ReGeo ISSN: 2177-3246

FENOLOGIA ARBÓREA EM AMBIENTE URBANO: ANÁLISE DAS ESPÉCIES MAIS FREQUENTES DA PRAÇA DR. CAMILO MÉRCIO, SÃO GABRIEL/RS

TREE PHENOLOGY IN URBAN ENVIRONMENT: ANALYSIS OF THE MOST FREQUENT SPECIES IN DR. CAMILO MÉRCIO SQUARE, SÃO GABRIEL/RS

FENOLOGÍA ARBÓREA EN AMBIENTE URBANO: ANÁLISIS DE LAS ESPECIES MÁS FRECUENTES DE LA PLAZA DR. CAMILO MÉRCIO, SÃO GABRIEL/RS

https://doi.org/10.56238/revgeov17n11-116

Data de submissão: 20/10/2026 **Data de publicação:** 20/11/2026

Franciele Grunewald
Bacharel em Engenharia Florestal
Instituição: Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)
E-mail: francielegrunewaldd@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0002-0742-3527
Lattes: http://lattes.cnpq.br/7870467443736239

Italo Filippi Teixeira
Doutor
Instituição: Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)
E-mail: italoteixeira@unipampa.edu.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5034-1784
Lattes: http://lattes.cnpq.br/6700891457771569

Nirlene Fernandes Cechin
Doutora
Instituição: Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)
E-mail: nirlenecechin@unipampa.edu.br
Orcid: https://orcid.org/0009-0005-6628-0695
Lattes: http://lattes.cnpq.br/3564089225264392

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar os padrões fenológicos das espécies arbóreas presentes na Praça Dr. Camilo Mércio, localizada em São Gabriel, Rio Grande do Sul, relacionando as fenofases observadas com variáveis climáticas e fotoperíodo. A área de estudo possui 9.703,21 m², e o monitoramento foi realizado quinzenalmente entre junho de 2023 e junho de 2025, abrangendo dois ciclos anuais completos. Foram acompanhados 91 exemplares arbóreos, distribuídos em 26 espécies, sendo avaliadas fenofases vegetativas e reprodutivas: botões florais, flores abertas, frutos verdes, frutos maduros, folhas jovens e folhas adultas. A intensidade fenológica foi mensurada por meio do Índice de Fournier, em escala de 0 a 4, e a atividade fenológica foi avaliada pela proporção de exemplares com presença de cada fenofase. Também foram consideradas variáveis climáticas, como temperatura média do ar, precipitação, umidade relativa, radiação solar, vento e fotoperíodo. Os resultados indicaram predomínio da fase vegetativa, com manutenção frequente de folhas adultas ao longo do período avaliado, enquanto folhas jovens, botões florais, flores abertas e frutos apresentaram maior variação sazonal entre as espécies. O fotoperíodo, a temperatura média e a radiação estiveram mais associados às fenofases de maior expressão sazonal, especialmente folhas jovens, botões florais e

flores abertas. Conclui-se que a fenologia arbórea em ambiente urbano resulta da interação entre sazonalidade climática, características das espécies, condições individuais dos exemplares e fatores urbanos, contribuindo para o planejamento e manejo da arborização urbana .

Palavras-chave: Fenologia Arbórea. Ambiente Urbano. Sincronismo Fenológico. Fotoperíodo. Índice de Fournier.

ABSTRACT
This study aimed to analyze the phenological patterns of tree species present in Dr. Camilo Mércio Square, located in São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brazil, relating the observed phenophases to climatic variables and photoperiod. The study area covers 9,703.21 m², and monitoring was carried out fortnightly from June 2023 to June 2025, covering two complete annual cycles. A total of 91 tree individuals, distributed among 26 species, were monitored. Vegetative and reproductive phenophases were evaluated, including flower buds, open flowers, green fruits, mature fruits, young leaves, and adult leaves. Phenological intensity was measured using the Fournier Index, on a scale from 0 to 4, while phenological activity was assessed by the proportion of individuals showing each phenophase. Climatic variables such as mean air temperature, precipitation, relative humidity, solar radiation, wind, and photoperiod were also considered. The results indicated a predominance of the vegetative phase, with frequent maintenance of adult leaves throughout the study period, while young leaves, flower buds, open flowers, and fruits showed greater seasonal variation among species. Photoperiod, mean temperature, and solar radiation were more strongly associated with the phenophases showing greater seasonal expression, especially young leaves, flower buds, and open flowers. It is concluded that tree phenology in urban environments results from the interaction among climatic seasonality, species characteristics, individual tree conditions, and urban factors, contributing to the planning and management of urban afforestation.

Keywords: Tree Phenology. Urban Environment. Phenological Synchrony. Photoperiod. Fournier Index.

RESUMEN
Este trabajo tuvo como objetivo analizar los patrones fenológicos de las especies arbóreas presentes en la Plaza Dr. Camilo Mércio, localizada en São Gabriel, Rio Grande do Sul, relacionando las fenofases observadas con variables climáticas y fotoperíodo. El área de estudio posee 9.703,21 m², y el monitoreo fue realizado quincenalmente entre junio de 2023 y junio de 2025, abarcando dos ciclos anuales completos. Se acompañaron 91 ejemplares arbóreos, distribuidos en 26 especies, siendo evaluadas fenofases vegetativas y reproductivas: botones florales, flores abiertas, frutos verdes, frutos maduros, hojas jóvenes y hojas adultas. La intensidad fenológica fue mensural por medio del Índice de Fournier, en escala de 0 a 4, y la actividad fenológica fue evaluada por la proporción de ejemplares con presencia de cada fenofase. También fueron consideradas variables climáticas, como temperatura media del aire, precipitación, humedad relativa, radiación solar, viento y fotoperíodo. Los resultados indicaron predominio de la fase vegetativa, con mantenimiento frecuente de hojas adultas a lo largo del período evaluado, mientras que hojas jóvenes, botones florales, flores abiertas y frutos presentaron mayor variación estacional entre las especies. El fotoperíodo, la temperatura media y la radiación estuvieron más asociados a las fenofases de mayor expresión estacional, especialmente hojas jóvenes, botones florales y flores abiertas. Se concluye que la fenología arbórea en ambiente urbano resulta de la interacción entre estacionalidad climática, características de las especies, condiciones individuales de los ejemplares y factores urbanos, contribuyendo al planeamiento y manejo de la arborización urbana.

Palabras clave: Fenología Arbórea. Ambiente Urbano. Sincronismo Fenológico. Fotoperíodo. Índice de Fournier.

1 REVISÃO DE LITERATURA

A fenologia vegetal corresponde ao estudo dos eventos periódicos do ciclo de vida das plantas e de sua relação com fatores ambientais, como temperatura, precipitação, disponibilidade hídrica, radiação solar e fotoperíodo. Esses eventos, denominados fenofases, compreendem manifestações vegetativas e reprodutivas, como emissão de folhas, manutenção ou queda foliar, formação de botões florais, abertura de flores, desenvolvimento de frutos verdes e maturação dos frutos (MORELLATO *et al.*, 2016; BENCKE; MORELLATO, 2002).

Em espécies arbóreas, a fenologia permite compreender como os exemplares respondem às variações sazonais e às condições do ambiente em que estão inseridos. A observação contínua das fenofases ao longo do tempo contribui para identificar períodos de maior atividade vegetativa e reprodutiva, além de auxiliar na interpretação dos padrões de crescimento, floração, frutificação e renovação foliar. Segundo Morellato *et al.* (2016), os eventos fenológicos são sensíveis às variações ambientais e podem ser utilizados para compreender respostas das plantas às mudanças sazonais e climáticas.

Os estudos fenológicos também são importantes porque permitem avaliar a dinâmica temporal de produção de recursos, como flores, frutos e folhas, os quais desempenham papel fundamental nas interações ecológicas entre plantas, polinizadores, dispersores e demais organismos associados. Bencke e Morellato (2002) destacam que a fenologia contribui para compreender a disponibilidade de recursos ao longo do tempo, possibilitando a análise da sincronia entre os indivíduos e da intensidade dos eventos fenológicos. Dessa forma, a fenologia não se restringe à descrição dos ciclos das plantas, mas também contribui para compreender processos ecológicos mais amplos.

A manifestação das fenofases pode variar entre espécies e também entre exemplares de uma mesma espécie. Essas diferenças podem estar relacionadas a características genéticas, idade, porte da copa, estado fitossanitário, disponibilidade de água, luminosidade, posição no ambiente e condições microclimáticas. Em áreas urbanas, essa variabilidade pode ser ainda mais evidente, pois os exemplares estão submetidos a diferentes níveis de sombreamento, manejo, compactação do solo e disponibilidade hídrica. Nesse sentido, estudos em ambientes urbanos indicam que fatores antrópicos e microclimáticos podem modificar os padrões fenológicos das espécies, tornando necessária a análise das respostas individuais dos exemplares monitorados (REBELATTO; SOUZA LEAL; PEDROSO DE MORAES, 2013; SOUZA *et al.*, 2017).

A avaliação das fenofases pode ser realizada por meio de métodos visuais padronizados, permitindo comparar a intensidade e a ocorrência dos eventos ao longo do tempo. O Índice de Fournier, proposto por Fournier (1974), é amplamente utilizado para estimar a intensidade das fenofases em

escala ordinal, enquanto o Índice de Atividade Fenológica permite verificar a proporção de indivíduos que manifestam determinado evento em uma data de observação (BENCKE; MORELLATO, 2002). A utilização conjunta desses métodos contribui para diferenciar a abundância de uma fenofase e o grau de participação dos exemplares, tornando a interpretação dos padrões fenológicos mais consistente (MAUÉS; GARCIA; WADT, 2017).

1.2 FENOLOGIA ARBÓREA EM AMBIENTES URBANOS

Os ambientes urbanos apresentam condições distintas das áreas naturais, pois são marcados pela presença de edificações, pavimentação, compactação do solo, redução de áreas permeáveis, alterações na drenagem, manejo constante da vegetação e formação de microclimas. Essas características podem modificar elementos como temperatura, umidade relativa, disponibilidade hídrica, incidência de radiação solar e circulação de ar, influenciando o desenvolvimento das plantas e a ocorrência das fenofases. Segundo Amorim (2019), as alterações na cobertura da terra e a redução de áreas vegetadas contribuem para a formação de ilhas de calor e para mudanças no clima urbano, criando condições ambientais específicas nas cidades.

Em áreas urbanas, árvores localizadas em praças, ruas e avenidas estão sujeitas a diferentes níveis de sombreamento, disponibilidade hídrica, temperatura, luminosidade, podas e interferências antrópicas. Assim, exemplares da mesma espécie podem apresentar comportamentos fenológicos distintos, dependendo de sua posição na paisagem urbana e das condições locais de crescimento. Souza *et al.* (2017) destacam que características ambientais locais podem influenciar a fenologia de folhas, flores e frutos, evidenciando a importância de considerar o ambiente urbano como fator de modificação dos ciclos fenológicos.

A arborização urbana exerce funções ecológicas, paisagísticas e sociais importantes, como melhoria do conforto térmico, sombreamento, abrigo e alimento para a fauna, redução da poluição atmosférica, valorização estética dos espaços públicos e promoção do bem-estar da população. Nesse contexto, o conhecimento da fenologia das espécies arbóreas pode auxiliar no planejamento e no manejo da arborização, permitir identificar períodos de floração, frutificação, queda ou renovação da copa. Esse tipo de informação é relevante para orientar práticas de manejo, escolha de espécies e compreensão da oferta temporal de recursos, como flores e frutos, no ambiente urbano (BENCKE; MORELLATO, 2002; REBELATTO; SOUZA LEAL; PEDROSO DE MORAES, 2013).

Estudos realizados em ambientes urbanos demonstram que a sazonalidade climática interfere nos ciclos fenológicos das espécies arbóreas. Rebelatto, Souza Leal e Pedroso de Moraes (2013), ao analisarem espécies arbóreas em ambiente urbano, observaram relação entre eventos fenológicos e

variações ambientais, especialmente quanto à disponibilidade hídrica e à ocorrência de brotamento e queda foliar. De modo semelhante, Souza *et al.* (2017) destacam que as condições urbanas podem modificar os padrões fenológicos das espécies, tornando necessário considerar os fatores ambientais e antrópicos de forma integrada.

Além da sazonalidade climática, fatores urbanos específicos podem modificar a intensidade e o período de ocorrência das fenofases. Entre esses fatores, destacam-se as ilhas de calor, a impermeabilização do solo, as podas, o sombreamento por edificações e a alteração da disponibilidade hídrica. Essas condições podem gerar diferenças fenológicas entre exemplares de uma mesma espécie, especialmente quando estão submetidos a distintos níveis de manejo e microclima (AMORIM, 2019; SOUZA *et al.*, 2017).

A presença de espécies nativas e exóticas em áreas urbanas também pode resultar em respostas fenológicas diferenciadas. Espécies exóticas frequentemente utilizadas na arborização podem apresentar elevada adaptação às condições urbanas, mas exigem atenção quanto à produção de frutos, dispersão e possíveis impactos sobre a flora local. As espécies nativas, por sua vez, podem favorecer a conservação da biodiversidade regional e a manutenção de interações ecológicas com a fauna local. Na Praça Dr. Camilo Mércio, Teixeira *et al.* (2016) registraram a presença expressiva de espécies ornamentais exóticas, como *Grevillea robusta*, *Ligustrum japonicum* e *Tipuana tipu*, o que reforça a importância de compreender o comportamento fenológico dessas espécies no contexto urbano de São Gabriel/RS.

Dessa forma, a fenologia arbórea em ambientes urbanos deve ser compreendida como resultado da interação entre fatores climáticos, características próprias das espécies, condições individuais dos exemplares e interferências antrópicas. Essa abordagem permite avaliar como as árvores respondem às condições da cidade e contribui para o planejamento, manejo e conservação da arborização urbana (SOUZA *et al.*, 2017; AMORIM, 2019)

1.3 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, FOTOPERÍODO E FENOLOGIA

As variáveis climáticas estão entre os principais fatores associados à ocorrência, intensidade e duração das fenofases vegetativas e reprodutivas das plantas. Temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, radiação solar, vento e fotoperíodo podem atuar como sinais ambientais ou como condições limitantes para processos como emissão de folhas, floração, frutificação, maturação de frutos e senescência. A resposta fenológica, entretanto, varia conforme a espécie, a fenofase analisada, o ambiente de ocorrência e a interação entre os fatores climáticos ao longo do tempo (MORELLATO *et al.*, 2016; BENCKE; MORELLATO, 2002).

A temperatura está relacionada ao metabolismo vegetal e pode influenciar o início, a duração e a intensidade dos eventos fenológicos. Em regiões subtropicais, como o Rio Grande do Sul, a variação térmica entre inverno e verão contribui para a sazonalidade dos ciclos vegetativos e reprodutivos. Estudos realizados no estado indicam que a temperatura do ar está associada a eventos como brotamento, floração e frutificação, especialmente em períodos de transição entre estações, quando ocorre aumento gradual das temperaturas (ATHAYDE *et al.*, 2009; FERRERA, 2012; FERRERA *et al.*, 2017).

A precipitação e a umidade relativa do ar também são importantes para a fenologia, pois influenciam a disponibilidade hídrica no solo e o balanço hídrico das plantas. Em períodos de maior disponibilidade de água, algumas espécies podem apresentar maior brotamento, expansão foliar e crescimento vegetativo. Por outro lado, períodos de menor umidade ou maior estresse hídrico podem contribuir para a redução da atividade vegetativa, queda foliar ou intensificação da senescência, dependendo das características da espécie e das condições ambientais locais (REBELATTO; SOUZA LEAL; PEDROSO DE MORAES, 2013; SANTOS; FISCH, 2013).

O fotoperíodo, entendido como a duração diária do período de luz, é um dos fatores ambientais mais relevantes na regulação dos ciclos fenológicos. Alterações no comprimento do dia podem atuar como sinal para o início da floração, emissão de folhas jovens, desenvolvimento de frutos e senescência. Em regiões com estações bem definidas, a variação do fotoperíodo ao longo do ano pode contribuir para a sincronização dos eventos fenológicos entre indivíduos de uma mesma espécie (MORELLATO *et al.*, 2016; ATHAYDE *et al.*, 2009).

No Rio Grande do Sul, estudos fenológicos indicam que a variação sazonal influencia diretamente o comportamento das espécies arbóreas. Alberti (2002) registrou que o brotamento pode ocorrer ao longo do ano, enquanto a queda foliar tende a se intensificar em determinados períodos, especialmente no outono e no inverno. Athayde *et al.* (2009), ao estudarem espécies arbóreas em floresta ribeirinha em Santa Maria/RS, observaram maior predominância de brotamento, floração e frutificação entre setembro e dezembro, período associado ao aumento da temperatura e do comprimento do dia. Ferrera (2012), ao analisar espécies arbóreas na região central do estado, também destacou a importância da temperatura e do fotoperíodo para a ocorrência das fenofases reprodutivas.

A radiação solar está relacionada à disponibilidade energética para os processos fisiológicos das plantas, especialmente a fotossíntese, podendo influenciar o crescimento vegetativo, a emissão de folhas novas e o desenvolvimento de estruturas reprodutivas. Em estudos fenológicos, a radiação pode estar associada à variação sazonal das fenofases, principalmente quando analisada em conjunto com temperatura, fotoperíodo e disponibilidade hídrica (MORELLATO *et al.*, 2016; ATHAYDE *et al.*,

2009; FERRERA, 2012). Em ambientes urbanos, a disponibilidade de radiação pode variar conforme a posição dos exemplares, a presença de edificações, o sombreamento por outras copas e a orientação espacial da praça, modificando as condições microclimáticas às quais cada árvore está submetida (AMORIM, 2019; SOUZA *et al.*, 2017).

O vento, embora geralmente apresente efeito menos evidente sobre os ciclos fenológicos quando comparado a variáveis como temperatura, precipitação e fotoperíodo, pode atuar de forma indireta sobre as plantas, influenciando as condições microclimáticas ao redor da copa, a perda de água e a dispersão de estruturas reprodutivas. Dessa forma, sua inclusão na análise contribui para uma interpretação mais ampla das condições ambientais associadas às fenofases observadas, especialmente em ambientes urbanos abertos ou sujeitos a maior circulação de ar (MORELLATO *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2017).

1.4 ÍNDICES FENOLÓGICOS: FOURNIER E ATIVIDADE FENOLÓGICA

A avaliação fenológica pode ser realizada por meio de métodos qualitativos e quantitativos, permitindo registrar tanto a presença das fenofases quanto sua intensidade e distribuição temporal. Em estudos com espécies arbóreas, a padronização dos registros é fundamental para comparar indivíduos, espécies, datas de observação e períodos sazonais, especialmente quando o monitoramento ocorre ao longo de ciclos anuais completos (BENCKE; MORELLATO, 2002; MAUÉS; GARCIA; WADT, 2017).

Entre os métodos quantitativos utilizados em estudos fenológicos, destaca-se o Índice de Fournier, proposto por Fournier (1974), que permite estimar a intensidade de cada fenofase em uma escala ordinal. Essa escala geralmente varia de 0 a 4, em que o valor 0 indica ausência da fenofase e o valor 4 representa presença muito abundante. Esse método possibilita avaliar o grau de expressão de eventos como brotamento, floração, frutificação e presença de folhas na copa, permitindo comparações entre exemplares e datas de coleta.

O Índice de Fournier é amplamente utilizado porque transforma observações visuais em valores numéricos, possibilitando análises comparativas e estatísticas dos dados fenológicos. Segundo Bencke e Morellato (2002), esse índice permite avaliar a intensidade das fenofases, sendo útil para identificar períodos de maior expressão vegetativa ou reprodutiva. Em estudos com espécies arbóreas, essa abordagem é especialmente importante porque uma fenofase pode estar presente em determinado exemplar, mas com diferentes graus de intensidade ao longo do tempo.

Além da intensidade, os estudos fenológicos também podem avaliar a atividade fenológica, que corresponde à proporção de indivíduos que apresentam determinada fenofase em uma data de

observação. O Índice de Atividade Fenológica, conforme discutido por Bencke e Morellato (2002), permite verificar o percentual de exemplares que manifestam um evento fenológico, contribuindo para a análise da sincronia entre indivíduos de uma mesma espécie.

A utilização conjunta do Índice de Fournier e do Índice de Atividade Fenológica fornece informações complementares. Uma fenofase pode ocorrer em muitos exemplares com baixa intensidade ou, ao contrário, apresentar alta intensidade em poucos indivíduos. Por isso, a análise apenas da intensidade ou apenas da atividade pode não representar completamente o comportamento fenológico da espécie. A combinação dos dois métodos permite diferenciar os picos de intensidade dos picos de participação dos exemplares, tornando a interpretação dos padrões fenológicos mais consistente (BENCKE; MORELLATO, 2002; MAUÉS; GARCIA; WADT, 2017).

A avaliação da sincronia fenológica também exige cautela, pois a ocorrência simultânea de uma fenofase entre exemplares não depende apenas da presença ou ausência do evento, mas também de sua duração e intensidade. Freitas e Bolmgren (2008) destacam que a sincronia fenológica deve considerar não somente a sobreposição temporal, mas também a intensidade dos eventos ao longo do período de observação. Dessa forma, a combinação entre intensidade e atividade contribui para uma análise mais precisa da sincronia entre os exemplares monitorados.

No presente estudo, o uso combinado do Índice de Fournier e do Índice de Atividade Fenológica permitiu avaliar tanto a intensidade das fenofases quanto a proporção de exemplares que apresentaram cada evento ao longo do monitoramento. Essa abordagem foi aplicada às fenofases botões florais, flores abertas, frutos verdes, frutos maduros, folhas jovens e folhas adultas, possibilitando interpretar os padrões fenológicos das espécies arbóreas da Praça Dr. Camilo Mércio em relação à sazonalidade, às variáveis climáticas e ao fotoperíodo.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Praça Dr. Camilo Mércio, localizada na Rua Francisco de Paula M. Leivas, nº 451, no município de São Gabriel, Rio Grande do Sul. A praça possui área total de 9.703,21 m² e está situada nas coordenadas 30°20'15” S e 54°18'55” W.

Figura 1. Localização da Praça Dr. Camilo Mércio no município de São Gabriel/RS.



Fonte: Google Earth (2026).

O município de São Gabriel situa-se na região fisiográfica denominada Campanha Gaúcha, apresentando altitude média em torno de 112 m (IBGE, 2022). De acordo com a classificação de Köppen, o clima regional enquadra-se como subtropical úmido (*Cfa*), apresentando verões quentes, invernos rigorosos e oscilações sazonais marcantes na temperatura do ar, pluviosidade, radiação solar e fotoperíodo (BURIOL *et al.*, 2019; INMET, 2025). Essas particularidades ambientais propiciam um cenário favorável para a realização de investigações fenológicas, uma vez que a sazonalidade atua diretamente na regulação da floração, frutificação e dinâmica foliar das populações arbóreas.

2.2 SELEÇÃO DOS EXEMPLARES

Foram incluídos no estudo os exemplares arbóreos presentes na Praça Dr. Camilo Mércio que puderam ser identificados e acompanhados visualmente durante o período de monitoramento. A seleção considerou a representatividade das espécies na praça, a presença de espécies nativas e exóticas, e a acessibilidade visual da copa a partir do solo. Cada exemplar recebeu um número de identificação e foi registrado em planilhas de campo, croqui da praça e fotografias.

2.3 COLETA DE DADOS FENOLÓGICOS

As coletas fenológicas foram realizadas quinzenalmente entre 07 de junho de 2023 e 09 de junho de 2025, abrangendo dois ciclos anuais completos. A periodicidade quinzenal foi adotada para possibilitar o acompanhamento de eventos fenológicos de curta duração, como a floração, reduzindo a perda de informações ao longo do período de monitoramento.

Durante cada coleta, os exemplares foram observados visualmente a partir do solo, com apoio de registros fotográficos e anotações em planilhas padronizadas. Foram avaliadas seis fenofases: botões florais, flores abertas, frutos verdes, frutos maduros, folhas jovens e folhas adultas.

Com o intuito de estabelecer um padrão para as amostragens, adotaram-se critérios para a identificação de cada fenofase, conforme detalhado na Tabela 1

Tabela 1. Fenofases avaliadas e critérios de identificação em campo.

Fenofase	**Critério de identificação em campo**
Botões florais	Presença de estruturas florais fechadas
Flores abertas	Flores abertas ou em antese
Frutos verdes	Frutos em desenvolvimento, ainda não maduros
Frutos maduros	Frutos desenvolvidos, secos, coloridos ou em dispersão
Folhas jovens	Folhas novas, em expansão ou com coloração mais clara
Folhas adultas	Folhas maduras e plenamente expandidas na copa

Fonte: autora (2026)

2.4 MENSURAÇÃO DA INTENSIDADE FENOLÓGICA

A intensidade das fenofases foi mensurada por meio do Índice de Fournier, (tabela 2) proposto por Fournier (1974), que classifica a presença dos eventos fenológicos em escala ordinal de 0 a 4. Nessa escala, o valor 0 corresponde à ausência da fenofase, enquanto o valor 4 corresponde à presença muito abundante, representando de 76% a 100% da copa ou das estruturas observadas (BENCKE; MORELLATO, 2002).

Esse índice permite a análise quantitativa e comparativa das fenofases entre exemplares, espécies e datas de coleta. Para as fenofases vegetativas, especialmente folhas jovens e folhas adultas, a intensidade foi estimada visualmente com base na proporção da copa ocupada pela respectiva fenofase. A variável “folhas adultas” foi utilizada para representar a densidade visual de folhas maduras presentes na copa ao longo do período de monitoramento, não sendo empregada exclusivamente como indicativo de amarelecimento, necrose ou queda foliar.

Tabela 2. Escala utilizada para mensuração da intensidade fenológica pelo Índice de Fournier.

Valor	Descrição
0	Ausência da fenofase
1	Presença discreta (1–25%)
2	Presença moderada (26–50%)
3	Presença abundante (51–75%)
4	Presença muito abundante (76–100%)

Fonte: adaptado de Fournier (1974) e Bencke e Morellato (2002).

2.5 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E FOTOPERÍODO

As variáveis climáticas foram obtidas por meio da plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), utilizando dados da estação meteorológica automática de São Gabriel. Os dados foram organizados em séries correspondentes às datas de observação em campo e incluiram temperatura média do ar, precipitação total, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Variáveis climáticas utilizadas na análise fenológica.

Variável	Unidade/Formato	Uso na análise
Temperatura média do ar	°C	Relação com fenofases
Precipitação total	mm	Relação com fenofases
Umidade relativa do ar	%	Relação com fenofases
Velocidade do vento	km/h	Relação com fenofases
Radiação solar	kJ/m²	Relação com fenofases
Fotoperíodo	horas:minutos	Relação com fenofases

Fonte: autora (2026)

A radiação solar foi incluída como variável indicadora da disponibilidade energética para os processos fisiológicos das plantas, podendo influenciar a atividade fotossintética e o desenvolvimento das fenofases. O fotoperíodo foi calculado com base nos horários de nascer e pôr do sol obtidos para a latitude da área de estudo, a partir de dados disponibilizados pela plataforma *Time and Date*. Para fins de análise e correlação com as observações fenológicas, os valores diários foram agrupados,

utilizando-se a média do fotoperíodo correspondente a cada intervalo amostral. Os resultados foram expressos em horas e minutos, refletindo a duração média do comprimento do dia aplicável ao período avaliado.

Quando havia ausência de dados climáticos em alguma data específica, a informação foi registrada como não informada ou ajustada conforme disponibilidade da série climática utilizada, evitando a criação de valores sem base documental.

2.6 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas contendo as seguintes informações: data da coleta, espécie, nome comum, nome científico, identificação do exemplar, posição na praça, valores das fenofases segundo o Índice de Fournier, variáveis climáticas e fotoperíodo.

Para a análise estatística, os dados foram organizados em formato longo, no qual cada linha correspondeu a uma observação fenológica realizada em determinado exemplar e data de coleta. Esse formato permitiu analisar tanto a ocorrência quanto a intensidade das fenofases ao longo do período monitorado.

A ocorrência foi obtida por meio da transformação dos valores do Índice de Fournier em dados binários, considerando ausência quando o valor foi igual a 0 e presença quando o valor foi superior a 0. A intensidade foi analisada com base nos próprios valores do Índice de Fournier, variando de 0 a 4.

2.7 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi realizada no software R (R CORE TEAM, 2024). Inicialmente, foram calculados o Índice de Fournier médio e o Índice de Atividade Fenológica. O Índice de Fournier médio foi utilizado para representar a intensidade média de cada fenofase por espécie e data de coleta. O Índice de Atividade Fenológica foi calculado pela proporção de exemplares que apresentaram determinada fenofase em cada período de observação, permitindo avaliar o grau de participação dos indivíduos e a sincronia fenológica entre exemplares da mesma espécie.

A utilização conjunta do Índice de Fournier e do Índice de Atividade Fenológica permitiu uma interpretação mais completa dos padrões fenológicos, uma vez que o primeiro expressa a intensidade das fenofases, enquanto o segundo indica a proporção de exemplares que manifestaram determinado evento, contribuindo para a avaliação da sincronia entre os indivíduos (BENCKE; MORELLATO, 2002; MAUÉS; GARCIA; WADT, 2017).

A relação entre as fenofases e as variáveis climáticas foi avaliada por meio da correlação de Spearman, considerando temperatura média, precipitação, umidade relativa, vento, radiação solar e

fotoperíodo. Essa análise foi utilizada por não pressupor distribuição normal dos dados e por ser adequada para avaliar associações monotônicas entre variáveis ambientais e valores fenológicos observados.

De forma complementar, foram ajustados modelos estatísticos mistos para avaliar a influência das variáveis ambientais sobre a ocorrência e a intensidade das fenofases. A ocorrência das fenofases foi analisada por meio de Modelos Lineares Generalizados Mistos, com distribuição binomial e função de ligação *logit*, utilizando a variável presença/ausência como resposta (BATES *et al.*, 2015). A intensidade fenológica, expressa pelo Índice de Fournier, foi analisada por meio de modelos lineares mistos, considerando os valores de intensidade como variável resposta.

Em ambos os casos, foram consideradas como variáveis explicativas a temperatura média, precipitação, umidade relativa, vento, radiação solar e fotoperíodo. Também foram incluídos efeitos aleatórios para espécie e exemplar, a fim de considerar a estrutura repetida das observações ao longo do período de monitoramento. As variáveis climáticas foram padronizadas antes do ajuste dos modelos, permitindo a comparação dos efeitos estimados entre variáveis com diferentes escalas de medida.

A sincronia fenológica foi avaliada a partir do Índice de Atividade Fenológica, considerando o percentual de exemplares da mesma espécie que apresentaram determinada fenofase simultaneamente em cada data de observação. Para essa análise, foram consideradas como altamente sincronizadas as fenofases que atingiram atividade igual ou superior a 60% dos exemplares da espécie.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados considerando os padrões fenológicos observados nos exemplares arbóreos monitorados na Praça Dr. Camilo Mércio, em São Gabriel/RS, durante o período de junho de 2023 a junho de 2025. Inicialmente, são discutidos os padrões gerais das fenofases nas espécies selecionadas para análise detalhada. Em seguida, são apresentados os padrões fenológicos por espécie e a relação entre as fenofases e as variáveis ambientais e o fotoperíodo.

Ao todo, foram monitorados 91 exemplares arbóreos, distribuídos em 26 espécies identificadas conforme a Tabela 4. Cada exemplar recebeu um número de identificação individual, registrado em planilhas de campo, croqui da praça e registros fotográficos. A seleção considerou a representatividade das espécies na praça, a acessibilidade visual da copa a partir do solo e a possibilidade de acompanhamento ao longo do tempo.

Tabela 4. Espécies arbóreas amostradas na Praça Dr. Camilo Mércio, São Gabriel/RS, com família botânica, nome científico, nome comum, frequência absoluta dos exemplares monitorados (FA) e origem.

Família	Nome Científico	Nome Comum	FA	Origem
Arecaceae	*Butia capitata (Mart.)* Becc.	Butiazeiro	2	N
	Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman	Jerivá	1	N
	Livistona chinensis (Jacq.) R. Br. ex Mart	Palmeira-de-leque	3	E
	Washingtonia robusta H. Wendl.	Palmeira de saia	2	E
	Phoenix canariensis Chabaud	Tamareira	3	E
Asparagaceae	*Yucca guatemalensis Baker*	Yucca	7	E
Bignoniaceae	*Jacaranda mimosifolia* D. Don	Jacarandá-mimoso	3	E
Fabaceae	*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.	Canafístula	3	N
	Caesalpinia pluviosa var. *peltophoroides* (Benth.) G. P. Lewis	Sibipiruna	1	N
	Pterogyne nitens Tul.	Amendoim-bravo	4	N
	Tipuana tipu (Benth.) Kuntze	Tipuana	12	E
	Erythrina crista-galli L.	Corticeira-do-banhado	1	N
	Parapiptadenia rigida (Bentham) Brenan	Angico-vermelho	2	N
Lauraceae	*Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl.	Canforeira	1	E
Malvaceae	*Luehea divaricata* Mart.	Açoita-cavalo	1	N
	Brachychiton populneus (Schott & Endl.) R. Br.	Branquiquito	6	E
	Hibiscus rosa-sinensis L.	Hibisco	1	E
Meliaceae	*Melia azedarach* L.	Cinamomo	3	E
	Cedrela fissilis Vell.	Cedro	2	N
Moraceae	*Morus nigra* L.	Amoreira-preta	1	E
Myrtaceae	*Callistemon viminalis* (Sol. ex Gaertn.) G. Don.	Escova de garrafa	2	E
	Eugenia uniflora L.	Pitangueira	1	N
Oleaceae	*Ligustrum japonicum* Thunb.	Ligustro	11	E
Proteaceae	*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br	Grevillea	16	E
Rhamnaceae	*Hovenia dulcis* Thunb.	Uva-do-japão	1	E

Theaceae	*Camellia japonica* L.	Camélia	1	E
			Total 91	

Fonte: autora (2026).

A composição arbórea da praça, conforme a Tabela 5, apresentou predominância de espécies exóticas, com destaque para *Grevillea robusta*, *Tipuana tipu* e *Ligustrum japonicum*, que estiveram entre as espécies com maior número de exemplares monitorados. Esse padrão reforça o histórico de uso ornamental de espécies exóticas na área, já registrado em levantamento fitossociológico realizado anteriormente na Praça Dr. Camilo Mércio por Teixeira *et al.* (2016). No presente estudo, essa composição permitiu comparar espécies nativas e exóticas quanto à intensidade, atividade e sincronia fenológica, bem como quanto às possíveis respostas às condições ambientais e urbanas locais.

Embora todos os 91 exemplares tenham sido considerados no levantamento geral, a análise fenológica detalhada foi concentrada em dez espécies (Tabela 5). Essa escolha foi realizada com base na maior representatividade amostral, na recorrência de observações fenológicas ao longo do período monitorado e na importância dessas espécies para interpretação dos padrões vegetativos e reprodutivos no ambiente urbano estudado.

Tabela 5. Espécies selecionadas para análise fenológica detalhada.

Nome científico	Nome comum	Nº de exemplares	Origem	Justificativa para análise detalhada
Grevillea robusta	Grevillea	16	Exótica	Maior representatividade amostral
Tipuana tipu	Tipuana	12	Exótica	Alta frequência e eventos reprodutivos marcados
Ligustrum japonicum	Ligustro	11	Exótica	Alta frequência e frutificação expressiva
Yucca guatemalensis	Yucca	7	Exótica	Presença representativa e floração pontual
Brachychiton populneus	Branquiquito	6	Exótica	Representatividade e padrão vegetativo constante
Pterogyne nitens	Amendoim-bravo	4	Nativa	Representatividade entre nativas
Jacaranda mimosifolia	Jacarandá-mimoso	3	Exótica	Floração ornamental evidente
Phoenix canariensis	Tamareira	3	Exótica	Padrão fenológico distinto
Peltophorum dubium	Canafístula	3	Nativa	Espécie nativa com ciclo reprodutivo marcado
Melia azedarach	Cinamomo	3	Exótica	Frutificação e variação foliar observáveis
		Total 68		

Fonte: autora (2026)

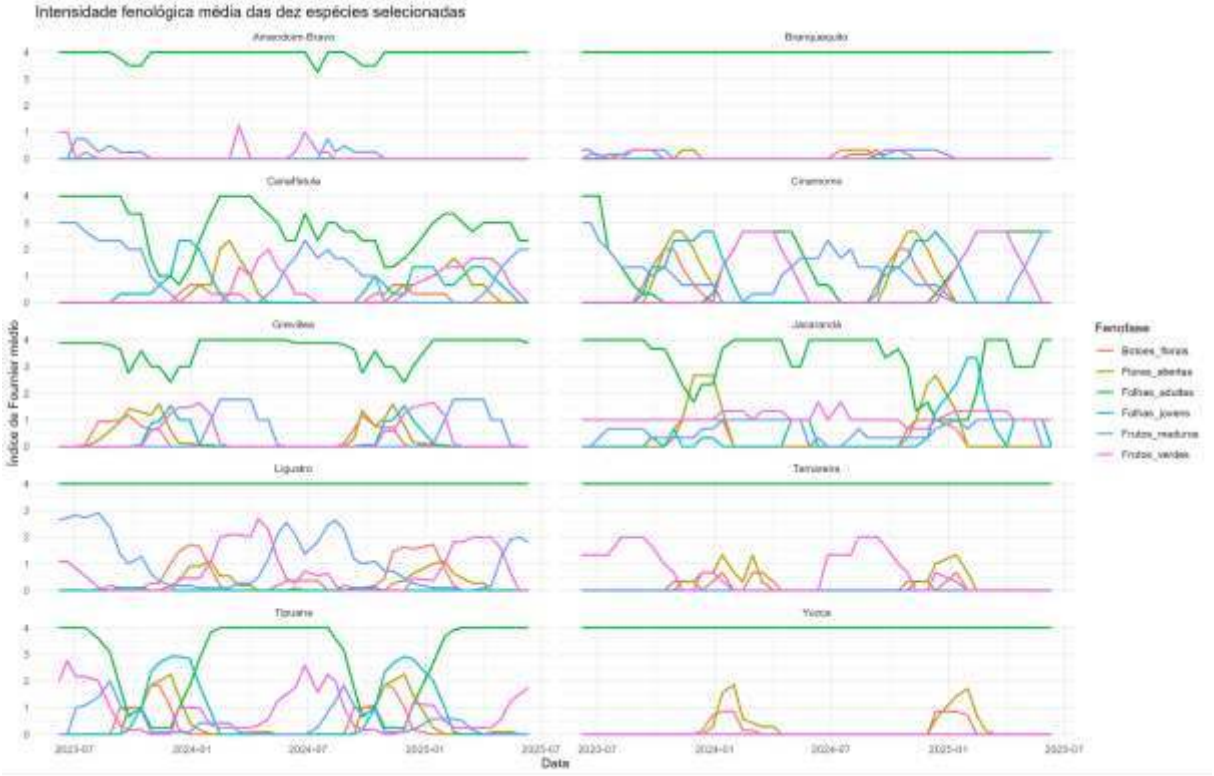
4.1 PADRÃO GERAL DAS FENOFASES NAS ESPÉCIES SELECIONADAS

A interpretação dos padrões fenológicos por espécie foi realizada a partir da análise conjunta da intensidade e da atividade fenológica. A intensidade foi avaliada pelo Índice de Fournier, que permite estimar o grau de expressão de cada fenofase em escala de 0 a 4 (FOURNIER, 1974; BENCKE; MORELLATO, 2002). Já a atividade fenológica foi utilizada para verificar a proporção de exemplares que apresentaram cada fenofase em determinada data, contribuindo para a avaliação da sincronia entre os indivíduos monitorados. A utilização conjunta desses índices é recomendada porque uma fenofase pode apresentar baixa intensidade, mas ocorrer em muitos exemplares, ou, ao contrário, apresentar alta intensidade em poucos indivíduos (BENCKE; MORELLATO, 2002; MAUÉS; GARCIA; WADT, 2017).

A Figura 2 apresenta a variação temporal da intensidade fenológica média das dez espécies selecionadas para análise detalhada. A intensidade foi expressa pelo Índice de Fournier médio, calculado a partir dos valores atribuídos às fenofases observadas em campo, em escala de 0 a 4. Essa

representação permite visualizar, de forma comparativa, os períodos de maior ocorrência e intensidade das fenofases vegetativas e reprodutivas ao longo dos dois ciclos anuais monitorados.

Figura 2. Intensidade fenológica média das dez espécies selecionadas na Praça Dr. Camilo Mércio, São Gabriel/RS, expressa pelo Índice de Fournier, entre junho de 2023 e junho de 2025.



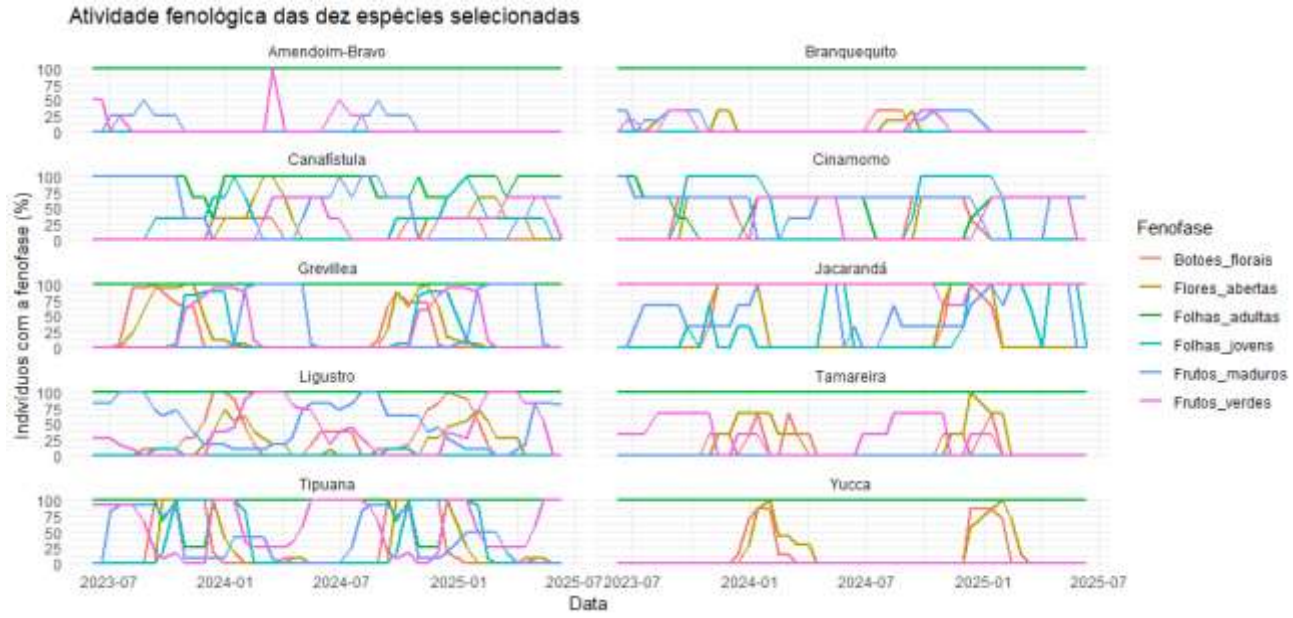
Fonte: autora (2026).

De modo geral, observou-se variação temporal entre as espécies quanto à intensidade das fenofases vegetativas e reprodutivas. As folhas adultas apresentaram valores elevados na maior parte do período para diversas espécies, indicando manutenção da cobertura foliar ao longo do monitoramento. Em contrapartida, as fenofases reprodutivas, como botões florais, flores abertas, frutos verdes e frutos maduros, ocorreram de forma mais sazonal, com maior concentração em determinados períodos do ano.

Espécies como Grevillea, Tipuana, Jacarandá, Canafístula, Ligustro e Cinamomo apresentaram maior alternância entre fenofases vegetativas e reprodutivas, evidenciando ciclos fenológicos mais marcados. Já Branquiquito, Yucca e Tamareira apresentaram padrões mais pontuais de floração e frutificação, com predominância de folhas adultas durante grande parte do período avaliado. Esses resultados indicam diferenças no comportamento fenológico entre as espécies selecionadas, possivelmente relacionadas às características próprias de cada espécie, à sazonalidade climática e às condições urbanas da área de estudo.

Além da intensidade fenológica média, foi calculado o Índice de Atividade Fenológica, expresso pelo percentual de exemplares que apresentaram cada fenofase em cada data de observação (Figura 3). Essa abordagem permite avaliar não apenas a intensidade dos eventos fenológicos, mas também o grau de participação dos exemplares de cada espécie, contribuindo para a interpretação da sincronia fenológica ao longo do período monitorado.

Figura 3. Atividade fenológica das dez espécies selecionadas na Praça Dr. Camilo Mércio, São Gabriel/RS, expressa pelo percentual de espécies com presença de cada fenofase, entre junho de 2023 e junho de 2025.



Fonte: autora (2026).

A atividade fenológica evidenciou diferenças no grau de participação dos exemplares entre as espécies e fenofases avaliadas. Em algumas espécies, como *Grevillea*, *Tipuana*, *Jacarandá*, *Canafístula*, *Ligustro* e *Cinamomo*, foram observados períodos em que determinadas fenofases atingiram elevados percentuais de atividade, indicando maior sincronia entre os exemplares. Em contrapartida, espécies como *Branquiquito*, *Yucca* e *Tamareira* apresentaram eventos reprodutivos mais pontuais, com períodos específicos de floração ou frutificação.

A presença constante de folhas adultas em várias espécies indica manutenção da cobertura foliar durante grande parte do monitoramento, enquanto folhas jovens, botões florais, flores abertas e frutos apresentaram variação mais sazonal. Dessa forma, a análise da atividade fenológica complementa o Índice de Fournier médio, pois permite distinguir situações em que uma fenofase ocorre em poucos exemplares com maior intensidade daquelas em que ocorre em maior número de exemplares, mesmo que com intensidade variável.

Essa distinção entre intensidade e atividade é importante porque uma fenofase pode ocorrer em muitos exemplares com baixa intensidade ou, ao contrário, apresentar alta intensidade em poucos indivíduos. Conforme Bencke e Morellato (2002), o Índice de Fournier e o Índice de Atividade fornecem informações complementares, sendo necessário diferenciar os picos de participação dos exemplares dos picos de intensidade das fenofases.

4.2 RELAÇÃO ENTRE FENOFASES E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

A relação entre as fenofases e as variáveis climáticas foi avaliada por meio da correlação de Spearman, considerando temperatura média, precipitação, umidade relativa do ar, vento, radiação solar e fotoperíodo. Os resultados, apresentados na Tabela 6, indicaram correlações de magnitude muito fraca, fraca e moderada. As associações mais consistentes foram observadas entre o fotoperíodo e as fenofases folhas jovens e flores abertas, enquanto as demais variáveis apresentaram, em geral, correlações fracas ou muito fracas com as fenofases avaliadas.

Tabela 6. Correlações de Spearman entre fenofases e variáveis climáticas.

Fenofase	Temperatura média	Precipitação	Umidade	Vento	Radiação	Fotoperíodo
Botões florais	0,141	0,004	-0,055	0,024	0,119	0,299
Flores abertas	0,253	-0,004	-0,125	0,013	0,207	0,405
Folhas adultas	-0,147	-0,021	0,059	-0,02	-0,134	-0,304
Folhas jovens	0,267	0,028	-0,168	-0,002	0,255	0,414
Frutos maduros	-0,091	-0,087	-0,013	-0,015	-0,044	-0,114
Frutos verdes	0,107	-0,032	-0,091	0,006	0,092	0,075

ρ = coeficiente de correlação de Spearman.
Fonte: autora, 2026.

As folhas jovens apresentaram correlação positiva moderada com o fotoperíodo (ρ = 0,414), e correlação positiva fraca com a radiação solar (ρ = 0,255) e com temperatura média (ρ = 0,267). Esses resultados indicam que a emissão de folhas jovens esteve mais fortemente associada ao aumento do comprimento do dia e, em menor grau, à maior disponibilidade de energia luminosa e elevação das temperaturas. Esse padrão foi observado nos exemplares de espécies como *Tipuana*, *Grevillea* e *Cinamomo*, especialmente durante a primavera e o início do verão.

Esse resultado se aproxima do observado por Ferrera *et al.* (2017), que, ao avaliarem espécies arbóreas nativas na região central do Rio Grande do Sul, verificaram que o brotamento apresentou relação com o aumento da temperatura do ar e do comprimento do dia. De forma semelhante, Athayde *et al.* (2009) observaram, em floresta ribeirinha em Santa Maria/RS, maior predominância de brotamento, floração e frutificação entre setembro e dezembro, período associado à elevação da temperatura e do fotoperíodo. Morellato *et al.* (2016) também destacam que os eventos fenológicos vegetativos e reprodutivos são sensíveis às variações ambientais e sazonais. Dessa forma, os resultados do presente estudo reforçam que a emissão de folhas jovens nos exemplares monitorados esteve associada à sazonalidade climática no sul do Brasil. Dessa forma, os resultados do presente estudo reforçam que a emissão de folhas jovens nos indivíduos monitorados responde de maneira importante à sazonalidade climática no sul do Brasil.

As flores abertas também exibiram uma correlação positiva moderada com o fotoperíodo (ρ = 0,405), enquanto as associações com a temperatura média(ρ = 0,253) e com a radiação (ρ = 0,207) foram classificadas como positivas fracas. Esse comportamento indica que as fenofases ligadas à floração responderam de forma mais evidente à sazonalidade luminosa do fotoperíodo do que às demais variáveis climáticas ou hídricas. Os botões florais seguiram tendência semelhante, mantendo uma correlação positiva fraca, porém expressiva, com o fotoperíodo (ρ = 0,299), enquanto manifestaram associações estatisticamente desprezíveis (inferiores a 0,20) com as demais variáveis.

No presente estudo, exemplares de Jacarandá, Grevillea, Tipuana e Cinamomo apresentaram maior expressão floral nos meses de primavera e início do verão, período caracterizado pelo aumento do fotoperíodo, da radiação solar e da temperatura média. Esse padrão é coerente com estudos fenológicos realizados no Rio Grande do Sul, nos quais a floração de espécies arbóreas esteve frequentemente associada às variações sazonais de temperatura e comprimento do dia (ATHAYDE *et al.*, 2009; FERRERA, 2012; FERRERA *et al.*, 2017). Em ambiente urbano, Zamproni *et al.* (2013), ao avaliarem *Tipuana tipu* na arborização de Curitiba/PR, também observaram relação entre variáveis meteorológicas e o comportamento fenológico da espécie, reforçando a importância de considerar a sazonalidade climática na interpretação das fenofases reprodutivas.

A relação entre floração, temperatura e fotoperíodo deve ser interpretada com cautela, pois os eventos florais podem não responder apenas às condições climáticas registradas na data exata da observação. Athayde *et al.* (2009) consideraram a possibilidade de respostas com defasagem temporal em relação às mudanças ambientais, indicando que determinadas fenofases podem refletir estímulos acumulados em períodos anteriores. Assim, a associação entre flores abertas, botões florais e

fotoperíodo deve ser compreendida como parte de uma resposta sazonal mais ampla, e não como efeito isolado das condições climáticas do dia da coleta.

Por outro lado, as folhas adultas apresentaram correlação negativa fraca com o fotoperíodo (ρ = -0,304) e correlações negativas muito fracas ou desprezíveis com a temperatura média (ρ = -0,147) e com a radiação (ρ = -0,134). Esse resultado está relacionado à permanência dessa fenofase durante grande parte do monitoramento, especialmente em espécies com maior persistência foliar, como Grevillea, Ligustro, Yucca, Tamareira e Branquiquito. A manutenção de folhas maduras ao longo do ano também foi observada em estudos fenológicos realizados no Rio Grande do Sul, nos quais espécies arbóreas apresentaram permanência foliar variável, associada às características de cada espécie e às condições sazonais (ALBERTI, 2002; FERRERA *et al.*, 2017).

A correlação negativa entre folhas adultas e fotoperíodo pode estar relacionada à renovação parcial da copa em períodos de maior emissão de folhas jovens. Assim, enquanto folhas jovens e flores abertas aumentaram nos períodos de maior fotoperíodo, a proporção visual de folhas adultas tendeu a diminuir em alguns exemplares, embora essa fenofase tenha permanecido como uma das mais constantes ao longo do monitoramento. Esse comportamento reforça a importância de analisar conjuntamente folhas jovens e folhas adultas, pois ambas representam momentos distintos da dinâmica vegetativa das copas.

As fenofases relacionadas à frutificação apresentaram correlações muito fracas ou desprezíveis com todas as variáveis climáticas avaliadas (valores inferiores a 0,20). Os frutos verdes apresentaram associações positivas de baixa magnitude com a temperatura média (ρ = 0,107), radiação (ρ = 0,092) e fotoperíodo (ρ = 0,075), enquanto os frutos maduros apresentaram correlações negativas muito baixas. Esses resultados indicam que a frutificação não foi explicada isoladamente pelas condições climáticas registradas na data da amostragem, podendo depender de processos biológicos acumulados ao longo do ciclo fenológico, como floração, polinização, desenvolvimento e maturação dos frutos.

A frutificação ocorre, em geral, como consequência de eventos anteriores, especialmente a floração e a polinização. Por isso, sua resposta pode apresentar defasagem temporal em relação às variáveis climáticas imediatas. Além disso, em alguns exemplares avaliados, como os de Tipuana, Canafístula e Cinamomo, os frutos permaneceram na copa por períodos prolongados, o que contribuiu para registros em meses posteriores ao período de maior floração. Athayde *et al.* (2009) observaram que a frutificação pode apresentar diferentes padrões conforme a espécie, o período do ano e o tipo de dispersão, demonstrando que essa fenofase nem sempre apresenta resposta direta às variáveis climáticas imediatas.

Os mesmos autores analisaram que esta frutificação pode também apresentar diferentes padrões conforme o tipo de dispersão e a permanência dos frutos na copa, ocorrendo tanto em períodos de maior quanto de menor temperatura e fotoperíodo. No monitoramento da praça, a retenção de frutos maduros por períodos prolongados reduziu a força das correlações diretas com o clima imediato.

A precipitação e o vento apresentaram correlações próximas de zero com a maioria das fenofases, indicando associações de baixa magnitude no conjunto geral de dados. No entanto, esses resultados devem ser interpretados com cautela. No Rio Grande do Sul, o regime de precipitação tende a ser relativamente bem distribuído ao longo do ano, ainda que sujeito a variações espaciais e temporais, o que pode reduzir a evidência de uma relação direta entre chuva e fenofases quando comparado a regiões com estações seca e chuvosa mais bem definidas (BRITTO; BARLETTA; MENDONÇA, 2008; BURIOL *et al.*, 2019; ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2024).

Esse resultado é semelhante ao observado por Ferrera *et al.* (2017), que verificaram associação das fenofases com o comprimento do dia e a temperatura do ar, mas não observaram relação expressiva com a precipitação pluviométrica. Athayde *et al.* (2009) também indicaram que as variações fenológicas do componente arbóreo em Santa Maria/RS estiveram mais associadas à temperatura e ao fotoperíodo do que à precipitação atmosférica. Dessa forma, os resultados obtidos na Praça Dr. Camilo Mércio concordam com a literatura regional ao indicar menor associação direta da precipitação com as fenofases avaliadas.

No caso da umidade relativa do ar, as correlações foram negativas e muito fracas para botões florais, flores abertas, folhas jovens e frutos verdes. Esse comportamento se justifica pelo fato de que os períodos de maior temperatura e radiação solar, fortemente associados ao aumento de folhas jovens e flores abertas, coincidem sazonalmente com os períodos que apresentam menor umidade relativa média do ar. No entanto, como os índices foram inferiores a 0,20, evita-se atribuir à umidade um efeito isolado sobre o ciclo fenológico.

A radiação solar apresentou correlações positivas fracas com folhas jovens ($\rho = 0,255$) e flores abertas ($\rho = 0,207$), acompanhando o mesmo padrão observado para o fotoperíodo e a temperatura média. Esse resultado indica que a maior disponibilidade de energia luminosa pode estar associada à expressão de fenofases relacionadas ao crescimento vegetativo e à reprodução. Ainda assim, os valores de correlação foram inferiores aos observados para o fotoperíodo, demonstrando que o comprimento do dia apresentou maior associação com as fenofases sazonais no conjunto de dados analisados. Essa interpretação está de acordo com Morellato *et al.* (2016), que destacam a importância da sazonalidade ambiental na regulação dos eventos fenológicos, e com estudos regionais que associam brotamento e

floração ao aumento do comprimento do dia e da temperatura (ATHAYDE *et al.*, 2009; FERRERA *et al.*, 2017).

Em síntese, os resultados indicaram que o fotoperíodo foi a variável climática com maior associação às fenofases de expressão sazonal, especialmente folhas jovens e flores abertas. As demais variáveis apresentaram correlações predominantemente fracas ou muito fracas, indicando que a relação entre clima e fenologia deve ser compreendida como parte de um conjunto complexo de fatores ambientais e urbanos. Em ambientes urbanos, características locais como manejo, compactação do solo, sombreamento, microclima e condições individuais dos exemplares também podem contribuir para a variação fenológica observada (REBELATTO; SOUZA LEAL; PEDROSO DE MORAES, 2013; SANTOS; FISCH, 2013; SOUZA *et al.*, 2017; AMORIM, 2019). Dessa forma, as correlações apresentadas devem ser interpretadas como indicativos de associação estatística, e não como relações causais diretas.

4.3 SINCRONIA FENOLÓGICA

A sincronia fenológica entre os exemplares das espécies selecionadas foi avaliada com base no Índice de Atividade Fenológica, considerando o percentual de indivíduos que manifestaram determinada fenofase em cada data de observação. Para esta análise, foram classificadas como altamente sincronizadas as fenofases que atingiram atividade igual ou superior a 60% dos exemplares de uma mesma espécie.

Esse critério permitiu identificar quais táxons exibiram maior referência temporal na manifestação das fenofases vegetativas e reprodutivas na praça. A utilização da atividade fenológica como indicativo de sincronia é respaldada por Bencke e Morellato (2002), que definem o Índice de Atividade como a proporção de indivíduos que manifestam determinado evento em uma população ou amostragem. Esse método possibilita identificar o grau de participação dos exemplares em cada evento fenológico e fornece uma medida útil da sincronia entre os indivíduos monitorados. No entanto, os autores ressaltam que o Índice de Atividade não estima o volume ou a intensidade da fenofase, sendo fundamental interpretá-lo em conjunto com o Índice de Fournier.

A Tabela 7 apresenta a síntese da sincronia fenológica para os exemplares das dez espécies selecionadas, detalhando as fases que atingiram alta sincronia, os picos de atividade, as fenofases dominantes em sincronismo e a respectiva classificação geral de cada grupo amostral.

Tabela 7. Sincronia fenológica das espécies selecionadas.

Espécie	Fenofases com alta sincronia	Maior atividade observada (%)	Fenofase de maior sincronia	Nº de fenofases com alta sincronia	Classificação geral
Amendoim-bravo	Folhas adultas; frutos verdes	100	Folhas adultas	2	Alta sincronia pontual
Branquiquito	Folhas adultas	100	Folhas adultas	1	Alta sincronia pontual
Canafístula	Flores abertas; folhas adultas; folhas jovens; frutos maduros; frutos verdes	100	Flores abertas	5	Alta sincronia em várias fenofases
Cinamomo	Botões florais; flores abertas; folhas adultas; folhas jovens; frutos maduros; frutos verdes	100	Folhas adultas	6	Alta sincronia em várias fenofases
Grevillea	Botões florais; flores abertas; folhas adultas; folhas jovens; frutos maduros; frutos verdes	100	Botões florais	6	Alta sincronia em várias fenofases
Jacarandá	Botões florais; flores abertas; folhas adultas; folhas jovens; frutos maduros; frutos verdes	100	Botões florais	6	Alta sincronia em várias fenofases
Ligustro	Botões florais; flores abertas; folhas adultas; frutos maduros; frutos verdes	100	Botões florais	5	Alta sincronia em várias fenofases
Tamareira	Botões florais; flores abertas; folhas adultas;	100	Flores abertas	4	Alta sincronia em várias fenofases

	frutos verdes				
Tipuana	Botões florais; flores abertas; folhas adultas; folhas jovens; frutos maduros; frutos verdes	100	Botões florais	6	Alta sincronia em várias fenofases
Yucca	Botões florais; flores abertas; folhas adultas	100	Flores abertas	3	Alta sincronia pontual

Fonte: autora (2026).

Conforme apresentado na Tabela 10, a maior parte das espécies demonstrou picos de atividade de 100%, indicando que em algum momento do monitoramento todos os indivíduos do grupo manifestaram a mesma fase simultaneamente. Os exemplares de Cinamomo, Grevillea, Jacarandá e Tipuana manifestaram alta sincronia na totalidade das seis fenofases avaliadas. Esse sincronismo integral indica uma resposta altamente coordenada do conjunto de indivíduos face às variações sazonais do ambiente urbano.

A elevada sincronia observada entre esses indivíduos está diretamente associada à influência de gatilhos ambientais sazonais bem definidos no sul do Brasil, como o aumento do fotoperíodo e a elevação da temperatura na transição de estações. Ferrera *et al.* (2017), ao estudarem espécimes arbóreos na região central do Rio Grande do Sul, verificaram que as fenofases vegetativas e reprodutivas apresentaram relação significativa com o comprimento do dia e a temperatura do ar. No presente estudo, o fato de os botões florais terem se destacado como a fenofase de maior sincronia para Grevillea, Jacarandá e Tipuana reforça que o aumento da disponibilidade energética na primavera atua de forma homogênea no desencadeamento das estruturas reprodutivas iniciais desses exemplares.

A Canafístula e o Ligustro também exibiram alta sincronia em um número expressivo de fases (5 fenofases cada). Nos exemplares de Canafístula, o processo reprodutivo consolidou-se com destaque para as flores abertas como fenofase de maior sincronia. Já no Ligustro, os botões florais lideraram o comportamento síncrono. Ambas as espécies confirmam que os eventos de floração e frutificação ocorreram de forma altamente coordenada em grande parte do período avaliado, independentemente do fato de o Ligustro manter uma forte estabilidade vegetativa de folhas adultas ao longo do ano.

Esses resultados demonstram que a sincronia não ficou restrita a períodos vegetativos estáveis, manifestando-se de forma vigorosa em eventos reprodutivos dinâmicos. A concomitância visual de flores e frutos na maioria dos indivíduos sugere respostas análogas aos estímulos climáticos da Praça

Dr. Camilo Mércio. Esse padrão é ecologicamente relevante, pois a sincronia reprodutiva em ambientes urbanos amplia a oferta simultânea de recursos tróficos (pólen, néctar e polpa), otimizando a atração e a manutenção de polinizadores e dispersores da fauna local.

A Tamareira e a Yucca também integraram o grupo com sincronicidade reprodutiva marcante, registrando as flores abertas como a fenofase de maior sincronia. A Tamareira obteve alta sincronia em 4 eventos (falhando em atingir o limite de 60% apenas em folhas jovens e frutos maduros), enquanto a Yucca alcançou o patamar em 3 fenofases (botões florais, flores abertas e folhas adultas). Nestes dois táxons, a coincidência temporal reforça o comportamento de florações concentradas e conspícuas entre os exemplares monitorados.

Por outro lado, o Amendoim-bravo e o Branquiquito manifestaram um comportamento classificado como alta sincronia pontual. No Amendoim-bravo, as fenofases que superaram o limite de 60% limitaram-se a folhas adultas e frutos verdes (2 fases), ao passo que no Branquiquito apenas as folhas adultas atenderam ao critério estabelecido (1 fase). Esses resultados indicam que, para essas espécies no espaço urbano avaliado, a sincronia entre os indivíduos foi restrita, concentrando-se fundamentalmente na manutenção da copa foliar e, no caso do Amendoim-bravo, em um ciclo restrito de frutificação.

A menor sincronia reprodutiva observada nos exemplares de Branquiquito e Amendoim-bravo pode decorrer de características intrínsecas das espécies, baixa intensidade absoluta dos eventos florais no ano, variação genética individual ou, ainda, da dificuldade operacional de visualização de estruturas miúdas e discretas nas copas altas. Este aspecto metodológico é de suma relevância: uma fenofase pode estar ativa de forma assíncrona ou em baixa escala em poucos exemplares, mas ainda assim representar uma etapa vital do ciclo biológico individual. Bencke e Morellato (2002) destacam que a proporção de indivíduos em uma fenofase (atividade) nem sempre se correlaciona diretamente com o volume real de flores ou frutos produzidos (intensidade), reforçando a necessidade acadêmica de cruzar ambas as métricas na interpretação fenológica.

De modo geral, os resultados evidenciaram que a sincronia fenológica variou de forma nítida entre os exemplares das diferentes espécies da Praça Dr. Camilo Mércio. Enquanto grupos como Grevillea, Tipuana, Cinamomo, Jacarandá, Canafístula e Ligustro exibiram uma coordenação temporal ampla e multifacetada, o Branquiquito e o Amendoim-bravo demonstraram uma dinâmica mais individualizada e restrita. Essas assimetrias confirmam que a fenologia no ecossistema urbano é moldada por uma complexa interação entre os ritmos biológicos específicos de cada espécie e a capacidade individual de resposta aos fatores ambientais e antrópicos do local.

4.4 MODELOS ESTATÍSTICOS

Os modelos estatísticos foram ajustados com o objetivo de avaliar, de forma integrada, a associação entre as variáveis climáticas e as fenofases observadas. Para a ocorrência fenológica, utilizou-se a variável categórica de presença/ausência (0 ou 1), sendo ajustados Modelos Lineares Generalizados Mistos (GLMM), com distribuição binomial e função de ligação logit. Para a intensidade fenológica, mensurada pelo Índice de Fournier, ajustaram-se Modelos Lineares Mistos (LMM), considerando os valores contínuos de intensidade como variável resposta.

Em ambas as abordagens de modelagem, inseriram-se como variáveis preditoras (fixas): a temperatura média, a precipitação acumulada, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento, a radiação solar e o fotoperíodo. Adicionalmente, foram incluídos efeitos aleatórios para “espécie” e “exemplar”, de modo a acomodar a estrutura de dependência temporal decorrente das medidas repetidas no tempo ao longo do período de monitoramento. Desse modo, os modelos permitiram estimar as tendências das fenofases controlando a variação individual e a autocorrelação dos dados amostrais.

A Tabela 8 demonstra as variáveis explicativas que decodificaram efeito significativo nos modelos de ocorrência das fenofases, retendo-se apenas os parâmetros com significância estatística ao nível de $p < 0{,}05$.

Tabela 8. Variáveis significativas nos modelos de ocorrência das fenofases (GLMM Binomial).

Fenofase	Variável	Estimativa	p-valor	Direção
Botões florais	Temperatura média	-0,685	< 0,001	Negativa
Botões florais	Precipitação	-0,628	< 0,001	Negativa
Botões florais	Fotoperíodo	1,748	< 0,001	Positiva
Botões florais	Umidade	0,599	< 0,001	Positiva
Flores abertas	Temperatura média	-0,636	< 0,001	Negativa
Flores abertas	Precipitação	-0,822	< 0,001	Negativa
Flores abertas	Umidade	0,589	< 0,001	Positiva
Flores abertas	Fotoperíodo	2,291	< 0,001	Positiva
Frutos verdes	Temperatura média	0,313	< 0,001	Positiva
Frutos verdes	Precipitação	0,227	< 0,001	Positiva
Frutos verdes	Umidade	-0,449	< 0,001	Negativa
Frutos maduros	Precipitação	-0,121	0,0239	Negativa
Frutos maduros	Umidade	-0,374	< 0,001	Negativa
Frutos maduros	Radiação	-0,273	0,0012	Negativa
Frutos maduros	Fotoperíodo	-0,346	< 0,001	Negativa
Folhas jovens	Temperatura média	-0,961	< 0,001	Negativa
Folhas jovens	Precipitação	0,38	0,0002	Positiva
Folhas jovens	Umidade	1,238	< 0,001	Positiva
Folhas jovens	Radiação	1,126	< 0,001	Positiva
Folhas jovens	Fotoperíodo	3,332	< 0,001	Positiva
Folhas adultas	Temperatura média	1,428	< 0,001	Positiva

Folhas adultas	Precipitação	1,125	0,0009	Positiva
Folhas adultas	Umidade	-2,418	< 0,001	Negativa
Folhas adultas	Radiação	-0,832	0,0139	Negativa
Folhas adultas	Fotoperíodo	-3,37	< 0,001	Negativa

Estimativa = coeficiente do modelo; p-valor = probabilidade associada ao teste estatístico, utilizada para avaliar a significância; Direção = sentido da associação entre a variável explicativa e a probabilidade de ocorrência da fenofase. Foram apresentadas apenas as variáveis com $p < 0,05$.
Fonte: autora (2026).

Os modelos de ocorrência indicaram que os macrofatores climáticos e o fotoperíodo exibiram forte associação estatística com a probabilidade de presença das fenofases. O fotoperíodo expressou forte efeito positivo sobre as fases de botões florais, flores abertas e folhas jovens, indicando que o incremento na duração do comprimento do dia esteve estritamente associado à maior probabilidade de detecção desses eventos fenológicos. Esse achado corrobora os padrões sazonais identificados nas seções anteriores, ratificando a concentração dessas fenofases nos meses de primavera e transição para o verão.

Essas respostas estão em consonância com Ferrera *et al.* (2017), os quais demonstraram que as fenofases de espécies arbóreas na região central do Rio Grande do Sul respondem de forma robusta ao comprimento do dia e à temperatura do ar. Convergem, similarmente, com os dados obtidos por Athayde *et al.* (2009), que diagnosticaram picos de brotamento, floração e frutificação entre setembro e dezembro em uma floresta ribeirinha subtropical, intervalo caracterizado pela ascensão térmica e fotoperiódica. Dessa forma, no cenário microclimático urbano sob estudo, o fotoperíodo consolidou-se como o preditor mais consistente para a ocorrência das manifestações sazonais.

Para as fenofases de botões florais e flores abertas, a temperatura média e a precipitação exibiram coeficientes parciais negativos, ao passo que a umidade e o fotoperíodo manifestaram estimativas positivas. Essa configuração requer cautela analítica: os modelos mistos computam o efeito líquido de cada variável controlando matematicamente o efeito das demais (*efeito ceteris paribus*). Desse modo, o sinal negativo da temperatura média não sinaliza que o aquecimento iniba isoladamente a floração, mas sim que, no contexto multivariado integrado — onde o fotoperíodo já absorve a maior porção da variação associada à primavera —, os acréscimos marginais de temperatura correlacionaram-se inversamente com a probabilidade de ocorrência dessas fenofases.

A emissão de folhas jovens foi positivamente afetada pela precipitação, umidade, radiação solar e fotoperíodo, exibindo coeficiente negativo para a temperatura média. Esse comportamento reitera o vínculo estreito do brotamento com períodos de transição caracterizados pelo alongamento do dia e

por elevados aportes de energia radiante, que otimizam os processos fotossintéticos e a reativação cambial. O impacto positivo do fotoperíodo e da radiação justifica o incremento vegetativo de folhas jovens observado nas copas de *Tipuana*, *Grevillea*, *Cinamomo* e *Canafístula* ao longo da primavera. O sinal negativo da temperatura neste modelo espelha o mesmo fenômeno de ajuste matemático multivariado citado para a floração, ilustrando que o estímulo luminoso e radiativo atua de forma preponderante e combinada com a dinâmica térmica.

Nas folhas adultas, observou-se um comportamento reverso: os efeitos foram positivos para a temperatura média e precipitação, e negativos para umidade, radiação e fotoperíodo. Esse arranjo justifica-se pela persistência e estabilidade dessa estrutura foliar durante as estações frias e de dias curtos (outono/inverno), períodos nos quais a copa permanece densa enquanto as fases altamente sazonais (flores e folhas jovens) estão ausentes ou reduzidas.

A Tabela 9 representa as variáveis que demonstraram maior magnitude de efeito nos modelos lineares mistos focados na intensidade das fenofases, retendo-se os parâmetros com estatística $t \geq 2$.

Tabela 9. Variáveis com maior efeito nos modelos de intensidade das fenofases.

Fenofase	Variável	Estimativa	Erro padrão	t	Direção
Botões florais	Temperatura média	-0,095	0,013	-7,225	Negativa
Botões florais	Precipitação	-0,028	0,01	-2,929	Negativa
Botões florais	Umidade	0,118	0,017	6,815	Positiva
Botões florais	Radiação	0,041	0,016	2,566	Positiva
Botões florais	Fotoperíodo	0,257	0,015	17,406	Positiva
Flores abertas	Temperatura média	-0,086	0,016	-5,424	Negativa
Flores abertas	Precipitação	-0,027	0,012	-2,331	Negativa
Flores abertas	Umidade	0,115	0,021	5,518	Positiva
Flores abertas	Radiação	0,047	0,019	2,436	Positiva
Flores abertas	Fotoperíodo	0,345	0,018	19,45	Positiva
Frutos verdes	Temperatura média	0,115	0,022	5,228	Positiva
Frutos verdes	Umidade	-0,137	0,029	-4,736	Negativa
Frutos verdes	Fotoperíodo	-0,112	0,025	-4,564	Negativa
Frutos maduros	Umidade	-0,099	0,027	-3,701	Negativa
Frutos maduros	Vento	0,045	0,016	2,91	Positiva
Frutos maduros	Fotoperíodo	-0,186	0,023	-8,209	Negativa
Folhas jovens	Temperatura média	-0,082	0,015	-5,294	Negativa
Folhas jovens	Umidade	0,096	0,02	4,702	Positiva
Folhas jovens	Radiação	0,094	0,019	4,996	Positiva
Folhas jovens	Fotoperíodo	0,334	0,017	19,28	Positiva
Folhas adultas	Temperatura média	0,191	0,021	8,907	Positiva
Folhas adultas	Precipitação	0,042	0,016	2,683	Positiva
Folhas adultas	Umidade	-0,262	0,028	-9,275	Negativa
Folhas adultas	Radiação	-0,12	0,026	-4,593	Negativa

Folhas adultas	Fotoperíodo	-0,476	0,024	-19,828	Negativa

Estimativa = coeficiente angular do modelo; Erro padrão = desvio-padrão do estimador; t = estatística t de Student; Direção = sentido da associação entre a variável explicativa e a intensidade da fenofase pelo Índice de Fournier. Foram apresentados apenas os parâmetros com $|t| \geq 2$.
Fonte: autora (2026).

Os modelos lineares mistos de intensidade mimetizaram os padrões de sinal detectados nos modelos de ocorrência, conferindo alta robustez estatística às interpretações, especialmente para os órgãos reprodutivos iniciais e o brotamento vegetativo. Os botões florais e as flores abertas revelaram forte dependência positiva do fotoperíodo ($t = 17{,}406$ e $t = 19{,}450$, respectivamente), além de associações positivas com a umidade e a radiação. Tais métricas indicam que o alongamento dos dias atua não apenas como um gatilho de ativação (presença), mas governa diretamente a magnitude e o volume de flores produzidas pelas copas.

A proeminência do fotoperíodo como o principal vetor sobre a intensidade floral corrobora a sua função clássica de marcador astronômico infalível para o sincronismo reprodutivo. No ambiente urbano avaliado, a despeito das estimativas negativas obtidas para a temperatura média no ajuste do modelo, a forte sinalização positiva da radiação solar e do fotoperíodo confirma que o florescimento esteve atrelado à sazonalidade abiótica natural. Esse comportamento converge com os dados individuais por espécie, considerando que *Tipuana*, *Grevillea*, *Jacarandá* e *Cinamomo* expressaram o ápice do seu volume floral justamente sob essas condições fotoperiódicas favoráveis.

A intensidade de folhas jovens acompanhou rigidamente esse mesmo comportamento (efeito positivo do fotoperíodo, radiação e umidade), validando os resultados das correlações não paramétricas de Spearman feitas anteriormente. Esse padrão reafirma que os processos metabólicos de renovação de copa dependem criticamente do fotoperíodo de primavera para atingirem suas taxas máximas de expansão foliar.

Na dinâmica carpólogica, os frutos verdes exibiram relação positiva com a temperatura média e associações inversas com a umidade e o fotoperíodo. Por sua vez, a maturação de frutos (frutos maduros) foi estatisticamente associada de forma negativa à umidade e ao fotoperíodo, revelando efeitos positivos para a velocidade do vento.

Para as folhas adultas, os modelos de intensidade ratificaram o sinal positivo para temperatura e precipitação, e negativo para os indutores radiantes e para o fotoperíodo. A associação inversa entre a intensidade de folhas adultas e o fotoperíodo ($t = -19{,}828$) elucida o processo biológico de substituição parcial e renovação da biomassa foliar. No momento em que os dias se expandem, os recursos metabólicos são drenados para a diferenciação e expansão de folhas jovens, provocando um decréscimo proporcional na dominância das folhas adultas preexistentes

Para as folhas adultas, os modelos de intensidade ratificaram o sinal positivo para temperatura e precipitação, e negativo para os indutores radiantes e para a classe de exposição luminosa média. A associação inversa entre a intensidade de folhas adultas e o fotoperíodo (t = -19,828) elucida o processo biológico de substituição parcial e renovação da biomassa foliar. No momento em que os dias se expandem, os recursos metabólicos são drenados para a diferenciação e expansão de folhas jovens, provocando um decréscimo proporcional na dominância das folhas adultas preexistentes.

Em síntese, os modelos probabilísticos e lineares mistos evidenciaram que o fotoperíodo, a umidade relativa, a radiação e a temperatura atuaram como as forças motrizes da dinâmica fenológica na Praça Dr. Camilo Mércio, com marcante influência nas fases tipicamente sazonais. A convergência metodológica entre os modelos mistos, as análises de correlação e os perfis descritivos específicos por espécie confere elevada segurança aos dados, demonstrando que os ritmos fenológicos na área urbana resultam de uma matriz multifatorial que conecta o macroclima sazonal, as restrições ecofisiológicas de cada táxon e as características do ambiente construído.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu caracterizar os padrões fenológicos dos exemplares de espécies arbóreas presentes na Praça Dr. Camilo Mércio, em São Gabriel/RS, ao longo de dois ciclos anuais de monitoramento. De modo geral, observou-se o predomínio da fase vegetativa, marcada pela manutenção frequente e estável de folhas adultas nas copas, ao passo que as fenofases reprodutivas manifestaram um comportamento estritamente sazonal e variável entre os exemplares avaliados.

A emissão de folhas jovens, a floração e a frutificação ocorreram de forma diferenciada entre os exemplares das diferentes espécies, evidenciando que a fenologia da arborização urbana responde de maneira estruturada às pressões ambientais e à sazonalidade climática do ecossistema construído. Os resultados indicaram maior probabilidade de ocorrência e maior intensidade de folhas jovens e flores abertas em períodos marcados pelo alongamento do fotoperíodo, especialmente na primavera e no início do verão. A radiação solar e a umidade relativa do ar também apresentaram fortes associações com essas fenofases sazonais, atuando de forma combinada e preponderante sobre os ciclos biológicos dos espécimes acompanhados.

A sincronia fenológica variou entre os exemplares das espécies avaliadas. Espécies como *Grevillea*, *Tipuana*, *Cinamomo* e *Jacarandá* exibiram ampla coordenação e coincidência temporal na manifestação de suas fenofases, enquanto o *Branquiquito* e o *Amendoim-bravo* demonstraram um comportamento síncrono significativamente mais restrito e pontual. Esse cenário evidenciou que, mesmo em uma área urbana delimitada e central, os espécimes arbóreos respondem de modo

heterogêneo aos estímulos ambientais, refletindo tanto os ritmos biológicos específicos de cada espécie quanto o efeito de micro-habitats locais.

Entre as limitações inerentes à execução deste estudo, destaca-se que a observação visual de certas fenofases pode ter sido mitigada por fatores estruturais, tais como a altura elevada de alguns exemplares, a densidade foliar de suas copas, a inserção interna de estruturas reprodutivas e a curta janela de duração de eventos discretos, a exemplo dos botões florais e das flores abertas.

Mesmo com essas limitações, os objetivos do estudo foram alcançados, pois foi possível identificar os principais padrões fenológicos dos exemplares avaliados, relacioná-los às variáveis climáticas e ao fotoperíodo, e avaliar a sincronia fenológica entre exemplares da mesma espécie. Os dados gerados expandem a compreensão acerca da ecofisiologia vegetal em cenários antropizados e fornecem subsídios práticos para o planejamento do design paisagístico, manejo botânico e conservação da infraestrutura verde urbana.

Por fim, recomenda-se que investigações futuras expandam a amostragem para múltiplas tipologias de áreas verdes urbanas e prolonguem o monitoramento temporal por períodos de longo prazo. Essas abordagens poderão contribuir para compreender com maior precisão os efeitos da sazonalidade abiótica e de outros fatores ambientais sobre a fenologia das espécies arbóreas.

REFERÊNCIAS

ALBERTI, L. F. Fenologia de uma comunidade arbórea em Santa Maria, RS. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002. Disponível em: http://repositorio.ufsm.br/handle/1/26736. Acesso em: 10 set. 2025.

AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. Revista Brasileira de Climatologia, ano 15, edição especial, p. 22–46, jun. 2019. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/download/65136/38759. Acesso em: 28 out. 2025.

ATHAYDE, E. A. *et al.* Fenologia de espécies arbóreas em uma floresta ribeirinha em Santa Maria, sul do Brasil. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 43–51, jan./mar. 2009. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/rbrasbioci/article/view/114812. Acesso em: 10 set. 2025.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. Clima, temperatura e precipitação. 8. ed. Porto Alegre, 2024. Disponível em: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br /clima-temperatura-e-precipitacao. Acesso em: 27 set. 2025.

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. Journal of Statistical Software, v. 67, n. 1, p. 1–48, 2015. Disponível em: https://www.jstatsoft.org/article/view/v067i01. Acesso em: 06 out. 2025.

BENCKE, C. S. C.; MORELLATO, L. P. C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. Brazilian Journal of Botany, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 269–275, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-840420020003000 03. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbb/a/PsVPDYdRLR87yGw5TLxFwTN/?lang=pt. Acesso em: 02 set. 2025.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño–Oscilação Sul. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 3, p. 37–48, 2008. DOI: https://doi.org/10. 5380 /abclima.v3i0.25408. Disponível em: https://doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25408. Acesso em: 10 set. 2025.

BURIOL, G. A. *et al.* Atlas climático do Rio Grande do Sul. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2019. Disponível em: https://w3.ufsm.br/atlasclimatico/. Acesso em: 18 set. 2025.

FERRERA, T. S. Fenologia de espécies arbóreas nativas no Jardim Botânico da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4843. Acesso em: 10 set. 2025.

FERRERA, T. S. *et al.* 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, jul./set. 2017. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509828608. Disponível em: https://doi.org/10.5902/1980509828608. Acesso em: 10 set. 2025.

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. Turrialba, v. 24, n. 4, p. 422–423, 1974. Disponível em: https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12985. Acesso em: 02 set. 2025.

GOOGLE EARTH. Localização da Praça Dr. Camilo Mércio, São Gabriel/RS. 2026. Disponível em: https://earth.google.com/. Acesso em: 07 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Perfil municipal de São Gabriel. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-gabriel/panorama. Acesso em: 02 set. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos. Estação São Gabriel (A832). Brasília, DF: INMET, 2025. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 02 set. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Portal INMET. Brasília, DF: INMET, 2025. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/. Acesso em: 28 out. 2025.

MAUÉS, M. M.; GARCIA, L. C.; WADT, L. H. de O. Coleta de dados fenológicos qualitativos e quantitativos em espécies arbóreas tropicais. In: REDE KAMUKAIA. Produtos florestais não madeireiros: guia metodológico da Rede Kamukaia. Brasília, DF: Embrapa, 2017. cap. 6, p. 69–80. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de- publicacoes/-/publicacao/1079417/coleta-de-dados-fenologicos-qualitativos-e-quantitativos-em-especies-arboreas-tropicais. Acesso em: 27 abr. 2025.

MORELLATO, L. P. C. *et al.* Fenologia, conservação e mudanças climáticas: tendências e perspectivas. Biotemas, Florianópolis, v. 29, n. 4, p. 55–68, 2016. DOI: https://doi.org /10.5007/2175- 7925.2016v29n4p55. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br /index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2016v29n4p55. Acesso em: 10 set. 2025.

R CORE TEAM. R: Language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: https://www.R-project.org/. Acesso em: 10 jun. 2026.

REBELATTO, D.; SOUZA LEAL, T.; PEDROSO DE MORAES, C. Fenologia de duas espécies de ipê em área urbana do município de Araras, São Paulo, Brasil. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 1–16, mar. 2013. DOI: https://doi.org/10.5380/revsbau.v8i1.66355. Disponível em: https://doi.org/10.5380/revsbau.v8i1.66355. Acesso em: 10 set. 2025.

SANTOS, C. H. V.; FISCH, S. T. V. Fenologia de espécies arbóreas em região urbana, Taubaté, SP. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 1–17, 2013. DOI: https://doi.org/10.5380/revsbau.v8i3.66431. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/66431. Acesso em: 10 set. 2025.

SOUZA, T. S. *et al.* Sensibilidade da fenologia das folhas, flores e frutos às características ambientais locais em uma metrópole tropical. São José dos Campos: UNESP, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/items/011e240c-5d8d-4ccb-9e7c-9780f83c3bac. Acesso em: 10 set. 2025.

TEIXEIRA, I. F.; FIGUEIREDO, F. M. de; TABORDA, I. G. R.; SOARES, L. M. Análise fitossociológica da Praça Camilo Mércio no Centro Histórico de São Gabriel, RS. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba, v. 11, n. 1, p. 181–198, 2016. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/63236. Acesso em: 22 jun. 2026.

TIME AND DATE. Sun & Moon: São Gabriel, Rio Grande do Sul, Brazil. [S. l.]: Time and Date, [s.d.]. Disponível em: https://www.timeanddate.com/. Acesso em: 11 jun. 2026.

ZAMPRONI, K.; BIONDI, D.; LIMA NETO, E. M.; MARTINI, A. Efeito das variáveis meteorológicas sobre a fenologia de Tipuana tipu (Benth.) O. Kuntze na arborização urbana de Curitiba-PR. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba, v. 8, n. 2, p. 1–14, 2013. DOI: https://doi.org/10.5380/revsbau.v8i2.66361. Acesso em: 18 jun. 2026.