RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA E DINÂMICA SAZONAL DA VEGETAÇÃO NO PLANALTO SUL CATARINENSE A PARTIR DO EVI

Regina Luiza Gouvea [1]
Kleber Trabaquini [2]
Fernanda dos Santos[3]
Gionava Rama de Araújo [4]

[1]Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI); Florianópolis, Santa Catarina – E-mail: reginagouvea@epagri.sc.gov.br ORCID: https://orcid.org/orcid-search/search?searchQuery=0000-0002-9110-2146

[2] Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI); Florianópolis, Santa Catarina – E-mail: klebertrabaquini@epagri.sc.gov.br ORCID: https://orcid.org/orcid-search/search?searchQuery=0000-0003-4902-4735

[3] Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI); Florianópolis, Santa Catarina – E-mail: fernandasantos@epagri.sc.gov.br ORCID: https://orcid.org/orcid-search/search?searchQuery=0009-0008-6292-1186

[4] Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI); Florianópolis, Santa Catarina – E-mail: giovanaaraujo@epagri.sc.gov.br ORCID: https://orcid.org/0009-0007-7825-1511

RESUMO EXPANDIDO

As pastagens constituem uma unidade biótica e ecológica distinta, dominada por gramíneas e ervas, caracterizando-se por um dossel uniestratificado cuja cobertura e altura variam conforme a zona climática (Dixon et al., 2014). Esses habitats são de grande importância não apenas para a diversidade de inúmeras espécies, mas também para funções e serviços ecossistêmicos de regulação, como o armazenamento de carbono, a regulação hídrica e o controle da erosão do solo (Petermann & Buzhdygan, 2021). As pastagens também desempenham papel essencial na produção de forragem para o gado.

Nas últimas décadas, a compreensão dos impactos das mudanças de Uso e Cobertura da Terra (UCT) sobre a temperatura e a precipitação tem mobilizado esforços de pesquisa. Para a vegetação, contudo, a resposta a essas variáveis climáticas ocorre de forma sazonal. Nesse contexto, os dados de sensoriamento remoto, especialmente aqueles provenientes de sensores com alta resolução temporal e espectral como o MODIS, têm sido amplamente aplicados ao mapeamento e monitoramento da UCT.

Para este estudo, utilizou-se a coleção MOD13Q1, que fornece os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é relacionar a precipitação e a temperatura com o comportamento sazonal das classes de pastagens nativas, pastagens cultivadas e formação florestal no Planalto Sul catarinense, buscando compreender, a partir da aplicação do EVI, a relação entre o padrão sazonal da precipitação no ano de 2024 e a dinâmica da vegetação.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O Planalto Sul catarinense está localizado na Região Sul do Brasil, onde predomina o clima subtropical. Segundo Quadro et al. (1996), as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano nessa região, com média anual de precipitação variando entre 1.250 e 2.000 mm. Santa Catarina recebe influência tanto de fluxos de umidade atlântica quanto de correntes úmidas de origem amazônica (Fritzsons, Mantovani & Wrege, 2016), o que favorece o aporte de chuvas. A distribuição anual das chuvas sobre a Região Sul do Brasil é bastante uniforme, enquanto a temperatura apresenta a maior variabilidade térmica ao longo do ano (Quadro et al., 1996).

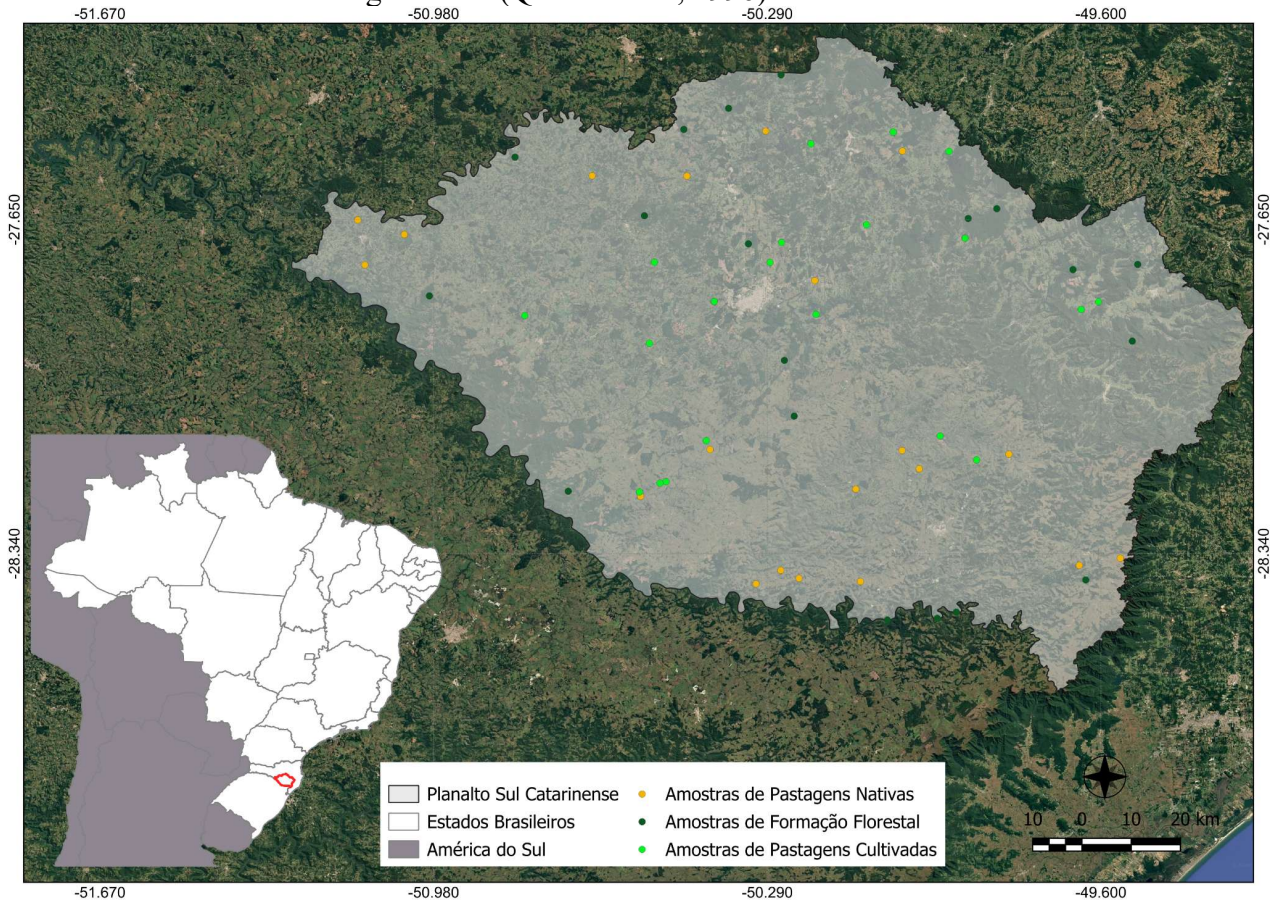


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Autores (2026).

MÉTODOS

Os polígonos representativos das classes de pastagens nativas e pastagens cultivadas foram delimitados a partir de pontos amostrais previamente coletados em campo. Com base nessas referências, realizou-se interpretação visual em imagens do Sentinel-2 para identificação e delimitação de áreas homogêneas compatíveis com a resolução espacial do produto MODIS/MOD13Q1. Em razão da reduzida dimensão espacial de parte das áreas cultivadas, nem todos os pontos amostrais originais puderam ser utilizados diretamente; os polígonos foram, portanto, ajustados conforme o padrão visual predominante da cobertura vegetal.

Os dados de precipitação mensal acumulada foram obtidos a partir da coleção CHIRPS Daily, disponível no *Google Earth Engine*. Para cada mês de 2024, os valores diários de precipitação foram somados e, em seguida, agregados espacialmente por meio da média regional sobre a área de estudo, resultando em uma série temporal mensal de precipitação média regional expressa em milímetros. Já a temperatura média mensal foi obtida da coleção ERA5-*Land Monthly Aggregated*, utilizando-se a variável de temperatura do ar a 2 metros de altura. Os valores mensais foram igualmente agregados espacialmente pela média regional e, posteriormente, convertidos de Kelvin para graus Celsius.

A relação entre a dinâmica sazonal do EVI e as variáveis climáticas foi avaliada por meio da correlação de *Pearson*, empregando-se as médias mensais de EVI das classes de cobertura e os dados mensais de precipitação e temperatura referentes ao ano de 2024. As análises foram realizadas separadamente para pastagens cultivadas, pastagens nativas e formação florestal, visando identificar a associação linear entre a variabilidade espectral e as condições climáticas regionais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 evidencia o Evi acompanha valores de precipitação e temperatura ao longo da série no ano de 2024.

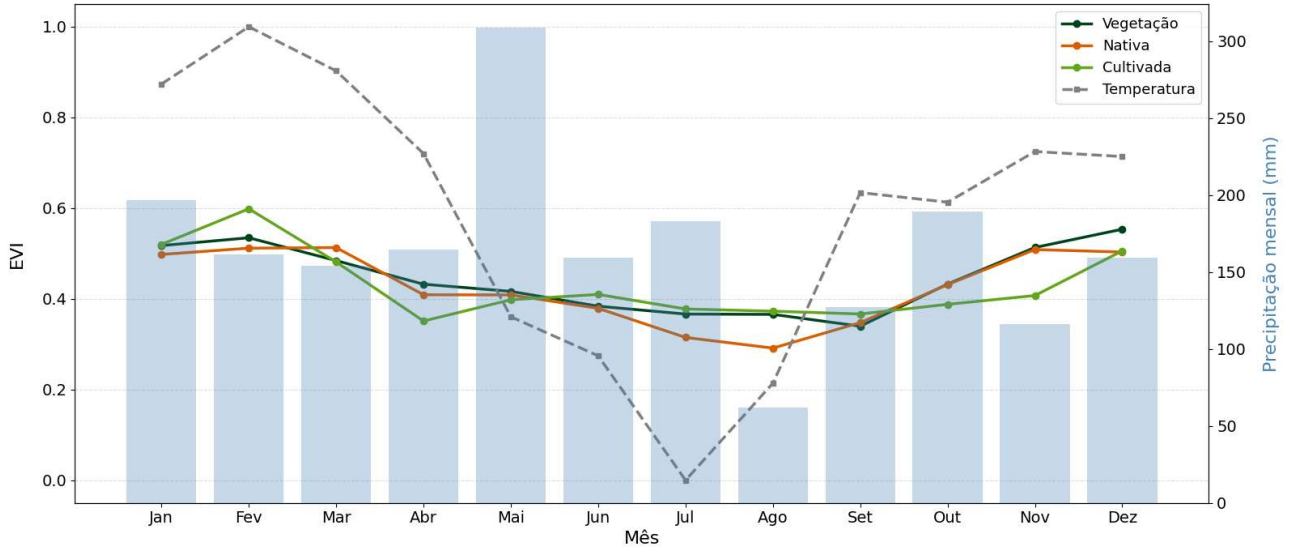


Figura 2. Resposta sazonal do EVI à precipitação e temperatura. Fonte: Autores (2026).

Observa-se que, nos meses de verão, o EVI, a precipitação e a temperatura, apresentam valores mais altos, quando se verifica maior vigor vegetativo da cobertura vegetal. A partir do outono, há redução gradual do EVI, em consonância com a diminuição da temperatura e da precipitação, com valores mínimos no inverno. Os resultados obtidos são coerentes com o padrão da precipitação encontrado por Gotardo et al. (2018). De acordo com os autores, a estação do verão é responsável pela maior média mensal de precipitações, enquanto o inverno a menor média mensal em Santa Catarina. A partir da primavera, com o aumento das temperaturas e a retomada das chuvas, observa-se a recuperação da biomassa campestre. Esse padrão reflete o ciclo fenológico dos campos nativos, caracterizado por maior acréscimento nos meses quentes e redução no inverno, associado principalmente às variações de temperatura e disponibilidade hídrica. O fotoperíodo,

embora não analisado neste estudo, influencia a duração das fases fenológicas da vegetação. O estudo realizado por Ferreira et al. (2017) mostra que as fenofases de espécies arbóreas nativas estiveram significativamente correlacionadas com o comprimento do dia e a temperatura do ar, mas não com a precipitação.

Entre julho e agosto, observa-se divergência parcial entre as variáveis climáticas e a resposta espectral da vegetação, uma vez que, embora as temperaturas iniciem elevação gradual, a precipitação permanece reduzida. Nesse período, a estabilização ou redução do EVI sugere que a baixa disponibilidade hídrica, associada aos efeitos residuais das baixas temperaturas do inverno, pode atuar como fator limitante ao vigor vegetativo das classes analisadas. Embora o mês de maio, marcado por chuvas acima da média em grande parte de Santa Catarina, tenha apresentado o maior volume de precipitação do período analisado, não foi observada resposta proporcional nos valores de EVI das classes avaliadas, indicando que a precipitação isoladamente não deve ser o principal controlador da variabilidade espectral no período. Esse comportamento sugere a influência conjunta de outros fatores, como temperatura e ciclos fenológicos da vegetação, que condicionam a atividade fotossintética e a dinâmica sazonal das classes analisadas. Entre maio e junho, observa-se uma redução da temperatura média, coincidindo com a aproximação dos valores de EVI entre as classes, indicando que a limitação térmica pode exercer maior influência sobre a dinâmica fenológica do que a disponibilidade hídrica em curto prazo. Segundo Pillar et al. (2012), no outono e inverno, as baixas temperaturas reduzem o crescimento dos pastos, conferindo-lhes uma tonalidade amarelada, consequência das frequentes geadas invernais. Logo, a temperatura atua como o principal regulador da fenologia das gramíneas e formações florestais, governando o somatório de graus-dia para a transição de fases. Por outro lado, a precipitação dita o acúmulo de biomassa refletido no EVI, pois a disponibilidade hídrica condiciona a abertura estomática e o influxo de CO2, permitindo que a planta aproveite o estímulo térmico para realizar a fotossíntese e expandir sua área foliar (Taiz; Zeiger, 2021).

A análise de correlação sugere uma associação positiva com a precipitação e temperatura, reforçando o padrão sazonal observado. No entanto, diferenças entre classes reforçam que, além dos controles climáticos, os processos de manejo devem exercer influência na dinâmica temporal do EVI.

A Tabela 1 mostra as correlações entre precipitação e temperatura com o EVI para as classes analisadas, com a finalidade de verificar se a vegetação responde às condições climáticas do mês anterior.

Tabela 1. Correlação entre a dinâmica sazonal do EVI, precipitação e temperatura. Fonte: Autores (2026).

Classes	***EVI x Precipitação (lag 0)***	***EVI x Precipitação (lag 1)***	***EVI x Temperatura (lag 0)***	***EVI x Temperatura (lag 1)***
Pastagens Cultivadas	0.09	0.14	0.65	0.52
Pastagens Nativas	0.18	0.01	0.85	0.84
Formação Florestal	0.09	0.02	0.75	0.74

Os resultados permitem observar que a temperatura apresentou maior associação com a dinâmica sazonal do EVI em comparação à precipitação, tanto nas análises simultâneas quanto defasadas em um mês, sugerindo persistência sazonal, ou seja, os índices continuam semelhantes nos meses consecutivos. Os resultados indicam maior influência das condições térmicas sobre a atividade vegetativa na região de estudo.

Enquanto a resposta sazonal do EVI às variações de precipitação e temperatura refletem-se na dinâmica espectral das classes ao longo do ano, os *box plots* (Figura 3) permitiram visualizar a distribuição dos valores de EVI e o grau de sobreposição entre as classes. A diferença absoluta entre os valores médios (Tabela 2) destaca os períodos de maior proximidade e maior separabilidade espectral entre as classes analisadas.

A Figura 3 mostra a dinâmica sazonal do EVI por classe de cobertura em 2024. A linha horizontal dentro das caixas representa a mediana e os limites das caixas representam Intervalos Interquartílicos (IQs). A dimensão das caixas indicam maior ou menor dispersão dos dados centrais.

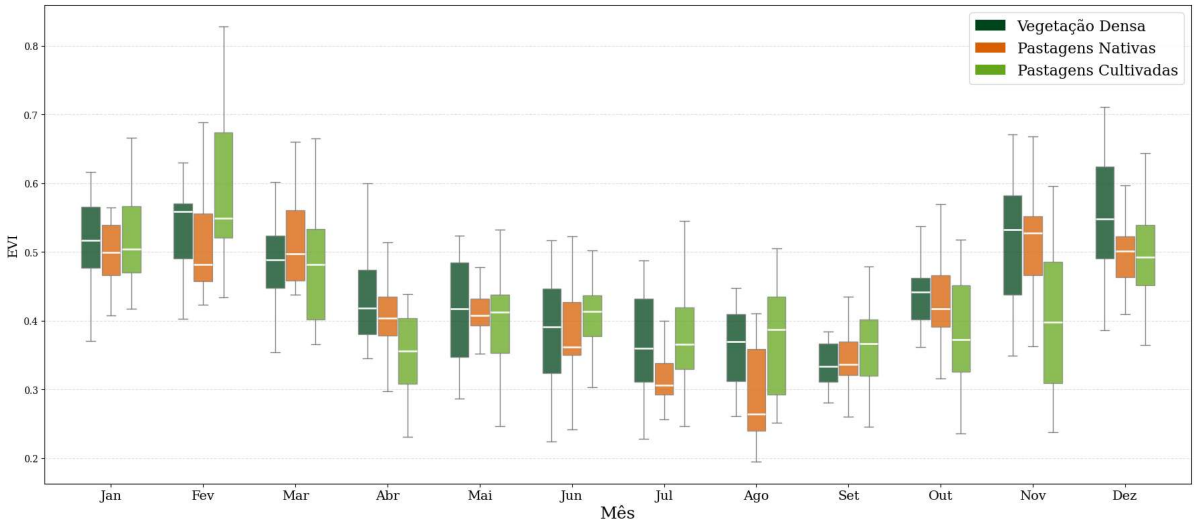


Figura 3. Variação sazonal do EVI em pastagens e formação florestal. Fonte: Autores (2026)

A menor diferença entre os valores médios de EVI das classes nativa e formação florestal foi observada em outubro ($\Delta = 0.0012$), indicando elevada similaridade espectral durante o período de retomada do crescimento na estação da primavera. Esse padrão é consistente com a sobreposição observada nas distribuições de ambas as classes no *box plot*, sugerindo baixa separabilidade espectral neste período. Em contraste, a maior diferença ocorreu em agosto ($\Delta = 0.0744$), sugerindo maior separabilidade espectral no inverno, possivelmente associada à maior sensibilidade fenológica dos campos nativos às baixas temperaturas e geadas.

As classes de pastagens nativas e cultivadas apresentaram maior similaridade espectral em dezembro ($\Delta = 0.0026$), período caracterizado por elevada atividade vegetativa de ambas as classes. Esse comportamento pode estar associado ao aumento da precipitação e da temperatura durante a primavera, condições que favorecem elevada atividade fotossintética e incremento da biomassa vegetal. No caso das pastagens cultivadas, esse período pode corresponder ao pico do desenvolvimento fenológico de cultivos temporários de verão, contribuindo para a aproximação espectral em relação às pastagens nativas. A baixa variabilidade entre as classes neste pode ser observada nos *box plots,* indicada pela forte sobreposição dos intervalos interquartílicos. Em contraste, a maior divergência ocorreu em agosto ($\Delta = 0.1014$), indicando elevada separabilidade espectral durante o período de inverno. Neste período, observa-se menor intersecção entre os quartis. Esse comportamento pode estar associado à senescência das pastagens nativas durante o inverno, enquanto as áreas cultivadas apresentam incremento do vigor vegetativo em função do cultivo de forrageiras hibernais, utilizadas na manutenção da cobertura do solo e alimentação animal.

As classes de pastagens cultivadas e formação florestal apresentaram maior similaridade espectral em janeiro ($\Delta = 0.0027$), período caracterizado por elevada atividade fotossintética e

maior vigor vegetativo em ambas as formações. Nesse mês, os *box plots* indicam que há grande intersecção entre os intervalos interquartílicos. Esse comportamento sugere baixa separabilidade espectral nesse período, o que pode dificultar a distinção entre essas coberturas em classificações realizadas com imagens ópticas. Em contraste, a maior divergência ocorreu em novembro (Δ = 0.1060), sugerindo uma forte diferenciação fenológica durante a transição primavera/verão. As formações florestais tendem a manter maior densidade foliar ao longo do ano, enquanto as pastagens cultivadas podem passar por manejo neste período. O aumento gradual da divergência entre estas classes já começam a ser observados no mês de outubro, culminando na máxima separabilidade em novembro, o que é consistente com a redução da sobreposição entre entre os quartis.

As evidências quantitativas entre as classes analisadas são apresentadas na Tabela 2. A tabela mostra os meses com maior proximidade e maior divergência e os respectivos valores de Δ.

Tabela 2. Diferença absoluta entre os valores médios de EVI das classes analisadas. Fonte: Autores (2026).

Comparação	***Mais próximo***	***Δ mínimo***	***Mais distante***	***Δ máximo***
Nativas × Formação Florestal	Outubro	0.0012	Agosto	0.0744
Nativas × Cultivadas	Dezembro	0.0026	Agosto	0.1014
Cultivadas × Formação Florestal	Janeiro	0.0027	Novembro	0.1060

CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que os campos nativos apresentam sazonalidade associada às condições climáticas regionais, enquanto as pastagens cultivadas exibem variações mais abruptas, possivelmente relacionadas a práticas de manejo. A separabilidade espectral entre as classes não é constante ao longo do ano, apresentando maior similaridade no verão e maior divergência no inverno e nas transições sazonais. De forma geral, os resultados indicam que a dinâmica fenológica das classes é influenciada tanto por fatores climáticos quanto por processos de manejo.

PALAVRAS-CHAVE

MODIS; EVI; Sensoriamento Remoto; Precipitação; Temperatura.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), que financiou a pesquisa e concedeu bolsa de estudo a um dos autores. Os autores também agradecem à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a execução dos projetos.

REFERÊNCIAS

Dixon, A. P., Faber-Langendoen, D., Josse, C., Morrison, J., & Loucks, C. J. (2014). Distribution mapping of world grassland types. Journal of Biogeography, 41(11), 2003-2019. https://doi.org/10.1111/jbi.12381Digital Object Identifier (DOI)

Fritzsons, E., Mantovani, L. E., & Wrege, M. S. (2016). Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado de Santa Catarina, Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, 18.

Gotardo, R., Piazza, G. A., Torres, E., Severo, D. L., & Kaufmann, V. (2018). Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina. Geosul, 33(67), 253-276. https://doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n67p253

Petermann, J. S., & Buzhdygan, O. Y. (2021). Grassland biodiversity. Current Biology, 31(19), R1195-R1201.

Pilar, V., Boldrini, I. I., Bencke, G., & Medeiros, R. (2012). Southern grasslands = Campos do sul. In F. R. Sacarano, I. L. Santos, A. C. I. Martins, J. M. C. Silva, A. L. Guimarães, & R. A. Mittermeir (Eds.), Brazilian biomes: portraits of a plural country = Biomas Brasileiros: retratos de um país plural (pp. 200-235).

Quadro, M. F. L. de, Machado, L. H. R., Calbete, S., Batista, N. N. M., & de Oliveira, G. S. (1996). Climatologia de precipitação e temperatura. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE. https://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/9.html

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2021). Plant physiology and development (7th ed.). Oxford University Press.