alumínio, maior capacidade de troca de cátions, fósforo disponível e ferro, e textura Argilo-siltosa e argilosa. A vegetação do entorno é caracterizada como

um ecótono entre Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual, com predominância de Floresta Ombrófila Mista nas porções mais elevadas (SEKI et al., 2021).

## Coleta de dados

### Incremento mensal e fenologia reprodutiva

A periodicidade e a taxa de incremento em circunferência do tronco dos indivíduos de *A. angustifolia* foram analisadas pelo método “dinâmico” (FAHN et al., 1981), sendo selecionados 12 indivíduos arbóreos em cada área com diâmetro à altura do peito (DAP) > 30 cm e bom aspecto fitossanitário. Este método consiste na medição da circunferência à altura do peito, seguida pela confecção e instalação de cintas dendrométricas permanentes (dendrômetros) no tronco das árvores a 1,30 m de altura do solo, sendo compostas de aço inoxidável, com precisão de 0,2 mm (ALVARES et al., 2017). As leituras do incremento foram realizadas durante 22 meses (janeiro/20 a outubro/21), três meses após a instalação das cintas.

Realizou-se a determinação da idade e espessura da casca dos indivíduos por meio da coleta de duas amostras não destrutivas da secção transversal do tronco (sentido casca-medula) à altura do DAP (1,3 m), com o auxílio de um trado de incremento, Sonda de Pressler, ( $\emptyset$  5 mm). As amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos, fixadas e coladas em suportes de madeira para secagem em temperatura ambiente e submetidas ao polimento superficial com lixas abrasivas de granulometrias crescentes (80 a 1000 grãos.cm<sup>2</sup>). A idade estimada foi obtida pela sincronização visual entre os raios da mesma árvore em microscópio estereoscópio binocular com zoom (10-160x). Já a espessura da casca foi mensurada com auxílio de um paquímetro digital nas mesmas amostras destinadas à análise da idade.

Simultaneamente às leituras mensais das cintas realizou-se o monitoramento da fenologia reprodutiva dos indivíduos da espécie, com auxílio de um binóculo. As observações fenológicas foram analisadas mensalmente por meio do método de atividade (presença e ausência) (BENCKE et al., 2002) para cada fenofase no período de 24 meses (outubro de 2019 a setembro de 2021). Por se tratar de uma espécie dióica, as fenofases foram estabelecidas de acordo com o grau de desenvolvimento das estruturas reprodutivas masculina (androstróbilo) e feminina (ginostróbilo). Para os indivíduos femininos considerou-se as fenofases ginostrobilo imaturo (GI) e maturação/queda da pinha (MQ), e, para os indivíduos masculinos as fenofases androstróbilo imaturo (IM), androstróbilo maduro (MA) e estróbilo senescente (SE). A proporção de árvores masculinas e femininas diferiu entre as áreas proximal (sete machos e cinco fêmeas) e distal (oito fêmeas e quatro machos).

A diferenciação das fenofases ocorreu pela alteração de cor, tamanho e posição do eixo caulinar nos ramos primários e secundários, tendo como referência o estudo de Anselmini et al. (2006). Na fase inicial de desenvolvimento após a polinização, os ginostrobilos possuem cor verde claro, evoluindo para verde escuro, e crescem em diâmetro e comprimento sobre um eixo caulinar reto. Durante o crescimento e formação das sementes, as pinhas apresentam formato arredondado a alongado (FIGURA 2ABC) e o eixo da pinha começa a curvar-se, indicando o início do período de maturação, seguido pela queda da pinha (cor verde-

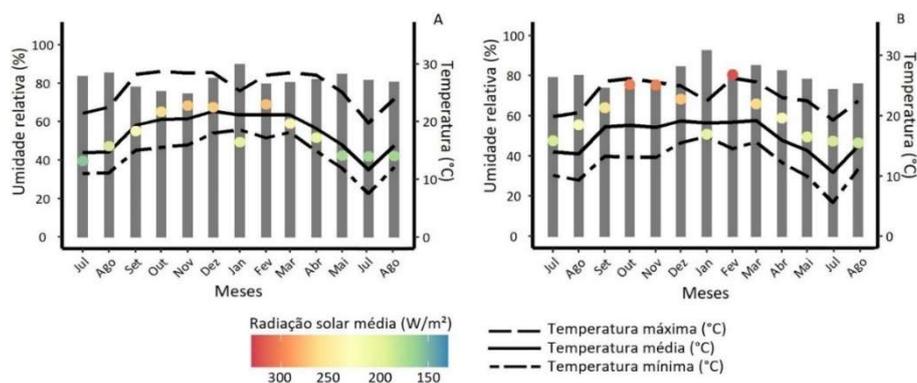
amarronzada) (FIGURA 2D). No início do desenvolvimento, os androstróbilos apresentam formato cônico alongado, sobre um eixo longitudinal reto e cor verde escuro (FIGURA 2E). Com o amadurecimento, o eixo começa a curvar-se e ocorre a alteração da cor verde para verde-amarelada (FIGURA 2F), evoluindo para marrom (FIGURA 2G) com a secagem completa dos estróbilos, que se desprendem dos ramos.



**Figura 2:** Pinhas em diferentes estágios de desenvolvimento (A), ginostróbilos imaturos (BC), maturação/queda da pinha (D), androstróbilo imaturo (E), androstróbilo maduro (F), e estróbilos senescentes (G).

### Variáveis ambientais

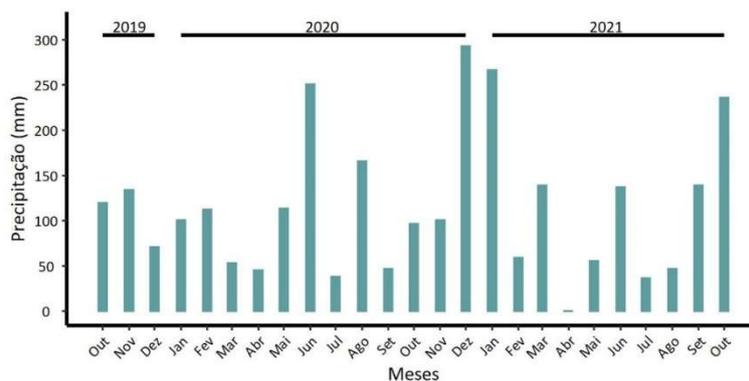
Foram obtidos dados das variáveis de temperatura, umidade relativa e radiação solar das áreas (Figura 3), por meio de quatro *data loggers* de temperatura e umidade relativa do ar (HOBO U23-001) e quatro *data loggers* de temperatura e luminosidade (HOBO MX2202), instalados em áreas de floresta, configurados para obter registros horários e diários, com intervalo de medição de 15 e 10 minutos, respectivamente. Ainda, a fim de obter registros da radiação livre de cobertura vegetal, foram instalados em cada área dois sensores de temperatura e luminosidade em áreas abertas. As variáveis meteorológicas foram monitoradas no período de 14 meses (julho/2020 a agosto/2021), exceto em junho/2021 que houve falhas no registro de dados.



**Figura 3:** Dados de umidade relativa do ar, radiação solar média, temperatura máxima, média e mínima, nas áreas proximal (A) e distal (B) à margem do reservatório da UHE-GBM, no período de julho de 2020 a agosto de 2021. Barras em cinza representam a umidade relativa média mensal.

O HOBO U23-001 tem precisão de 2,5% em umidade e 0,21 °C em temperatura, e foi instalado dentro de abrigo meteorológico, confeccionado em caixa de isopor. Já o HOBO MX2202 tem precisão de 0,5 °C em temperatura e  $\pm 10\%$  em luminosidade, sendo instalado sem abrigo. No interior da floresta os sensores foram fixados no tronco de árvores por meio de uma estrutura de madeira à aproximadamente 10 m de altura, com orientação para face norte, enquanto nas áreas abertas foram fixados na parte superior de estruturas de

madeira e metal, a cerca de 4 m de altura. Os dados de precipitação (Figura 4) foram obtidos da estação meteorológica da UHE Gov. Bento Munhoz (barramento) disponibilizados no Portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).



**Figura 4:** Precipitação total mensal da estação meteorológica da UHE Gov. Bento Munhoz (barramento), no período de outubro de 2019 a outubro de 2021.

## Análise de dados

Com base no monitoramento mensal das cintas dendrométricas, foram calculados o incremento corrente mensal em circunferência (ICM), o incremento acumulado e o incremento corrente anual (ICA) dos indivíduos. Os dados de incremento foram representados por meio de gráficos *boxplots* e esses relacionados com variáveis meteorológicas por meio da correlação de Spearman (ARTUSI et al., 2002). Os dados de incremento, espessura da casca, idade e variáveis ambientais (temperatura, umidade relativa do ar e altitude) foram submetidos a testes de normalidade (Kolmogorov-Smirnov). Atestada a distribuição normal, suas médias foram comparadas pelo teste t e, na ausência de normalidade, as medianas foram comparadas pelo teste de Mann-Whitney, ambos a 95% de probabilidade.

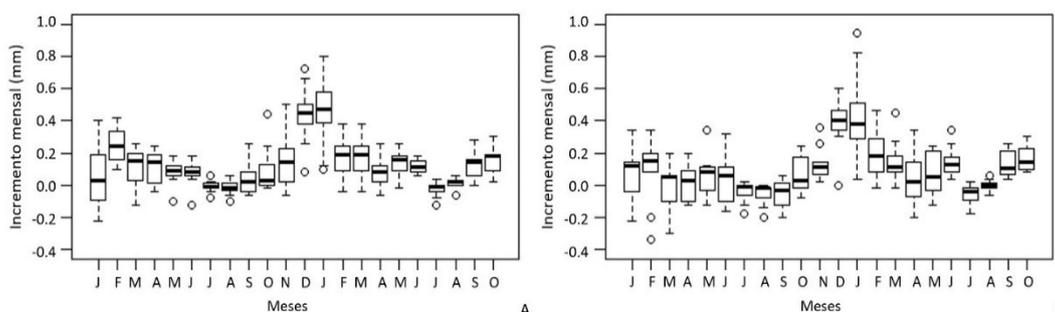
A ocorrência e sazonalidade dos eventos fenológicos foi analisada por meio de estatísticas circulares no programa R (R CORE TEAM, 2021), utilizando o pacote circular (AGOSTINELLI et al., 2011). Para confecção da estatística circular, foram usados dados de frequência absoluta da ocorrência das fenofases (proporção de indivíduos expressando cada fenofase), e os dias do mês foram convertidos em ângulos de 0 a 360°, com intervalo de 30° entre cada mês (MORELLATO et al., 2000). Foram calculados o ângulo médio, data média, desvio padrão circular, comprimento do vetor médio ( $r$ ), significância do ângulo médio pelo teste de Rayleigh ( $z$ ), e realizado o teste de Watson-Williams ( $F$ ) para verificar se o comportamento fenológico da espécie difere entre as áreas (ZAR, 1999). A associação das fenofases com o incremento médio em circunferência e variáveis meteorológicas (precipitação, umidade relativa, temperatura máxima, média e mínima e radiação média) foi realizada por meio da correlação de Spearman (ARTUSI et al., 2002).

## RESULTADOS

### Incremento corrente mensal

Os dados de incremento em circunferência dos indivíduos de *A. angustifolia* diferiram significativamente entre as áreas pelo teste Mann-Whitney ( $W = 29965.0$ ,  $p = 0.02$ ), sendo o maior valor de

mediana observado na área proximal (0,10 mm) em comparação com a área distal (0,06 mm). Os indivíduos apresentaram crescimento contínuo e gradual no período analisado (FIGURA 5AB), sendo os maiores incrementos observados nos meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021 (verão), coincidindo com o período de maior precipitação total (559,20 mm), maiores temperaturas mínimas e elevada umidade relativa do ar nas áreas proximal (18,3 °C; 86%) e distal (16,1 °C; 88%). Enquanto a redução das taxas de incremento ocorreu em ambas as áreas nos meses de julho a setembro de 2020 e entre julho e agosto de 2021, associados principalmente à diminuição das temperaturas.



**Figura 5:** Boxplots do incremento corrente mensal em circunferência dos indivíduos de *Araucaria angustifolia* nas áreas proximal (A) e distal (B) ao reservatório UHE GBM, no período de janeiro de 2020 a outubro de 2021.

Na tabela 1, são descritas as taxas médias de crescimento dos indivíduos da espécie entre as áreas e meses analisados. Além disso, pode-se observar que o incremento acumulado em circunferência foi superior na área proximal (2,99 mm), quando comparada à distal (2,56 mm). Na área proximal predominam árvores mais jovens, com idades estimadas entre 32 e 43 anos e média de  $38 \pm 3,62$  anos, enquanto na área distal os indivíduos possuem idade entre 33 e 64 anos, com média de  $53 \pm 9,01$  anos, diferindo significativamente entre as áreas ( $p=0,000$ ). No entanto, não foi observada diferença significativa no diâmetro médio das árvores entre as áreas proximal ( $53,58 \pm 10,31$  cm) e distal ( $61,99 \pm 12,59$ ) ( $p=0,09$ ). A espessura da casca também diferiu entre as áreas ( $p= 0,008$ ), sendo os maiores valores observados na área distal ( $38,49$  mm  $\pm 9,85$ ) em relação a proximal ( $27,93$  mm  $\pm 6,19$ ), variando de 17,18 a 58,42 mm.

**Tabela 1:** Incremento mensal em circunferência do tronco (mm), incremento corrente anual (ICA) e incremento acumulado (IAcum) dos indivíduos de *Araucaria angustifolia* nas áreas de estudo proximal e distal ao reservatório da UHE - GBM.

Ano/área	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	ICA	IAcum
2020-Proximal	0,10	0,25	0,12	0,11	0,09	0,09	0,01	0,01	0,05	0,09	0,15	0,44	1,53	-
2020-Distal	0,11	0,14	0,05	0,05	0,08	0,07	0,00	0,00	0,01	0,08	0,13	0,43	1,16	-
2021-Proximal	0,47	0,18	0,18	0,09	0,14	0,11	0,01	0,02	0,12	0,15	-	-	1,46	2,99
2021-Distal	0,44	0,20	0,14	0,08	0,10	0,14	0,00	0,01	0,13	0,17	-	-	1,40	2,56

Por meio da correlação de Spearman foi possível verificar que o crescimento está associado a estímulos ambientais, apresentando correlação positiva com quase todas as variáveis meteorológicas analisadas (Tabela 2). Em ambas as áreas se observou correlações positivas significativas do crescimento com a precipitação, temperatura média e mínima. Destaca-se ainda correlações moderadas e positivas do incremento com a temperatura máxima e radiação solar média na área proximal, e com a umidade relativa na área distal. O incremento médio em circunferência apresentou correlação positiva moderada com a espessura da casca (0,70) e idade (0,68) ( $p= 0,04$ ) na área proximal, enquanto na área distal não foram

observadas correlações significativas.

**Tabela 2:** Correlação de Spearman do incremento corrente mensal de *Araucaria angustifolia* com as variáveis meteorológicas, no período de julho de 2020 a agosto de 2021.

Área	Radiação solar média (W/m <sup>2</sup> )	Precipitação (mm)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura média (°C)	Temperatura mínima (°C)	Umidade relativa do ar (%)
Proximal	0,68*	0,63*	0,63*	0,94**	0,92**	-0,04
Distal	0,54	0,62*	0,53	0,84*	0,83*	0,63*

NOTA: \* valores significativos ao nível de 95% e \*\* 99% de confiança.

### Fenologia reprodutiva

Em ambas as áreas se observou ausência de sazonalidade para a fenofase ginostróbilo imaturo pelo teste de Rayleigh ( $p > 0,05$ ) (Tabela 3). A fenofase androstróbilo maduro apresentou o maior valor do vetor médio ( $r$ ), com ocorrência altamente sazonal na área proximal (0,91) e distal (0,92). Um padrão parcialmente sazonal foi verificado para maturação/queda das pinhas nas áreas distal (0,61) e proximal (0,55). Para androstróbilo imaturo e estróbilo senescente foram observados valores do vetor médio  $r$  pouco significativos, em função da ocorrência uniforme das fenofases durante o ano. A data média indica que a concentração das fenofases masculinas e femininas ocorreram de forma similar entre as áreas. No entanto, observa-se que a maturação/queda das pinhas e androstróbilos maduros ocorrem primeiro na área distal, enquanto as demais fenofases manifestam-se antes na área proximal. Quando comparados os padrões fenológicos reprodutivos da espécie entre as áreas, no período de dois anos de avaliação, observou-se ausência de diferenças estatísticas significativas pelo teste de Watson-Williams ( $p > 0,05$ ).

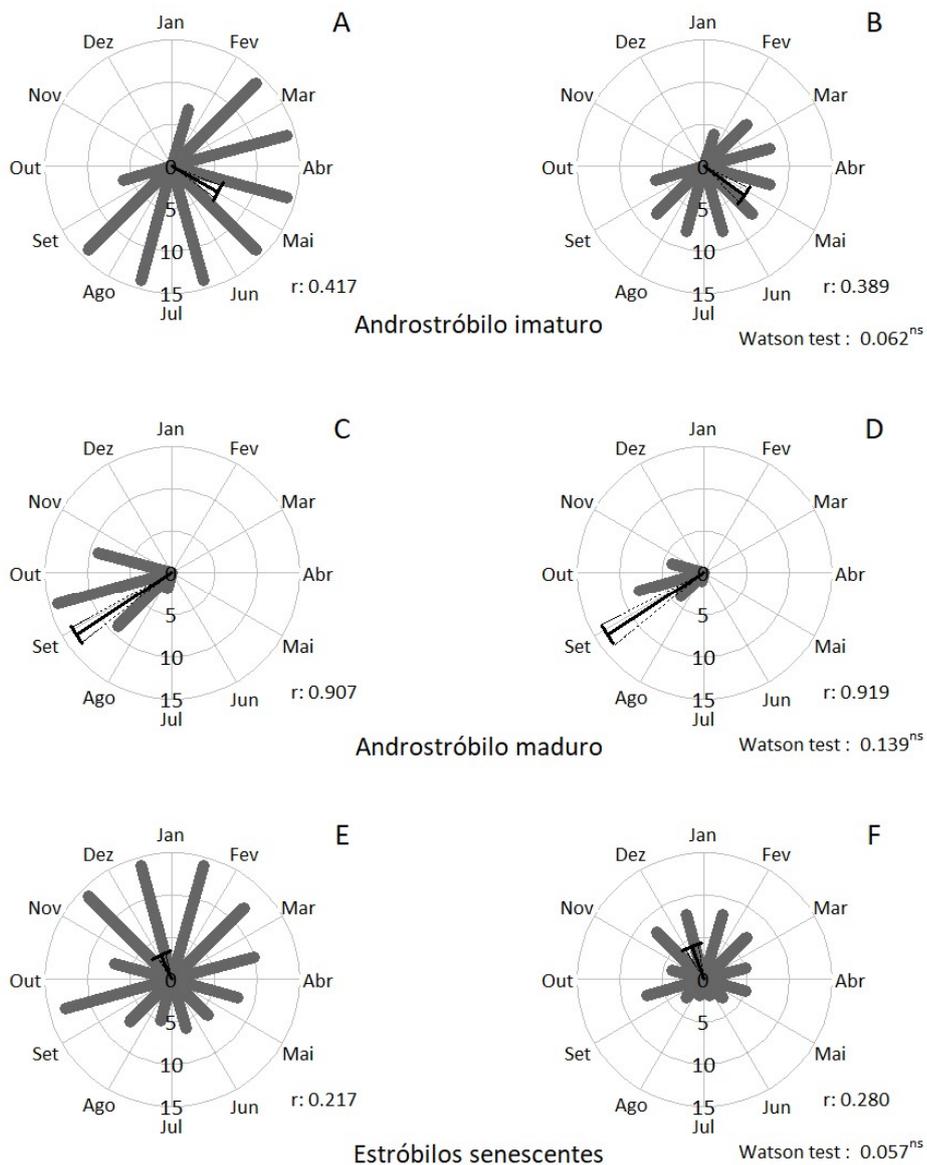
**Tabela 3:** Resultados da estatística circular das fenofases reprodutivas de *Araucaria angustifolia* no período de outubro de 2019 a setembro de 2021, nas áreas proximal e distal ao reservatório da UHE GBM.

Área	Estatística circular	IM	MA	SE	GI	MQ
Proximal	Ângulo médio ( $\mu$ )	133,91	254,60	351,22	120,00	168,70
	Data média	16/mai	17/set	23/dez	03/mai	21/jun
	Desvio padrão circular	75,78	25,27	100,17	164,08	62,81
	Comprimento do vetor médio ( $r$ )	0,42	0,91	0,22	0,02	0,55
	Teste de Rayleigh ( $p$ )	0,00	0,00	0,004	0,97	0,00
Distal	Ângulo médio ( $\mu$ )	141,27	251,80	354,43	135,00	157,30
	Data média	24/mai	13/set	26/dez	18/mai	10/jun
	Desvio padrão circular	78,71	23,48	91,21	166,57	56,91
	Comprimento do vetor médio ( $r$ )	0,39	0,92	0,28	0,02	0,61
	Teste de Rayleigh ( $p$ )	0,00	0,00	0,01	0,96	0,00
	Teste de Watson-Williams (F)	0,06 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>

NOTA: IM= androstróbilos imaturos; MA= androstróbilos maduros; SE= estróbilos senescentes; GI= ginostróbilos imaturos; MQ= maturação/queda da pinha; ns= valores não significativos.

Para os indivíduos masculinos, com ciclo reprodutivo anual, a visibilidade dos androstróbilos imaturos na posição lateral dos ramos vegetativos (grimpas) ocorreu a partir de janeiro, com maior atividade de indivíduos manifestando as fenofases a partir de fevereiro em ambas as áreas (Figura 6AB). A maturação dos androstróbilos (Figura 6CD) foi observada entre os meses de julho a outubro, com maior atividade em setembro em ambas as áreas, período em que ocorre a liberação e dispersão do pólen pelo vento. Durante todo o período de monitoramento foi verificada, para a maior parte dos indivíduos, a presença de estróbilos senescentes na copa, sendo estes referentes ao ciclo reprodutivo anterior de cada ano (Figura 6EF), com

maior ocorrência nos meses novembro a janeiro.

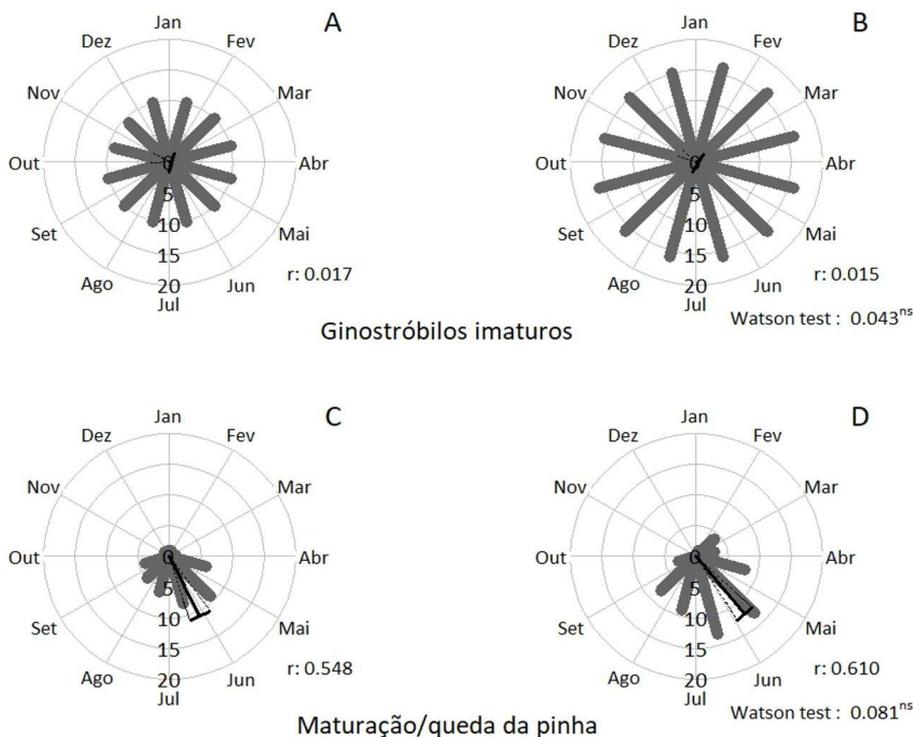


**Figura 6:** Comportamento fenológico reprodutivo dos indivíduos masculinos de *Araucaria angustifolia* nas áreas proximal (ACE) e distal (BDF), no período de outubro de 2019 a setembro de 2021. As barras representam o número de indivíduos. Seta em negrito indica o ângulo médio, comprimento do vetor médio ( $r$ ) e o erro padrão da média.

Para as plantas femininas, observou-se a sobreposição das etapas de desenvolvimento das estruturas reprodutivas, sendo que a ocorrência de ginostrobilos imaturos se deu simultaneamente com a maturação/queda das pinhas. Observou-se, para a maior parte dos indivíduos amostrados a presença de ginostrobilos imaturos na copa (Figura 7AB) ocorrendo de forma contínua durante todo o ano, em função de a espécie apresentar ciclo reprodutivo de formação das pinhas e sementes superior a um ano. Para maturação/queda da pinha (Figura 7CD) a maior proporção de indivíduos manifestando a fenofase foi observada entre abril e setembro, com maior atividade em maio em ambas as áreas.

A fenofase ginostrobilo imaturo não apresentou correlação com variáveis meteorológicas e incremento (Tabela 4). Para as árvores masculinas, a fenofase androstróbilo imaturo apresentou correlação moderada e negativa com a radiação nos dois ambientes, e forte correlação negativa com a temperatura máxima na área proximal. Androstróbilos maduros apresentaram correlação moderada e negativa com a

temperatura média na área proximal, e correlação negativa moderada a forte com o incremento mensal nas áreas.



**Figura 7:** Comportamento fenológico reprodutivo dos indivíduos femininos de *Araucaria angustifolia* nas áreas proximal (AC) e distal (BD), no período de outubro de 2019 a setembro de 2021. Barras em cinza indicam o número de indivíduos. Setas em negrito representam o ângulo médio, comprimento do vetor médio ( $r$ ) e erro padrão da média.

Em ambas as áreas se observou correlações positivas moderadas a muito fortes dos estróbilos senescentes com a radiação, temperatura máxima, média e mínima, e moderada correlação positiva com o incremento mensal. Além da correlação positiva e moderada da fenofase com a precipitação na área distal. Para os indivíduos femininos a maturação/queda de pinha apresentou moderadas a muito fortes correlações negativas com a radiação solar, precipitação, temperaturas máxima, média e mínima nas áreas, e moderada correlação negativa com o incremento.

**Tabela 4:** Correlação de *Spearman* das fenofases reprodutivas de *Araucaria angustifolia* e com as variáveis meteorológicas e incremento médio (mm) nas áreas de estudo proximal e distal, no período de julho/20 a agosto/21.

Área	Fenofases	Radmed ( $W/m^2$ )	Pt (mm)	Tmed ( $^{\circ}C$ )	Tmin ( $^{\circ}C$ )	Tmax ( $^{\circ}C$ )	UR (%)	IM (mm)
Proximal	IM	-0,60*	-0,36	-0,43	-0,33	-0,73**	0,56*	-0,24
	MA	-0,40	-0,25	-0,58*	-0,54	-0,29	-0,12	-0,77**
	SE	0,75**	0,49	0,78**	0,77**	0,78**	-0,47	0,64*
	GI	-	-	-	-	-	-	-
	MQ	-0,81**	-0,73*	-0,80**	-0,79**	-0,66*	0,35	-0,65*
Distal	IM	-0,59*	-0,44	-0,34	-0,24	-0,40	0,20	-0,32
	MA	-0,42	-0,23	-0,45	-0,40	-0,23	-0,46	-0,64*
	SE	0,74**	0,62*	0,65*	0,68*	0,67*	0,13	0,63*
	GI	-	-	-	-	-	-	-
	MQ	-0,72**	-0,70*	-0,72*	-0,77**	-0,62*	-0,25	-0,60*

Nota: IM= androstróbilo imaturo; MA= androstróbilo maduro; SE= estróbilo senescente; GI= ginostrobilos imaturos; MQ= maturação/queda da pinha; Radmed= radiação solar média; Pt= precipitação; Tmed= temperatura média; Tmin= temperatura mínima; Tmax= temperatura máxima; UR= umidade relativa; IM= incremento médio mensal\* valores significativos ao nível de 95% e \*\* 99% de confiança.

## Variáveis ambientais

As variáveis de temperatura, umidade relativa do ar e altitude diferiram significativamente entre as áreas (Tabela 5). A área proximal, que está situada em locais de menor altitude (772 m), apresentou maiores valores de medianas para a umidade relativa do ar e temperatura (85,60% e 18,40 °C) quando comparada à distal (81,48% e 16,60 °C), que está situada em áreas mais elevadas (1178 m), diferindo 4,12% em umidade e 1,8 °C em temperatura.

**Tabela 5:** Estatística descritiva dos valores de temperatura, umidade relativa do ar e altitude nas áreas de estudo.

Variável	Área	Média	Mediana	DP	Mínimo	Máximo	Teste	$p$
Temperatura (°C)	Proximal	18,27	18,40	5,32	0,10	36,78	4,16E10*	0,00
	Distal	16,10	16,60	5,38	-3,9	36,76		
Umidade relativa do ar (%)	Proximal	80,93	85,60	16,04	19,81	100,00	3,20E08*	0,00
	Distal	79,28	81,48	13,08	16,50	100,00		
Altitude	Proximal	771,95	767,00	19,05	750,00	822,00	-71,72**	0,00
	Distal	1177,75	1176,50	16,66	1154,00	1220,00		

Nota: DP=desvio padrão;  $p$ = significância; \* teste Mann-Whitney; \*\* Teste t, ambos a 5% de significância.

## DISCUSSÃO

Nossos resultados evidenciaram diferenças no incremento médio em circunferência do tronco dos indivíduos de *Araucaria angustifolia* nas áreas. Um maior crescimento da espécie observado na área proximal pode estar associado às condições edáficas mais favoráveis (maior fertilidade), assim como pelas diferenças de idade dos indivíduos. Embora o diâmetro médio das árvores não tenha diferido entre os locais, observou-se a ocorrência de árvores mais jovens na área proximal, sendo em sua maioria árvores com idade posterior ao enchimento do reservatório, resultado de regeneração natural. Segundo Zanon et al. (2010), o crescimento varia em resposta às condições ambientais (e.g. clima, solo, topografia, altitude), recursos disponíveis (e.g. luz, nutrientes), características genéticas, competição, entre outros.

Com relação à espessura da casca, que está relacionada ao suporte estrutural do tronco e proteção dos tecidos do lenho ao estresse biótico (e.g. herbivoria) e abiótico (e.g. seca, geada) (PAINÉ et al., 2010), observou-se diferenças significativas entre as áreas, possivelmente devido à ocorrência de árvores mais velhas na área distal. A maior proporção de casca em indivíduos de espécies nativas com crescimento em áreas abertas tende a ser observada em árvores de maior diâmetro (RIOS et al., 2012). Paine et al. (2010) verificaram que o DAP é positivamente relacionado com a espessura da casca das árvores, e citam elevada variação deste atributo dentro e entre espécies, em função do tamanho dos indivíduos.

Ao analisar o crescimento por meio de cintas dendrométricas de sete espécies nativas em áreas de Floresta Ombrófila Mista no município de São João do Triunfo, no Sul do Paraná, Figueiredo Filho et al. (2008) observaram incremento médio anual de 1,22 mm para *A. angustifolia*. Ao separar os indivíduos da espécie em classes diamétricas, Figueiredo Filho et al. (2003) verificaram maior incremento para árvores com diâmetro entre 40 e 49,9 cm, com média de 1,94 mm/ano, e destacaram que o crescimento da espécie foi baixo quando comparado a outras espécies de folhosas nativas analisadas. Já Shaaf et al. (2005), ao avaliarem o crescimento em diâmetro de espécies arbóreas nesta mesma floresta, observaram para *A. angustifolia* um incremento de 3,2 mm/ano.

Zanon et al. (2010), ao investigarem o crescimento da espécie em função de variáveis meteorológicas na Floresta Nacional de São Francisco de Paula-RS, observaram incremento médio de 2,44 mm. Os resultados de incremento obtidos nestes estudos são superiores quando comparados ao incremento médio dos indivíduos nas áreas proximal (1,50 mm) e distal (1,28 mm), com idades médias de 38 e 53 anos, possivelmente associadas as diferenças de idades das árvores amostradas, assim como variações edafoclimáticas.

Observamos taxas de crescimento superiores no período primavera e verão, em função do aumento das temperaturas, radiação e precipitação, corroborando com o observado em outros estudos (FIGUEIREDO FILHO, 2008; ZANON et al., 2010; KANIESKI et al., 2017). Este período foi responsável por 67,09% do incremento na área proximal e 71,63% na distal. Nos meses mais frios ou com menor índice pluviométrico, foram obtidas taxas baixas a quase nulas de crescimento para os indivíduos nestas áreas. Baixas temperaturas e/ou déficit hídrico estão associados a variações na atividade cambial e formação dos anéis de crescimento (JACOBY, 1989). Maiores valores dessas variáveis, associados a altos níveis de radiação, afetam positivamente os processos fisiológicos (maiores taxas fotossintéticas) (LARCHER, 2006) e condutividade hidráulica, com implicações no crescimento em função da idade (VIEIRA et al., 2009).

De fato, precipitação e as temperaturas média e mínima foram as variáveis meteorológicas de maior correlação com o incremento médio dos indivíduos em ambas as áreas. A influência dessas variáveis no crescimento de espécies também foi relatada em diversos estudos desenvolvidos no Sul do Brasil (FIGUEIREDO FILHO et al., 2008; SHAAF et al., 2005; KANIESKI et al., 2017; ANDREACCI et al., 2017). O início e duração da atividade cambial é influenciado pelas variações de temperatura (KANIESKI et al., 2017) e difere em função da espécie e estágio de desenvolvimento das plantas (ZANON et al., 2010). Já a precipitação influencia não apenas no crescimento, mas na reidratação da casca e lenho das árvores, promovendo alterações na circunferência, mesmo quando há redução da atividade cambial (inverno) (ANDREACCI et al., 2017). Em épocas secas, um menor crescimento e perda de umidade da casca podem causar a retração das cintas e, conseqüentemente, leituras negativas de incremento (ZANON et al., 2010).

Neste estudo, embora tenha sido observado crescimento contínuo em diâmetro, verificou-se em ambas as áreas a ocorrência de árvores com taxas baixas a quase nulas durante todo o período analisado, exceto nos meses de maior índice pluviométrico, possivelmente devido as variações de umidade da casca. Dezembro e janeiro/2021 foram os meses com maiores valores de incremento nas áreas. A retomada do crescimento ocorreu em outubro/2020 e setembro/2021, enquanto a redução foi observada a partir de março/2020 e abril/2021, com taxas extremamente baixas a nulas entre julho e agosto, corroborando com os resultados obtidos em estudos no Sul do Brasil e indicando que o crescimento da espécie é sensível às variações climáticas (FIGUEIREDO FILHO, 2008; ZANON et al., 2010). Ainda, menores índices de precipitação nos meses iniciais de 2020, quando comparados aos do ano de 2021, refletiram em baixas taxas de incremento, especialmente nos meses de janeiro e setembro/2020.

A ocorrência de solos mais férteis, devido a maior saturação por bases, soma de bases (Ca, Mg, K), menor acidez e toxidez por alumínio podem ter contribuído para um maior incremento dos indivíduos na

área proximal, assim como o observado por Dedecek et al. (2008). Esses autores verificaram que uma maior produtividade e crescimento da espécie exótica *Pinus taeda* na região de Telêmaco Borba (PR) ocorria associada a sítios com características edáficas similares às observadas na área proximal (e.g. maior SB e fertilidade, menor teor de Al e acidez).

No que se refere à fenologia reprodutiva da espécie, Solórzano Filho (2001) e Anselmini et al. (2006) mencionam que tanto os indivíduos masculinos quanto femininos de *A. angustifolia* produzem novos estróbilos anualmente. A fase inicial de formação dos ginostrobilos e androstrobilos, que ocorre em novembro, não foi visualizada, em função do pequeno tamanho das estruturas e cor semelhante aos ramos vegetativos (ANSELMINI et al., 2006). Androstrobilos visíveis foram observados com maior frequência no mês de fevereiro nas áreas, período em que apresentam tamanho superior ao das folhas, corroborando com o observado por outros autores (SOLÓRZANO FILHO, 2001; MANTOVANI et al., 2004). Para Anselmini et al. (2006), androstrobilos são visíveis a partir de janeiro em Curitiba - PR, período com maiores temperaturas e radiação que favorecem o desenvolvimento das estruturas reprodutivas da espécie.

A maior ocorrência de androstrobilos maduros foi observada entre setembro e outubro, coincidindo com o aumento das temperaturas e radiação nas áreas, período em que ocorre a liberação do pólen pelo vento, assim como o observado em outros estudos (ANSELMINI et al., 2006; ZANETTE et al., 2017). Para Mantovani et al. (2004) a dispersão do pólen ocorreu entre agosto e setembro. Após esta fase, verificou-se a presença de estróbilos senescentes na copa das árvores durante todo o ano.

Os indivíduos femininos apresentaram pinhas em diferentes estágios de desenvolvimento em uma mesma árvore. Para Anselmini et al. (2006) o ciclo completo dos ginostrobilos desde a formação até a queda das pinhas é de cerca de 29 a 34 meses, e para Zanette et al. (2017) ocorre entre 28 e 35 meses. Já Mantovani et al. (2004) observaram apenas dois estágios de desenvolvimento das pinhas, com ciclo completo de desenvolvimento após a polinização inferior a dois anos (19 a 20 meses). Neste estudo não foi observado o ciclo completo de formação das pinhas. No entanto, considerando que a dispersão do pólen no primeiro ano de avaliação ocorreu em outubro de 2019, infere-se que o ciclo completo seja de 16 a 23 meses, com pico de indivíduos manifestando a fenofase de maturação/queda de pinhas 20 meses após a polinização (maio/2021) em ambas as áreas. No período analisado, observou-se que mais de 90% das árvores amostradas em ambas as áreas apresentaram ginostrobilos imaturos (crescimento após a polinização e formação das sementes) na copa. No entanto, estes diferiram em quantidade, variando de três a mais de 50 pinhas para uma árvore situada no entorno do reservatório. A maior proporção de pinhas foi observada em árvores de maior DAP, com idades entre 40 e 55 anos, situadas em locais com menor competição.

A quantidade de pinhas por árvore e produtividade de sementes viáveis entre os anos pode variar entre plantas, devido a fatores como as condições ambientais no momento de dispersão do pólen, podendo resultar em uma maior ou menor produção de pinhões, com implicações na oferta de alimentos para a fauna, regeneração e consumo humano (ZANETTE et al., 2017). Cabe destacar que todos os ginostrobilos, polinizados ou não, apresentam ciclo completo de desenvolvimento, entretanto, para aqueles não polinizados, são visíveis somente falhas e pinhões falhados (ANSELMINI et al., 2006). Dessa forma, sugere-se

a importância de analisar conjuntamente a fenologia e coletas periódicas de pinhas para a análise da produtividade dos indivíduos.

Observou-se um aumento do crescimento em diâmetro e comprimento dos ginostróbilos no período que antecede a maturação/queda das pinhas (primavera-verão), possivelmente em função do aumento das temperaturas, precipitação e radiação, que favorecem o seu desenvolvimento (ANSELMINI et al., 2006). Neste período também foram observados valores superiores de incremento, indicando investimento e alocação de recursos para o crescimento e formação das estruturas reprodutivas. A maturação/queda da pinha apresentou correlação negativa nas áreas com a radiação, temperatura média e mínima, indicando que nos meses com menor valor dessas variáveis há maior proporção de pinhas maduras, assim como um menor crescimento radial. Para estróbilos senescentes observou-se correlação positiva e significativa para as mesmas variáveis, ou seja, períodos com maiores temperatura e radiação favorecem a ocorrência da fenofase. Ainda, maiores valores de correlação das fenofases e crescimento com as temperaturas na área proximal podem indicar a influência da altitude e de mudanças ambientais associadas à formação do reservatório.

As variáveis meteorológicas apresentaram diferenças significativas entre as áreas, as quais podem ser explicadas em parte pelas diferenças de elevação. A altitude promove mudanças em ao menos três variáveis climáticas (pressão atmosférica, radiação solar e temperatura), em que nas áreas mais elevadas são esperados menores valores de temperatura e maiores níveis de radiação solar (KÖRNER, 2007), assim como o observado neste estudo. Com o aumento de 100 m em altitude foi observada a redução de 0,45 °C em temperatura, sendo similar ao obtido por Blum et al. (2011) (0,44 °C) e Maack (2017) (0,5 °C) no Paraná. Já a maior umidade do ar na área proximal pode estar associada à presença da lâmina de água da represa, e a alterações no ciclo hidrológico (SANCHES et al., 2005).

Além das variações de temperatura e umidade observadas, outros fatores associados à presença de reservatórios artificiais de água (aumento da nebulosidade, formação de neblina, e consequente redução dos níveis de radiação solar) (BAXTER, 1977) podem impactar o desempenho fotossintético dos indivíduos (LARCHER, 2006), e consequentemente no crescimento. Marcon et al. (2022), ao analisarem o crescimento da espécie pré e pós construção do reservatório da UHE GBM, verificaram mudanças no clima local, com destaque para o aumento da precipitação, e evidenciaram a influência do nível de água da barragem e da temperatura mínima, indicando que variações ambientais associadas à construção da represa impactaram no crescimento da espécie. Silveira et al. (2020) também observaram mudanças na temperatura e umidade 40 anos após a construção da mesma represa.

Outros estudos desenvolvidos no entorno de reservatórios de hidrelétricas no Brasil destacaram alterações no crescimento em área basal de espécies arbóreas, associados à presença de maior umidade do solo nas margens adjacentes a reservatórios, que podem resultar na mortalidade de espécies não adaptadas à nova condição ambiental (LOPES et al., 2015; MOSER et al., 2019). No entanto, devido as árvores da área proximal situarem-se distantes no mínimo 13 metros da margem do lago, em relevo ondulado a fortemente ondulado, infere-se que a variável exerça pouca ou nenhuma influência no crescimento das árvores no local.

Para a maior compreensão da influência que mudanças ambientais promovidas pela formação de barragens exercem sobre a vegetação do seu entorno, destaca-se a importância de novos estudos contemplando outras espécies e variáveis climáticas.

## CONCLUSÕES

A análise do crescimento por meio de cintas dendrométricas indicou que as populações de *Araucaria angustifolia* apresentam incremento em circunferência do tronco distinto nas áreas proximal e distal. As fenofases reprodutivas masculinas e femininas não apresentaram diferenças significativas, sendo o período de ocorrência das fenofases similar entre os dois ambientes. Ressalta-se que o ciclo completo de desenvolvimento das pinhas após a polinização foi superior a 20 meses. Em ambas as áreas, o incremento apresentou alta correlação com as temperaturas média e mínima, indicando que em escala local essas variáveis exercem forte influência no crescimento da espécie. As fenofases estiveram mais associadas com a radiação média, temperaturas média, mínima e máxima. Ainda, maiores valores de correlação das fenofases e do incremento com as temperaturas na área proximal podem estar associados a influência da altitude e de mudanças ambientais decorrentes da formação do reservatório no local. Estudos a longo prazo são recomendados para maior compreensão do comportamento fenológico e crescimento da espécie frente as mudanças ambientais em uma pequena escala espacial.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à COPEL Geração e Transmissão S.A. pela oportunidade de participar do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento PD-06491-0405/2015 intitulado 'Metodologia de análise dendroecológica aplicada na determinação do nível de influência que reservatórios artificiais exercem sobre o clima local', do qual esta pesquisa faz parte. Este projeto de P&D foi executado pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) para a Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento da COPEL GeT, no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). 'O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001'.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINELLI, C.; LUND, U.. **R package 'circular'**: Circular Statistics (version 0.4-1). 2011.

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

ALVARES, C. A.; CAMPOE, O. C.; CARNEIRO, R. L.; MUNHOZ, J. S. B.; MATTOS, E. M.; DELIBERALI, I.; FEREZ, A. P. C.; STAPE, J. L.. Construção e uso de fitas dendrométricas para avaliação do ritmo de crescimento de árvores. **Circular**

**Técnica IPEF**, Piracicaba, n.212, p.01-17, 2017.

ANDREACCI, F.; BOTOSSO, P. C.; GALVÃO, F.. Fenologia Vegetativa e Crescimento de *Cedrela fissilis* na Floresta Atlântica, Paraná, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.24, p.e20150241, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/2179-8087.024115>

ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F.; BONA, C.. Fenologia reprodutiva da *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE, na região de Curitiba - PR. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.13, n.1, p.44-52, 2006.

- ARTUSI, R.; VERDERIO, P.; MARUBINI, E.. Bravais-Pearson and Spearman correlation coefficients: meaning, test of hypothesis and confidence interval. **The International Journal of Biological Markers**, v.17, n.2, p.148-151, 2002. DOI: <http://doi.org/10.1177/172460080201700213>
- BAXTER, R. M.. Environmental effects of dams and impoundments. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v.8, p.255-283, 1977.
- BENCKE, C. S.; MORELLATO, L. P. C.. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, interpretação e representação. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v.25, n.3, p.269-275, 2002. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-84042002000300003>
- BESSER, M. L.; BRUMATTI, M.; SPISILA, A. L.. **Mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Paraná**. Programa geologia, Mineração e Transformação Mineral, Escala 1:600.000. Curitiba: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2021.
- BLUM, C. T.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.. O clima e sua influência na distribuição da Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Morretes, Paraná. **Floresta**, Curitiba, p.589-598, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv4i3.24052>
- COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Usina Governador Bento Munhoz da Rocha Netto**. COPEL, 2021.
- DEDECEK, R. A.; FIER, I. S. N.; SPELTZ, R.; LIMA, L. C. S.. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. Características físico-hídricas e químicas do solo. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.3, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv38i3.12417>
- FAHN, A.; BURLEY, J.; LONGMAN, A.; MARIAUX, A.; TOMLINSON, P.. Possible contributions of wood anatomy to the determination of the age of tropical trees. In: BORMANN, F. H.; BERLYN, G.. **Age and growth rate of tropical trees: new directions for research**. New Haven: Yale University, 1981.
- FERRERA, T. S.; PELISSARO, T. M.; SÔNIA MARIA EISINGER, A. M.; RIGHI, E. Z.; BURIOL, G. A.. Fenologia de espécies nativas arbóreas na região central do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.27, n.3, p.753-766, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5902/1980509828608>
- FIGUEIREDO FILHO, A.; HUBIE, S. R.; SCHAAP, L. B.; FIGUEIREDO, D. J.; SANQUETTA, C. R.. Avaliação do incremento em diâmetro com o uso de cintas dendrométricas em algumas espécies de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Estado do Paraná. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.5, n.1, 2003.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; RODE, R.; FIGUEIREDO, D. J.; MACHADO, S. A.. Seasonal diameter increment for 7 species from an Ombrophylous Mixed Forest, Southern State of Paraná, Brazil. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.3, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv38i3.12424>
- FIGUEIREDO FILHO, A.; BRANDES, D.; RETSLAFF, F. A. S.; MARCELO BECKER, M.; ROZA, B. L.. Dioecy effect on growth of planted *Araucaria angustifolia* Bert. O. Kuntze trees. **Cerne**, Lavras, v.21, n.3, p.493-502, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/01047760201521031756>
- HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; FERREIRA, T. S.; SOUZA, S. T.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M.; SANTOS, K. F.; LINKE, C.; PAULINO, P. S.. Influência de variáveis ambientais sobre o padrão estrutural e florístico do componente arbóreo, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Lages, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n.1, p.79-90, 2012. DOI: <http://doi.org/10.5902/198050985081>
- JACOBY, G. C.. Overview of tree-rings analysis in tropical regions. **IAWA Bulletin New Series**, Leiden, v.10, n.2, p.99-108, 1989. DOI: <http://doi.org/10.1163/22941932-90000478>
- KANIESKI, M. R.; GALVÃO, F.; SANTOS, T. L.; MILANI, J. E. F.; BOTOSSO, P. C.. Parâmetros Climáticos e Incremento Diamétrico de Espécies Florestais em Floresta Aluvial no Sul do Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.24, p.e00124814, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/2179-8087.124814>
- KÖRNER, C.. The use of 'altitude' in ecological research. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v.22, n.11, p.569-574, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tree.2007.09.006>
- LACTEC. **Plano ambiental de conservação e uso do entorno de reservatório artificial UHE Governador Bento Munhoz da Rocha Netto**. Curitiba, 2009.
- LARCHER, W.. **Ecofisiologia vegetal**. Prado. São Carlos: Rima, 2006.
- LOPES, S. F.; VALE, V. S.; PRADO JÚNIOR, J. A.; SCHIAVINI, I.. Impacts of artificial reservoirs on floristic diversity and plant functional traits in dry forests after 15 years. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v.75, n.3, p.548-557, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/1519-6984.16013>
- MAACK, R.. **Geografia física do estado do Paraná**. 4 ed. Ponta Grossa: UEPG, 2017.
- MACHADO, S. A.; ZAMIN, N. T.; NASCIMENTO, R. G. M.; SANTOS, A. A. P.. Efeito de Variáveis Climáticas no Crescimento Mensal de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em Fase Juvenil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.21, n.2, p.170-181, 2014. DOI: <http://doi.org/10.4322/floram.2014.015>
- MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S.. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.27, n.4, p.787-796, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-84042004000400017>
- MARCON, A. K.; GALVÃO, F.; MATIAS, R. A. M.; BLUM, C. T.; BOTOSSO, P. C.; MARTINS, K. G.. Dinâmica da paisagem no entorno de uma usina hidrelétrica no estado do Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.48, n.126, p.e3278, 2020. DOI: <http://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.18>
- MARCON, A. K.; MARTINS, K. G.; BOTOSSO, P. C.; LONGHI-SANTOS, T.; BLUM, C. T.; GALVAO, F.. Growth ring response of two Atlantic Forest tree species pre- and post-dam operation in Southern Brazil. **Dendrochronologia**, Verona, v.71, p.125917, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125917>

MARQUES, M. C. M.; OLIVEIRA, P. E. A. M.. Fenologia de espécies do dossel e do sub-bosque de duas Florestas de Restinga na Ilha do Mel, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.27, n.4, p.713-723, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-84042004000400011>

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Gabinete do Ministro. **Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022**. Brasília: MMA, 2022.

MORELLATO, L. P. C.; TALORA, D. C.; TAKAHASHI, A.; BENCKE, C. C.; ROMERA, E. C.; ZIPPARRO, V. B.. Phenology of Atlantic rain forest trees: a comparative study. **Biotropica**, v.4, p.811-823, 2000. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00620.x>

MOSER, P.; SIMON, M. F.; MEDEIROS, M. B.; GONTIJO, A. B.; COSTA, F. R. C.. Interaction between extreme weather events and mega-dams increases tree mortality and alters functional status of Amazonian forests. **Journal of Applied Ecology**, v.56, n.12, p.2641-2651, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1111/1365-2664.13498>

PAINE, C. E. T.; STAHL, C.; COURTOIS, E. A.; PATIÑO, S.; SARMIENTO, C.; BARALOTO, C.. Functional explanations for variation in bark thickness in tropical rain forest trees. **Functional Ecology**, v.24, p.1202-1210, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01736.x>

R CORE TEAM. **The R Project for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, 2021.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M.. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v.142, p.1141-1153, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

RIOS, P. D'A.; MORI, F. A.. Estimativa de idade das árvores, massa específica e cubagem da casca de *Kielmeyera coriacea* Mart. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.40, n.93, p.85-93, 2012.

SANCHES, F.; FISCH, G.. As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí - PA. **Acta Amazônica**, Manaus, v.35, n.1, p.41-50, 2005. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0044-59672005000100007>

SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SANQUETTA, C. R.;

GALVÃO, F.. Incremento diamétrico e em área basal no período 1979-2000 de espécies arbóreas de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v.35, n.2, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V35I2.4615>

SEKI, M. S.; BLUM, C. T.; RÍOS, R. C.; BARDDAL, M. L.; DUARTE, E.; MUZZOLON, R.; VIEIRA, R. S.. Influência de variáveis ambientais sobre a estrutura de floresta em topossequência adjacente a reservatório hidrelétrico em Bituruna/PR. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v.23, n.2, p.47-63, 2021. DOI: <http://doi.org/10.7867/1983-1501.2021v23n2p47-63>

SILVEIRA, R. B.; BLUM, C. T.; DEPPE, F. A. C.; MARCON, A. K.; PEREIRA, G. H. A.; CECHIM JUNIOR, C.. **Use of COSMO CLM Model for Climate Simulations in Brazil Applied to Environment and Hydroelectric Energy**. Assembly Climate Limited-area Modelling Community, 2020.

SOLÓRZANO FILHO, J. A.. **Demografia e ecologia da dispersão de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze (Araucariaceae), numa população relictual em Campos do Jordão**. Dissertação (Mestrado em Ciências - Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

VIEIRA, J.; CAMPELO, F.; NABAIS, C.. Age-dependent responses of tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* to Mediterranean climate. **Trees - Structure and Function**, Berlin, v.23, n.2, p.257-265, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1007/S00468-008-0273-0>

ZANETTE, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I.. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: ZANETTE, F.; WENDLING, I.. **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília: Embrapa, 2017. p.13-39.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.3, p.467-476, 2010. DOI: <http://doi.org/10.5902/198050982061>

ZAR, H. J.. **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

ZARFL, C.; LUMSDON, A. E.; BERLEKAMP, J.; TYDECKS, L.; TOCKNER, K.. A global boom in hydropower dam construction. **Aquatic Sciences**, v.77, n.1, p.161-170, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea ([https://opensea.io/HUB\\_CBPC](https://opensea.io/HUB_CBPC)), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

*The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).*



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749c6e646f68ac8c28420045cb7b5e/449518768004409158499024805450700786647408691356520679561157935245197049857/>