

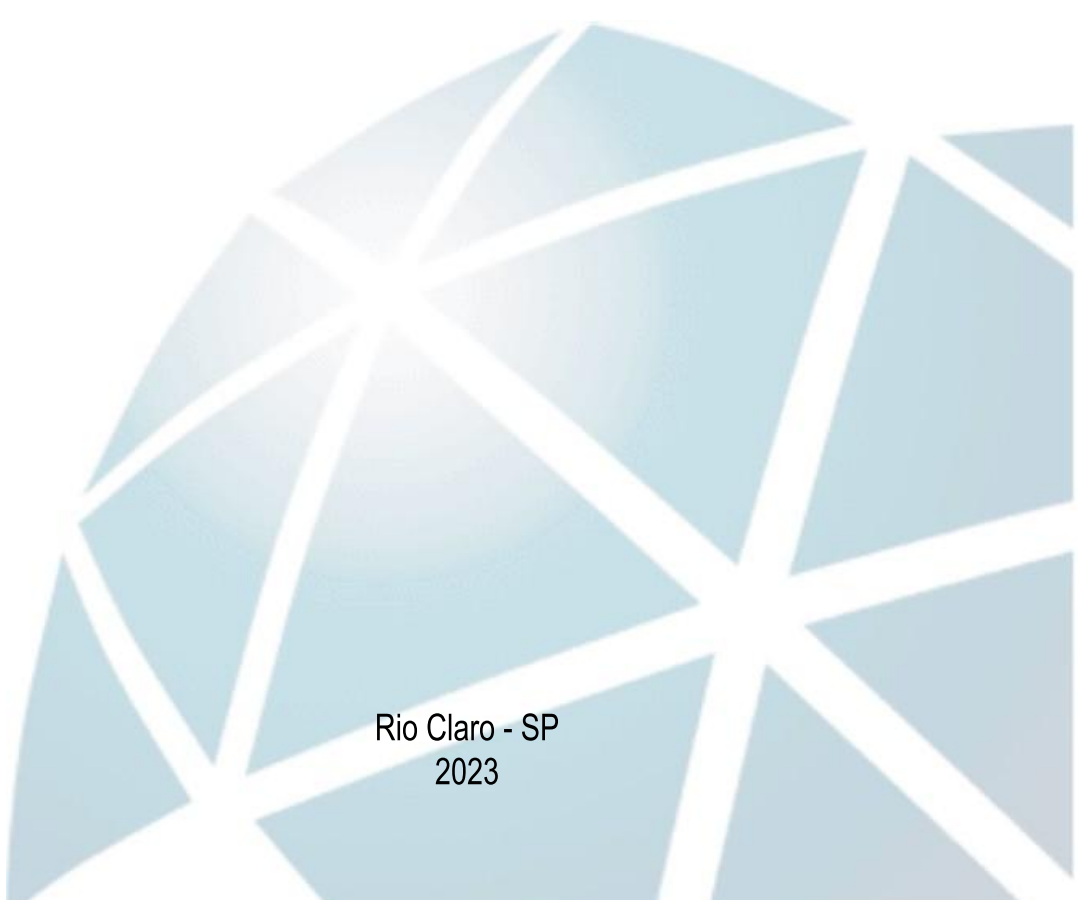
---

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

---

**LETÍCIA PEREIRA GIACOM**

**ALOCÇÃO DE BIOMASSA E ATRIBUTOS  
FUNCIONAIS DE RAÍZES EM CAMPOS ÚMIDOS  
DO CERRADO**



Rio Claro - SP  
2023

LETÍCIA PEREIRA GIACOM

**ALOCÇÃO DE BIOMASSA E ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE RAÍZES  
EM CAMPOS ÚMIDOS DO CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita  
Filho”, para obtenção do grau de Licenciada e  
Bacharela em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Assoc. Alessandra Fidelis

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Soizig Le Stradic

Rio Claro - SP  
2023

G429a      Giacom, Letícia Pereira  
Alocação de biomassa e atributos funcionais de raízes em campos  
úmidos do Cerrado / Letícia Pereira Giacom. -- Rio Claro, 2023  
27 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado e licenciatura -  
Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Instituto de Biociências, Rio Claro  
Orientadora: Alessandra Fidelis  
Coorientadora: Soizig Le Stradic

1. Campo umido tropical. 2. Compartimento subterrâneo. 3.  
Profundidade de enraizamento. 4. Raízes de absorção. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de  
Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

LETÍCIA PEREIRA GIACOM

**ALOCÇÃO DE BIOMASSA E ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE RAÍZES  
EM CAMPOS ÚMIDOS DO CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita  
Filho”, para obtenção do grau de Licenciada e  
Bacharela em Ciências Biológicas.

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof<sup>a</sup>. Assoc. Alessandra Fidelis (orientadora)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Soizig Le Stradic (coorientadora)

Dr<sup>a</sup>. Juliana Teixeira

Dr<sup>a</sup>. Aline Bombo

Aprovado em: 02 de junho de 2023

*Letícia P. Giacom*

Assinatura da discente



Assinatura da coorientadora

Assinatura do(a) orientador(a)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente ao meu pai e à minha mãe, que desde sempre me mostraram a importância dos estudos e me apoiaram na busca do que me faz feliz. Obrigada por toda a dedicação, amor e carinho. Aprendi e sigo aprendendo muito com vocês. Foram vocês que tornaram essa conquista possível.

À Isabella e ao Pedro, meus irmãos queridos, agradeço por todo o apoio, amor e cumplicidade. Sem vocês não seria o que sou hoje! Isa, obrigada por colocar a razão de volta na minha cabeça quando ela me fugia.

Agradeço à Giseka, Professora, Lava, Pêssega, Daia, Zeza e Sandy por terem aguentado minhas reclamações e surtos ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Vocês são incríveis e foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Obrigada por ficarem na linha de frente comigo. Às ex-moradoras da República Tatu do Bem agradeço por terem me acolhido quando cheguei e me ensinado a viver a universidade. Com todas vocês formei uma verdadeira família em Rio Claro, levo vocês comigo sempre.

Aos meloners, Laura, Dani, Má e Marco, obrigada por tornarem essa jornada tão prazerosa. Obrigada por todas as aulas, intervalos, videochamadas, cafés, jantares e rolês. Com vocês conheci amizade sincera e companheirismo sem igual. Se dependesse de mim, faria trabalho em grupo com vocês até o fim dos tempos. Lau, obrigada por ser quem você é. Viver tudo isso não teria sido a mesma coisa sem você.

Também agradeço à minha orientadora e coorientadora, Alessandra Fidelis e Soizig Le Stradic. Obrigada pela paciência e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho. Esse trabalho está aqui hoje graças a vocês e à confiança que depositaram em mim. Admiração imensa. Alê, obrigada pela oportunidade, por me acolher no LEVeg e por me mostrar as belezas do fazer científico e do Cerrado.

Aproveito para agradecer a todos os LEVegianos pelo companheirismo durante as triagens intermináveis e campos trabalhosos. Helô, Vagner, Cassy, Ju, Gabi Santos,

Amanda, Mari Aragão, Marco, Sheeva, Sorriso e Cuik, com vocês tudo ficou mais leve.

Agradeço a todos os professores e educadores que foram importantes para minha formação. Um agradecimento especial à professora Tina, que me mostrou os encantos da Biologia.

Aos grupos que fiz parte ao longo da graduação, Centro Acadêmico da Biologia (Chapa Pão na Chapa), Atlética da Biologia, ENEBio e especialmente ao Grupo Gira-Sol, agradeço por terem me ensinado aquilo que nem sempre se aprende em sala de aula. Agradeço a cada um que dividiu esses espaços e sonhos comigo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº (2015/06743-0) NGS (51903C-18).

## RESUMO

Atributos funcionais de raízes afetam e estão relacionados a uma série de processos ecossistêmicos, como a ciclagem de carbono, de nutrientes e a formação e estabilidade estrutural do solo. Esses atributos, por sua vez, são afetados por variações do clima, de propriedades do solo e da estrutura da vegetação, respondendo rapidamente às mudanças globais. A distribuição de biomassa entre diferentes compartimentos da planta também fornece informações importantes para compreensão da dinâmica da vegetação e para estimativas de fluxo e sequestro de carbono, além do entendimento de estratégias da planta relacionadas com economia de recursos, persistência no ambiente e tolerância a estresses. Pouco se sabe, porém, sobre como tais aspectos da vegetação se organizam nos campos úmidos do Cerrado, apesar de seu papel importante na estocagem de carbono e no ciclo da água. Nesse sentido, o presente estudo objetivou avaliar (1) a distribuição de biomassa da vegetação entre os compartimentos aéreo e subterrâneo, (2) a distribuição de biomassa de raízes por profundidade, (3) os atributos de raízes (SRL, RTD, RDMC, RLD e diâmetro médio) e (4) se existe uma homogeneidade na alocação de biomassa, na distribuição de raízes ao longo do perfil de solo e na distribuição de atributos funcionais de raízes entre cinco campos úmidos do Cerrado. Para isso, foram medidas biomassa aérea e subterrânea, biomassa de raízes até 30cm de profundidade e atributos funcionais de raízes de absorção nos primeiros 10 cm do solo em 5 campos úmidos localizados em três sítios no estado de São Paulo. Os dados obtidos foram posteriormente comparados entre as cinco áreas de campo úmido. Assim, foi demonstrada uma menor alocação de biomassa no compartimento subterrâneo em campos úmidos em relação a outras fisionomias abertas do Cerrado e uma diferença significativa no investimento das plantas em biomassa subterrânea entre os campos úmidos. Além disso, observou-se maior concentração das raízes nos primeiros 10 cm de solo em comparação com as profundidades seguintes e pouca variação dos atributos funcionais de raízes entre os diferentes campos úmidos. O investimento em biomassa de raízes encontrado na vegetação desses ambientes consiste em uma estratégia para persistir e tolerar filtros ecológicos como período de alagamento e regime de fogo, assim como características edáficas. Esse estudo foi o primeiro a quantificar os atributos funcionais de raízes em campos

úmidos do Cerrado e constitui um conhecimento de base importante para a conservação desta vegetação.

**Palavras-chave:** Campo úmido tropical; Compartimento subterrâneo; Profundidade de enraizamento; Raízes de absorção.

## ABSTRACT

Root functional traits are related to and affect a series of ecosystem processes, such as carbon and nutrient cycling, soil formation and its structural stability. These traits are affected by climate variation, soil properties and vegetation structure, quickly responding to global changes. Biomass allocation between plant parts also provides important information for the understanding of vegetation dynamics and carbon flux and capture, besides the comprehension of plant strategies related to resource economy, persistence and stress tolerance. However, little is known about how these vegetation aspects are organized in wet grasslands of Cerrado, despite their important role to the water cycle and as carbon stocks. In that regard, this study aimed to evaluate (1) biomass distribution between above and belowground compartments, (2) root biomass distribution by depth, (3) absorption roots functional traits (i. e. SRL, RTD, RDMC, RLD and mean diameter) and (4) if the biomass allocation, biomass distribution by depth and root functional traits vary between five wet grasslands of Cerrado. For that, we measured above and belowground biomass, root biomass until 30 cm depth and root functional traits on soil's first 10 cm layer in 5 different wet grasslands in 3 different sites in São Paulo state, Brazil. After that, the data was compared between the 5 wet grasslands. We found that less biomass was allocated belowground when compared to other Cerrado grasslands and there is an important difference in plant investment in this compartment between the areas. Furthermore, we observed a concentration of roots in the soil's first 10 cm when compared to the following layers and few root trait variation between the study areas. Vegetation of these environments are investing in roots biomass as a strategy to persist and tolerate ecological filters such as waterlogging period and fire regime, and also edaphic characteristics. This study was the first to quantify root functional traits in wet grasslands of Cerrado and constitute an important knowledge to its conservation.

**Keywords:** Absorption roots; Belowground; Root depth; Tropical wet grasslands.

## SUMÁRIO

|       |                                                                    |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUÇÃO.....                                                    | 1  |
| 2     | OBJETIVOS.....                                                     | 6  |
| 3     | MATERIAL E MÉTODOS.....                                            | 7  |
| 3.1   | Área de estudo.....                                                | 7  |
| 3.2   | Metodologia.....                                                   | 10 |
| 3.2.1 | <i>Amostragem de biomassa aérea e subterrânea.....</i>             | 10 |
| 3.2.2 | <i>Mensuração dos atributos funcionais de raízes.....</i>          | 11 |
| 3.3   | Análise dos dados.....                                             | 12 |
| 4     | RESULTADOS.....                                                    | 14 |
| 4.1   | Variação de biomassa e de alocação de biomassa entre as áreas..... | 14 |
| 4.2   | Profundidade.....                                                  | 17 |
| 4.3   | Atributos funcionais.....                                          | 18 |
| 5     | DISCUSSÃO.....                                                     | 20 |
| 6     | CONCLUSÃO.....                                                     | 23 |
| 7     | REFERÊNCIAS.....                                                   | 24 |

## 1 INTRODUÇÃO

Atributos funcionais são características morfológicas, fisiológicas e fenológicas de um organismo que indiretamente afetam seu *fitness*, uma vez que impactam seu crescimento, reprodução e sobrevivência (VIOLLE et al, 2007). A utilização dos atributos funcionais para entender e descrever padrões ecológicos propicia uma maior capacidade de previsão das respostas de comunidades vegetais e ecossistemas às mudanças ambientais (SHIPLEY et al, 2016). Porém, grande parte dos estudos que utilizam essa abordagem dedicam-se a atributos aéreos (LALIBERTÉ, 2016). Bardgett et al (2014) demonstraram a importância de colocar os atributos subterrâneos em foco, uma vez que podem ajudar a explicar a composição das comunidades de plantas e afetam também uma série de processos ecossistêmicos, como os ciclos biogeoquímicos.

Os atributos morfológicos, químicos e fisiológicos de raízes finas são alguns dos atributos funcionais subterrâneos que influenciam esses processos ecossistêmicos (BARDGETT et al, 2014). Raízes finas são aquelas menores que 2 mm de diâmetro e podem ser funcionalmente classificadas em raízes de absorção e de transporte (MCCORMACK et al, 2015). A primeira classe está relacionada com a aquisição de recursos do solo, atuando no fornecimento de água e nutrientes para fotossíntese, crescimento e manutenção da planta; a segunda, por sua vez, encarrega-se do transporte e armazenamento temporário de recursos, além de contribuir com a ancoragem e suporte da planta (MCCORMACK et al, 2015).

Os atributos funcionais de raízes finas variam de acordo com condições climáticas, propriedades físicas e químicas do solo e também de acordo com a forma de crescimento das plantas (FRESCHET et al, 2017). Atributos de raízes respondem rapidamente às mudanças globais e, assim sendo, essas respostas podem afetar processos ecossistêmicos, como o ciclo do carbono, a ciclagem de nutrientes e a estabilidade estrutural do solo (BARDGETT et al, 2014; PUGNAIRE et al, 2019; BARDGETT & CARUSO, 2020). Por exemplo, a entrada de carbono no solo é mediada não só pela decomposição da serapilheira, mas também pela decomposição de raízes mortas (DE DEYN et al, 2008). Atributos como densidade do comprimento da raiz e profundidade de enraizamento vão variar significativamente de acordo com fertilidade do solo e disponibilidade de água. Ao

mesmo tempo esses atributos estão relacionados com o ciclo do carbono e portanto ao estoque de C no solo (DE DEYN et al, 2008), bem como atributos relacionados com a longevidade da raiz (comprimento específico, proporção nitrogênio:carbono, concentrações de lignina e celulose da raiz). A ciclagem de nutrientes, por sua vez, relaciona-se principalmente com a exsudação de raízes, responsável por modular a disponibilidade de nutrientes, mas também com variações na composição química e biomassa das raízes (BARDGETT et al, 2014). Já no caso da formação e estabilidade estrutural do solo, atributos morfológicos dos sistemas radiculares podem reduzir a perda de solo por erosão, uma vez que afetam diretamente sua densidade e porosidade (GYSSELS, 2005; LOADES et al, 2010).

Além dos atributos funcionais de raízes, a distribuição de biomassa entre os componentes aéreos e subterrâneos também fornece informações importantes para compreender estratégias das plantas (FRESCHET et al, 2013). Fatores limitantes para as plantas, como disponibilidade de luz e de nutrientes influenciam diretamente a alocação de biomassa ao longo da planta (POORTER et al, 2012). A alocação de biomassa no compartimento subterrâneo, por exemplo, consiste em uma estratégia de persistência das plantas em ambientes em que estão sujeitas a estresses e distúrbios recorrentes, assim como baixa disponibilidade de nutrientes no solo (OTTAVIANI et al, 2020). A avaliação da distribuição de biomassa entre os diferentes compartimentos subterrâneos (aquisitivo e não-aquisitivo) também possibilita o entendimento de estratégias relacionadas com economia de recursos, persistência no ambiente e tolerância a estresses (KLIMESOVA et al, 2018). A alocação de biomassa no compartimento subterrâneo ainda é subestimada em diferentes tipos de vegetação. Isso pode levar, entre outros, à imprecisão de estimativas de fluxo e sequestro de carbono a nível de ecossistema, impactando por sua vez as estimativas globais (ROBINSON, 2007). Assim sendo, não considerar o compartimento subterrâneo nos estudos de comunidades vegetais pode acarretar no enviesamento dos resultados, especialmente em ecossistemas abertos e sujeitos a distúrbios, como as savanas (OTTAVIANI et al, 2020).

Os sistemas savânicos são marcados pela sazonalidade do regime de chuvas, pelos regimes de fogo, assim como pelo mosaico de solos com diferentes composições e texturas (OLIVEIRA-FILHO & RATTER, 2002). Enquanto a sazonalidade acarreta na dessecação das partes aéreas das plantas durante a

estação seca, o fogo frequentemente remove as partes aéreas das plantas nas savanas (COUTINHO, 1982). Assim, o armazenamento de recursos nas partes subterrâneas e o rebrotamento a partir de órgãos subterrâneos são importantes atributos funcionais para a persistência das plantas nesses ambientes (PAUSAS et al, 2018; PILON et al, 2021; ZUPO et al, 2021; SIMPSON et al, 2021). Desta forma, há uma tendência na alocação de biomassa nos compartimentos subterrâneos nesses tipos de vegetação (OTTAVIANI et al, 2020).

O Cerrado é formado por um mosaico de fisionomias, que variam desde campos até florestas, incluindo vegetações savânicas (COUTINHO, 1978; COUTINHO, 2006; OLIVEIRA FILHO & RATTER, 2002). Dentre as fisionomias campestres, estão os campos limpos, campos sujos e campos rupestres (RIBEIRO & WALTER, 2008). Devido a particularidades topográficas e edáficas, os campos limpos e os campos sujos podem ser classificados em três subtipos: seco, úmido e com murundus. No caso dos campos úmidos, o lençol freático é alto e os solos mal drenados, o que aumenta a umidade do solo (RIBEIRO & WALTER, 2008). Dessa forma, os campos úmidos contrastam com as outras fisionomias no que diz respeito à disponibilidade de água, pois o solo permanece saturado e até alagado durante todo o ano ou durante a maior parte dele (CIANCIARUSO & BATALHA, 2007).

Além disso, as fisionomias do Cerrado apresentam diferentes padrões de distribuição de biomassa, sendo que campos limpos apresentam razão biomassa subterrânea/biomassa aérea de cerca de 5,6, campos sujos de 7,7 e campos cerrados de 2,6 (CASTRO & KAUFFMAN, 1998). Já a distribuição de biomassa em campos úmidos foi observada pela primeira vez por Fidelis et al (2013), apresentando razão biomassa subterrânea/biomassa aérea menor em campos úmidos ( $<1$ ) do que nas outras vegetações campestres. A baixa razão em campos úmidos é principalmente devido à menor presença de órgãos subterrâneos e a alta produção de biomassa aérea, sendo a biomassa subterrânea composta majoritariamente por raízes (FIDELIS et al, 2013).

Os campos úmidos são importantes para o ciclo da água, uma vez que filtram e armazenam água da chuva, disponibilizando corpos d'água superficiais de maneira contínua ao longo do ano (CIANCIARUSO & BATALHA, 2007; DURIGAN et al, 2022). Essa vegetação também tem papel importante na manutenção da diversidade regional, uma vez que apresenta aspectos florísticos únicos, com alta diversidade e

uma flora altamente especializada (CIANCIARUSO & BATALHA, 2007). Além disso, áreas cujo solo permanece saturado ou alagado durante boa parte do ano são especialmente importantes para o ciclo do carbono: em decorrência da saturação do solo, o oxigênio torna-se um fator limitante para os microrganismos ali presentes, favorecendo processos anaeróbicos, como a metanogênese e a desaceleração do processo de decomposição da matéria orgânica (KELLER, 2011; MOOR et al, 2017).

Nessas áreas, a saturação ou inundação do solo é um fator de estresse para as plantas. A formação de aerênquima, isto é, de câmaras preenchidas com gás que permitem o transporte de oxigênio dos ramos para as raízes, é um atributo importante para tolerar esse estresse (COLMER & VOESENEK, 2009). Além deste, outros atributos funcionais de raízes também são influenciados por inundações, respondendo de maneira independente dos atributos aéreos, como demonstrado em campos úmidos temperados (MOOR et al, 2017; PURCELL et al, 2019). O teor de massa seca da raiz (RDMC), a intensidade de ramificação e a densidade do tecido radicular (RTD) reduzem conforme a duração da inundação aumenta, promovendo vantagens adaptativas para tal condição ambiental: menor RDMC compensa a diminuição da integridade estrutural dos tecidos radiculares em decorrência da formação do aerênquima, aumentando o turgor do tecido radicular e promovendo rigidez, por exemplo (PURCELL et al, 2019). Alguns estudos também demonstraram aumento de comprimento específico da raiz (SRL) em solos inundados (SHI et al, 2015) e em solos saturados (THORNE & FRANK, 2008), enquanto outros encontraram pouca relação entre esses fatores (PURCELL et al, 2019; RYSER et al, 2011). Além disso, algumas espécies típicas de ambientes campestres temperados alagados alocam mais biomassa no compartimento aéreo (SHI et al, 2015; RYSER et al, 2011) e produzem raízes menos profundas do que quando submetidas a solos bem drenados (RYSER et al, 2011). A condição anoxigênica do solo saturado reduz a disponibilidade de nutrientes, o que poderia acarretar em atributos subterrâneos que aumentam a capacidade de aquisição de nutrientes, como alta proporção de raízes de absorção, alto SRL e baixo RTD (MOOR et al, 2017). Pouco se sabe, porém, sobre as características de tais atributos em campos úmidos tropicais.

Portanto, compreender como a biomassa é distribuída nos compartimentos aéreos e subterrâneos e caracterizar os atributos funcionais de raízes em campos úmidos do Cerrado pode auxiliar no entendimento dos diferentes processos

ecossistêmicos nesta fisionomia, contribuindo para a consolidação de um conhecimento de base importante para sua conservação.

## 2 OBJETIVOS

No âmbito de oferecer um primeiro trabalho exploratório do compartimento subterrâneo de campos úmidos, o presente trabalho teve por objetivo avaliar (1) a distribuição de biomassa entre as partes aéreas e subterrâneas, (2) a distribuição de biomassa de raízes por profundidade até 30 cm, (3) os atributos funcionais de raízes (SRL, RTD, RDMC, RLD e diâmetro médio) e (4) se existe uma homogeneidade na alocação de biomassa, na distribuição de raízes ao longo do gradiente de profundidade do solo e na distribuição de atributos funcionais de raízes entre cinco campos úmidos do Cerrado. Assim, hipotetiza-se que:

1. A razão entre biomassa subterrânea/aérea será  $<1$ , uma vez que há menor presença de órgãos subterrâneos e maior produtividade de biomassa aérea em campos úmidos (FIDELIS *et al*, 2013) e menor alocação de biomassa no compartimento subterrâneo em locais cujo solo é alagado por um longo período do ano (SHI *et al*, 2015; RYSER *et al*, 2011);
2. As raízes estarão concentradas nas camadas mais superficiais do solo, já que gramíneas possuem sistemas radiculares pouco profundos (FEBRUARY & HIGGINS, 2010), e que solos alagados favorecem tal característica (RYSER *et al*, 2011);
3. Investimento em atributos de raízes que favorecem a aquisição de recursos, como alto SRL e baixo RTD, visto que há redução de disponibilidade de nutrientes na condição anoxigênica de solos saturados (MOOR *et al*, 2017);
4. Os campos úmidos apresentarão uma homogeneidade na alocação de biomassa, na distribuição de raízes ao longo do perfil de solo e na distribuição de atributos funcionais de raízes entre os campos úmidos, já que os fatores ambientais controlando o estabelecimento das espécies nesse ambiente (nutriente e período de alagamento) devem levar às mesmas estratégias de uso e de alocação de recursos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A coleta da biomassa aérea e subterrânea foi realizada em três Unidades de Conservação do estado de São Paulo: Estação Ecológica de Itirapina (EEI), Estação Ecológica de Santa Bárbara (EESB) e Floresta Estadual de Botucatu (FEB). O material foi coletado em cinco diferentes áreas de campos úmidos, sendo duas na Estação Ecológica de Itirapina, duas na Estação Ecológica de Santa Bárbara e uma na Floresta Estadual de Botucatu (Tabela 1, Figura 1).

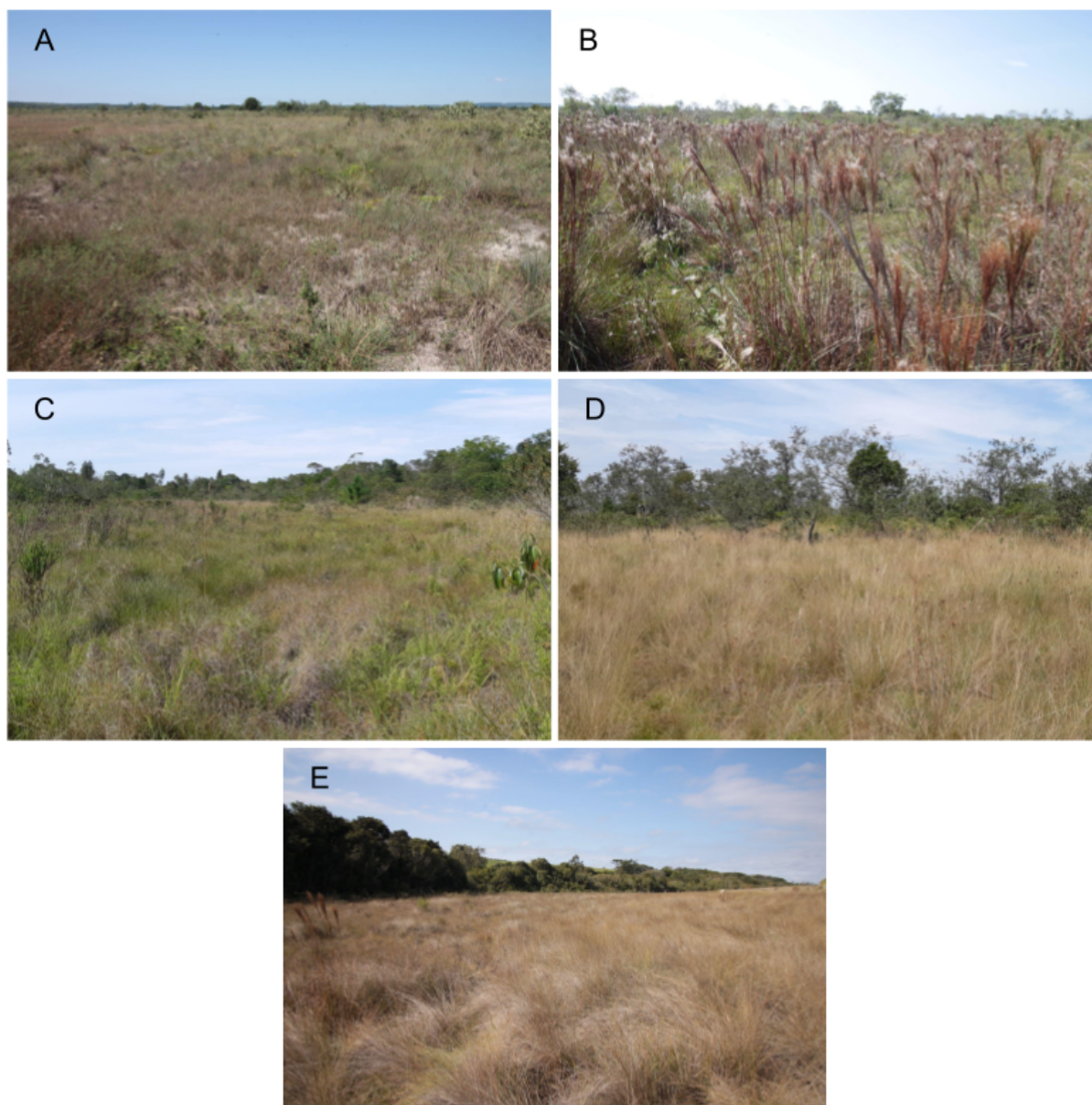
As áreas são compostas majoritariamente por vegetação de Cerrado, com predominância de fisionomias abertas: campo sujo, campo úmido, campo cerrado e campo limpo (ZANCHETTA *et al*, 2006; DE MELO *et al*, 2011). Os campos úmidos são formações herbáceo-arbustivas que ocorrem em terrenos periodicamente ou permanentemente encharcados (Figura 2). Os gradientes de umidade sobre os quais se estabelecem determinam os aspectos florísticos e fisionômicos da vegetação (TANNUS & ASSIS, 2005). Dessa forma, em campos úmidos predominam espécies de gramíneas tolerantes à saturação hídrica do solo, assim como representantes das famílias Cyperaceae, Eriocaulaceae e Xyridaceae (ZANCHETTA *et al*, 2006, TANNUS & ASSIS, 2005).

Tabela 1 - Coordenadas geográficas, área, clima, temperatura média anual, temperatura média máxima e mínima, precipitação média anual, altitude, tipo de solo das Unidades de Conservação (UC) estudadas: EEI - Estação Ecológica de Itirapina; EESB - Estação Ecológica de Santa Bárbara; FEB - Floresta Estadual de Botucatu.

| UC   | Coordenadas                                             | Área<br>(ha) | Altitude<br>(m) | Clima                                                     | Temperatura<br>média anual<br>(°C) | Temperatura<br>média<br>máxima (°C) | Temperatur<br>a média<br>mínima (°C) | Precipitação<br>média anual<br>(mm) | Tipo de<br>solo                                | Coordenadas<br>dos pontos de<br>coleta |
|------|---------------------------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|
| EEI  | 22° 11' - 22° 15' S                                     | 2.300        | 710-830         | Cwa - subtropical                                         | 21,9                               | 24,9                                | 17,8                                 | 1.459                               | Gleissolos                                     | 22°22'31.5"S -<br>47°90'32.2"O         |
|      | 47° 51' - 48° 00' O                                     |              |                 | de inverno seco<br>e verão quente                         |                                    |                                     |                                      |                                     |                                                | 22°24'00.0"S -<br>47°89'16.2"O         |
| EESB | 22° 48' 59" S                                           | 3.154        | 600-680         | Cwa - subtropical                                         | 20,9                               | 22                                  | 18                                   | 1.424                               | Latossolo<br>vermelho<br>amarelo               | 22°78'05.0"S -<br>49°24'56.4" O        |
|      | 49° 14' 12" O                                           |              |                 | de inverno seco<br>e verão quente                         |                                    |                                     |                                      |                                     |                                                | 22°78'21.3"S -<br>49°24'84.8"O         |
| FEB  | 22° 55' 58"-22 56'<br>41" S<br>48°27'21"-48°27'35"<br>O | 33,8         | 856             | Cwa –<br>subtropical de<br>inverno seco e<br>verão quente | 19,4                               | -                                   | -                                    | 1.314                               | Latossolo<br>vermelho,<br>Gleissolo<br>háplico | 22.94'13.3"S -<br>48°45'77.7"O         |

Fonte: ZANCHETTA *et al*, 2006; DE MELO *et al*, 2011

Figura 1 – Áreas de campo úmido estudadas na Estação Ecológica de Itirapina (A - Itirapina 1, e B - Itirapina 2), Estação Ecológica de Santa Bárbara (C - Santa Bárbara 1, e D - Santa Bárbara 2) e Floresta Estadual de Botucatu (E - Botucatu) no estado de São Paulo.



Fonte: Soizig Le Stradic (2018)

Figura 2 – Solo encharcado após coleta em campo úmido na Floresta Estadual de Botucatu - SP.



Fonte: Soizig Le Stradic (2018)

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Amostragem de biomassa aérea e subterrânea

Em cada uma das cinco áreas de campos úmidos estudadas foram selecionadas aleatoriamente três parcelas circulares de 80 cm de diâmetro, representando 0.5 m<sup>2</sup> de área (5 áreas de campos úmidos x 3 unidades amostrais/área = 15 unidades amostrais). Toda a biomassa aérea das parcelas foi cortada ao nível do solo e coletada, sendo posteriormente acondicionadas em sacos de papel. A biomassa aérea foi levada para o laboratório e armazenada em local seco. Este material foi separado em biomassa morta e viva, sendo que a última foi separada entre as formas de crescimento (gramíneas, herbáceas, arbustos e palmeiras). Por fim, a biomassa viva e morta foram submetidas à secagem em estufa a 80°C por 48h e posteriormente à pesagem.

As amostras subterrâneas foram coletadas com a utilização de um trado de 5 cm de diâmetro (Figura 3A). No meio de cada parcela foram coletados 7 núcleos de solo em diferentes profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm), totalizando 45 núcleos de solo (5 áreas de campos úmidos x 3 unidades amostrais/área x 3 profundidades = 45 núcleos de solo). Os núcleos foram posteriormente armazenados em freezer até o momento da triagem.

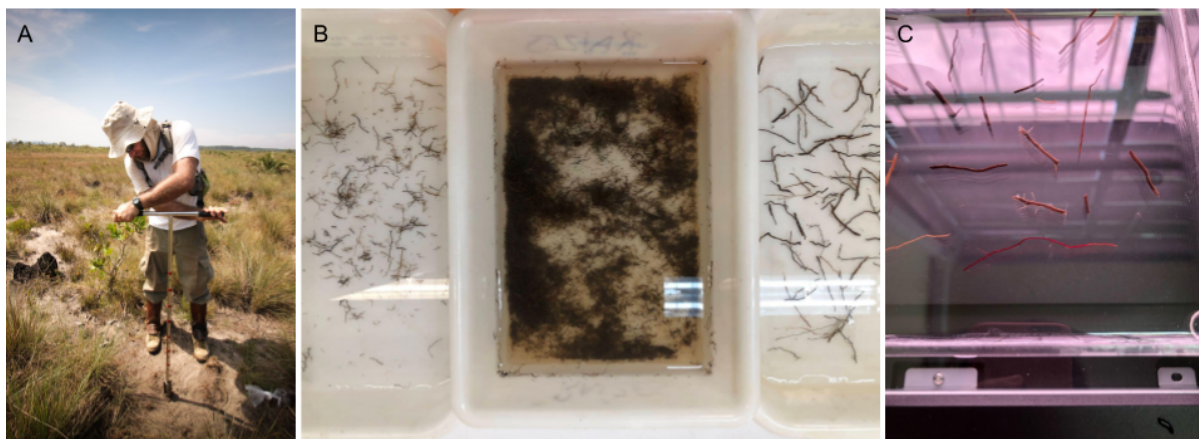
Os núcleos de solo foram descongelados e as raízes manualmente separadas do solo. As raízes foram classificadas em: raízes grossas, com mais de 2 mm de diâmetro; raízes finas, com menos de 2 mm de diâmetro. As raízes grossas foram lavadas em água e eventuais raízes finas anexadas foram separadas e colocadas junto às demais. As raízes finas foram lavadas com água com o auxílio de peneiras de 1.0, 0.88 e 0.22 mm e separadas entre raízes de absorção e de transporte, como descrito por McCormack *et al* (2015, Figura 3B).

A alocação de biomassa foi estimada através da razão biomassa total de raízes (finas e grossas, de todas as profundidades) e a biomassa aérea total (razão raiz/ramo). Além disso, a proporção de raízes de absorção foi estimada através da razão entre a massa seca de raízes de absorção e a massa seca total das raízes finas, para todas as profundidades (0 - 30 cm).

### 3.2.2 *Mensuração dos atributos funcionais de raízes*

Para medir os atributos morfológicos, foram utilizadas as raízes de absorção coletadas a 0-10 cm de profundidade. As raízes foram escaneadas em scanner EPSON Perfection V800 (Copyright© 2015 Epson America, Inc.) em resolução de 1200dpi, utilizando-se bandejas de acrílico transparente e água para evitar a sua sobreposição (BOUMA *et al*, 2000; PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al*, 2013) (Figura 3C). Em seguida, as subamostras foram pesadas (peso fresco) e submetidas à secagem em estufa a 60°C por 72h e novamente pesadas para determinar seu peso seco. Para acessar o volume, diâmetro e comprimento das raízes, analisamos as imagens escaneadas com o software WinRhizo versão 2021 (Regent Instruments Inc.).

Figura 3 – A) Coleta dos núcleos de solo em uma área de campo úmido na Estação Ecológica de Itirapina - SP; B) Separação de raízes finas em raízes de absorção (bandeja da esquerda) e raízes de transporte (bandeja da direita); C) Raízes de transporte em bandeja de acrílico e água para escanear.



Fonte: A) Soizig Le Stradic (2018); B) e C) Letícia Pereira Giacom (2022).

Depois da análise das imagens, estimamos os seguintes atributos funcionais: a densidade do tecido radicular (*root tissue density*, RTD,  $\text{g/cm}^3$ ) dada pela razão entre a massa seca da raiz e o volume da raiz; o comprimento específico da raiz (*specific root length*, SRL,  $\text{m/g}$ ) dado pela razão entre o comprimento da raiz e a massa seca da raiz; a densidade do comprimento da raiz (*root length density*, RLD,  $\text{cm/cm}^3$ ) dada pela massa seca por unidade de volume de solo ( $\text{g/m}^3$ ) multiplicada pelo SRL; conteúdo de matéria seca da raiz (*root dry matter content*, RDMC,  $\text{mg/g}$ ) dado pela razão entre a massa seca e a massa fresca da raiz.

### 3.3 Análise dos dados

Para testar potenciais diferenças entre as cinco áreas de campo úmido nas variáveis de biomassa medidas (biomassa total de raízes, biomassa de raízes de absorção, biomassa de raízes de transporte, razão raiz:ramo, proporção de raízes de absorção, biomassa total do compartimento aéreo, biomassa viva, biomassa morta, biomassa de gramíneas, biomassa de arbustos, biomassa de herbáceas) e de atributos de raízes (SRL, RTD, RDMC, RLD e diâmetro médio), foi testada a normalidade e a homocedasticidade dos dados e foram posteriormente realizadas análises de variância de um fator (ANOVA). Quando foi identificada diferença significativa entre as variáveis, foi realizado o teste *post-hoc* de Tukey. Quando os dados não seguiam a distribuição normal ou quando não havia homogeneidade na

variância, os dados foram transformados via log (biomassa de raízes de transporte, razão raiz ramo e proporção de raízes de absorção). No caso do RTD, mesmo com a transformação dos dados, não foi possível aplicar ANOVA, então foi realizado o teste de Kruskal-Wallis. Já para avaliar a distribuição de biomassa de raízes nas diferentes profundidades foi realizado um Modelo Linear Generalizado Misto (GLMM), sendo o fator fixo a profundidade e o fator aleatório o plot. A simplificação do modelo foi realizada para identificar qual era o melhor modelo.

As análises foram feitas com o software R versão 4.2.2 (R Core Team, 2022), utilizando os pacotes glmmTB (BROOKS et al, 2017), ggplot2 (WICKHAM, 2016) e Psych (REVELLE, 2020).

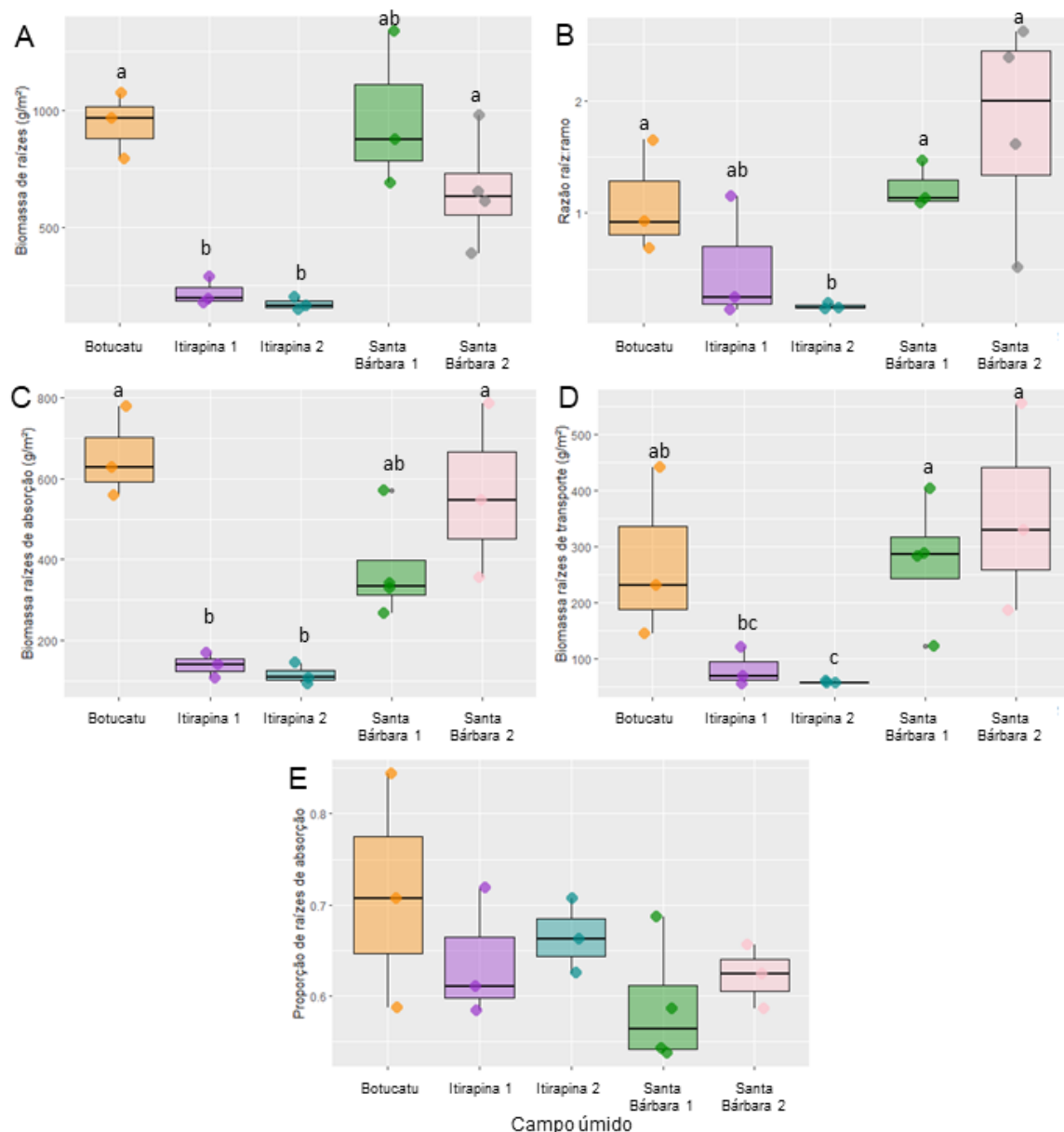
## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Variação de biomassa e de alocação de biomassa entre as áreas**

A biomassa total de raízes apresentou diferença significativa entre as cinco áreas de campo úmido estudadas ( $F= 10,7$ ;  $p< 0,001$ , Figura 4A), assim como a razão raiz:ramo ( $F= 6,8$ ;  $p= 0,005$ ; Fig. 4B), a biomassa de raízes de absorção ( $F= 11,1$ ;  $p< 0,001$ ; Fig. 4C) e a biomassa de raízes de transporte ( $F= 8,9$ ;  $p= 0,001$ ; Fig. 4D). Os campos úmidos da Estação Ecológica de Itirapina apresentaram os menores valores para biomassa de raízes, tanto para biomassa total, quanto para a biomassa das duas categorias de raízes finas (absorção e transporte).

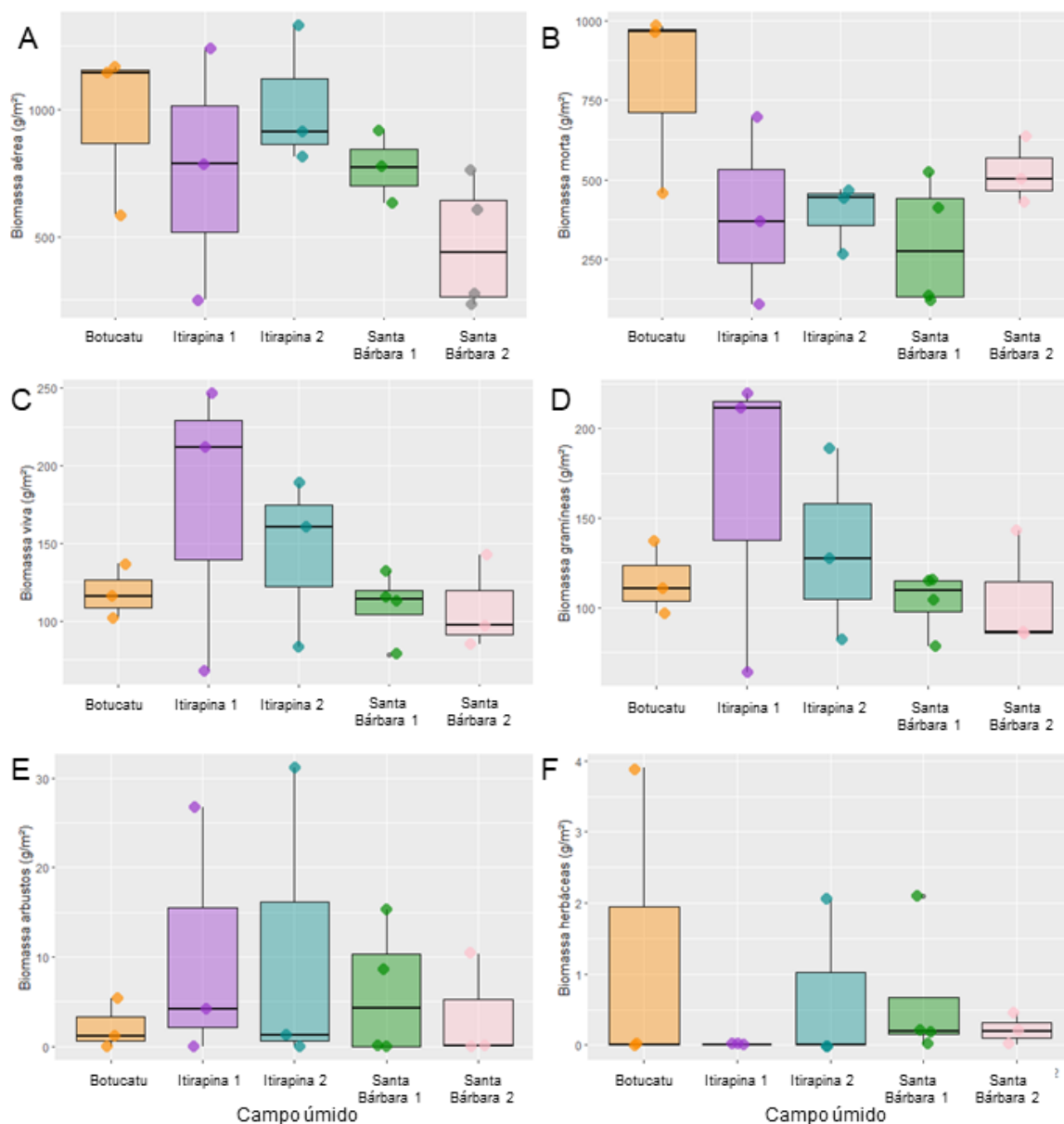
A proporção de raízes de absorção, por sua vez, não exibiu diferenças significativas entre as áreas estudadas ( $p= 0,33$ ; Fig. 4E). Da mesma forma, a biomassa aérea total, viva, morta, de gramíneas, de arbustos e de herbáceas não apresentaram diferença significativa entre nenhuma das áreas de campo úmido (Fig. 5). A porcentagem média entre todas as áreas de campo úmido de biomassa de gramíneas em relação à biomassa viva foi de 94%, de arbustos 4% e de herbáceas de 0,4%.

Figura 4 – Boxplot de biomassa de raízes e de razão raiz:ramo em áreas de campo úmido (Floresta Estadual de Botucatu, Estação Ecológica de Itirapina e Estação Ecológica de Santa Bárbara) em São Paulo: A) Biomassa total de raízes, B) Razão raiz:ramo, C) Biomassa de raízes de absorção, D) Biomassa de raízes de transporte, e E) Proporção de raízes de absorção. Os limites superiores e inferiores das retas correspondem aos valores máximo e mínimo, os limites superiores e inferiores das caixas referem-se ao terceiro e primeiro quartil e a linha horizontal na caixa representa a mediana. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre campos úmidos para as médias dos dados de acordo com os testes *post-hoc* de Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 5 – Boxplot de biomassa do compartimento aéreo em áreas de campo úmido (Floresta Estadual de Botucatu, Estação Ecológica de Itirapina e Estação Ecológica de Santa Bárbara) em São Paulo: A) Biomassa aérea total, B) Biomassa morta, C) Biomassa viva, D) Biomassa de gramíneas, E) Biomassa de arbustos e F) Biomassa de herbáceas. Os limites superiores e inferiores das retas correspondem aos valores máximo e mínimo, respectivamente; os limites superiores e inferiores das caixas referem-se ao terceiro e primeiro quartil; a linha horizontal na caixa representa a mediana. Não foi observada diferença entre os campos úmidos.

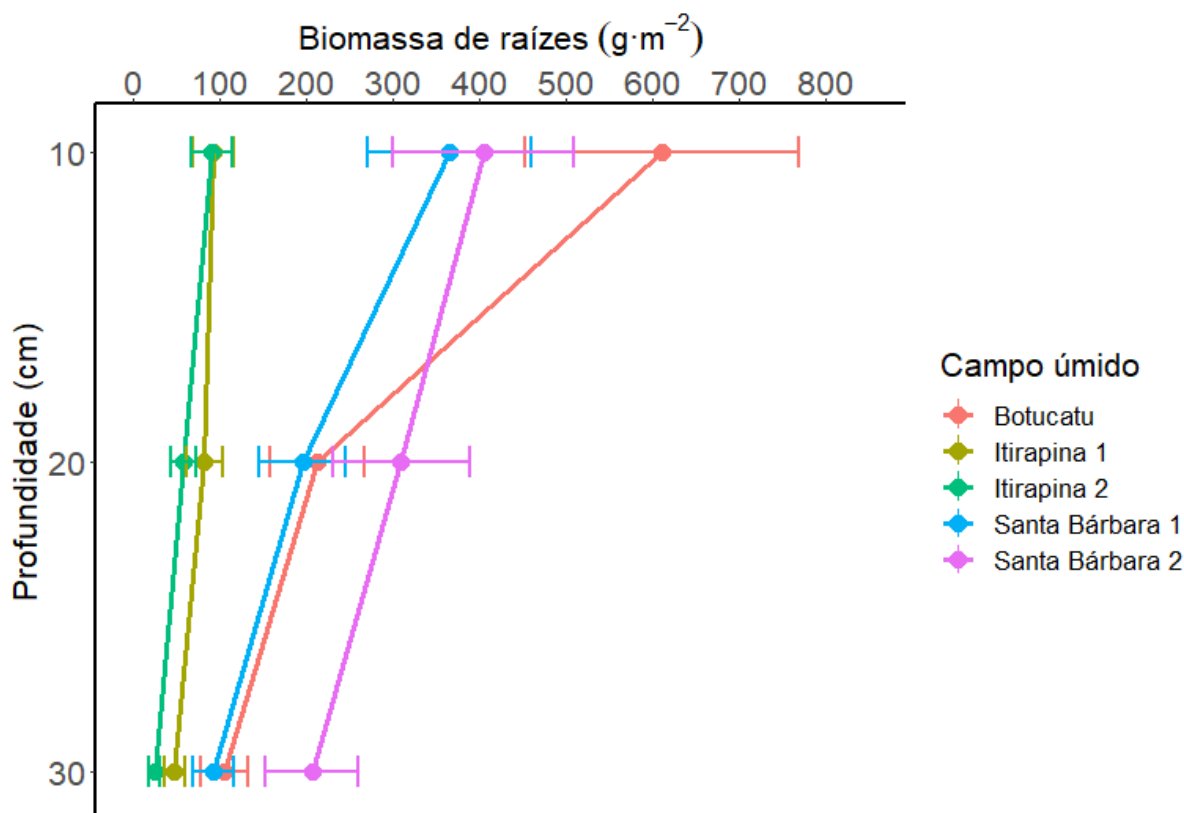


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## 4.2 Profundidade

O padrão de distribuição de biomassa total de raízes nas diferentes profundidades foi diferente entre os campos úmidos estudados: existe uma interação entre profundidade e áreas (Figura 6, Tabela 2). Em Botucatu 66% da biomassa de raízes encontra-se na camada mais superficial do solo (0 - 10cm). Nesta área também observamos a maior variação entre biomassa e profundidade do solo (Figura 6). Santa Bárbara 1 e 2 e Itirapina 1 e 2 também apresentaram variação na biomassa de raízes de acordo com a profundidade, em que a maior concentração de raízes também se deu na camada mais superficial do solo (0 - 10cm). Porém, Itirapina 1 e 2 apresentaram a menor amplitude de variação quando comparada às outras áreas de estudo (Figura 6, Tabela 2).

Figura 6 – Média da biomassa total de raízes de campos úmidos (Floresta Estadual de Botucatu, Estação Ecológica de Itirapina e Estação Ecológica de Santa Bárbara) do estado de São Paulo em função da profundidade (10, 20 e 30cm). Barras de erro indicam o erro padrão.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 2 – Parâmetros e valores de p estimados usando um Modelo Linear Generalizado Misto explicando a distribuição de biomassa de raízes por profundidade em campos úmidos do estado de São Paulo.

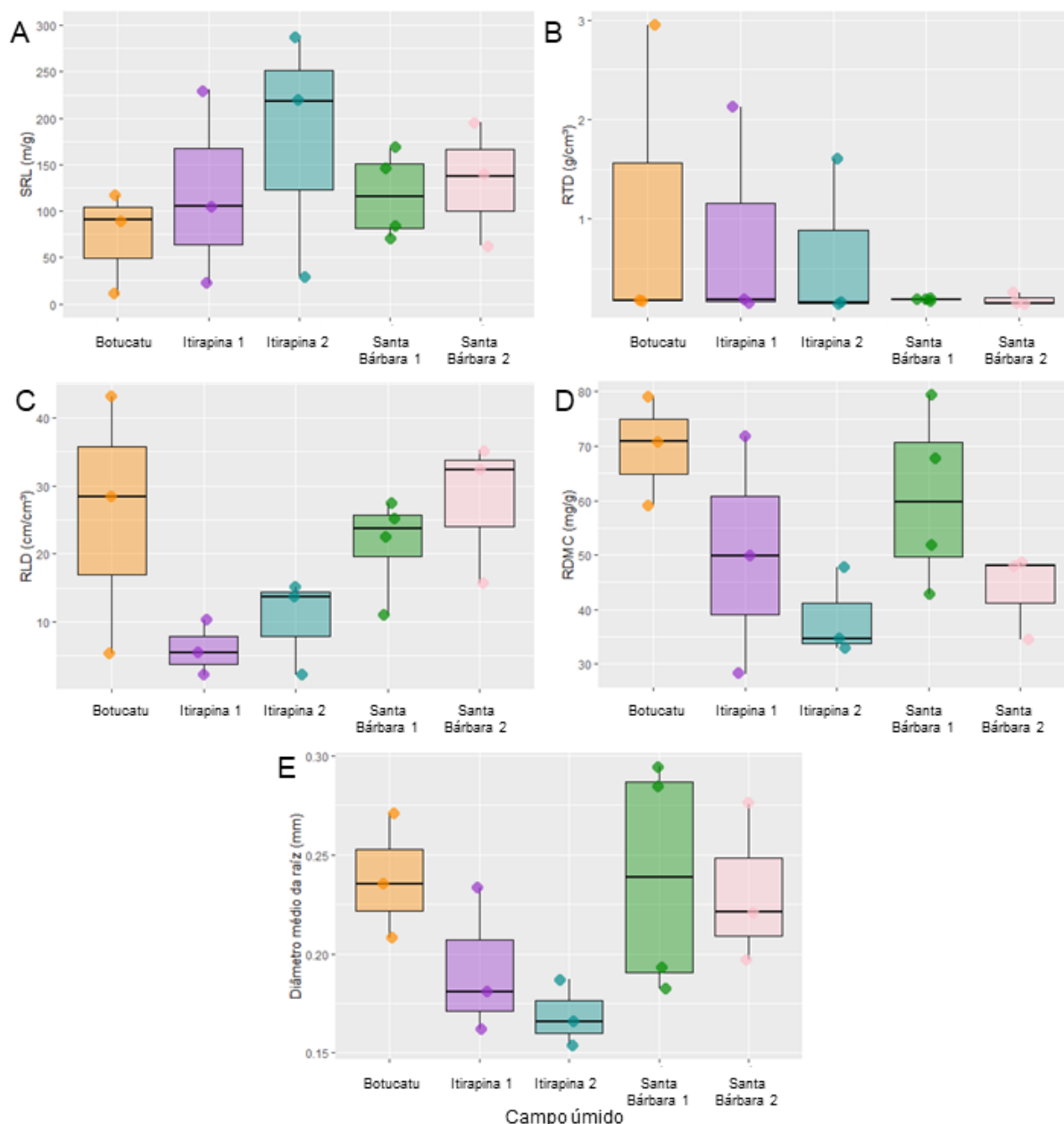
|                                        | <b>Estimativas</b> | <b>p-valor</b> |
|----------------------------------------|--------------------|----------------|
| Intercept                              | 1598,86            | <0,001         |
| Ponto (Itirapina 1)                    | -1368,3            | <0,001         |
| Ponto (Itirapina 2)                    | -1356,98           | <0,001         |
| Ponto (Santa Bárbara 1)                | -637,09            | <0,001         |
| Ponto (Santa Bárbara 2)                | -607,79            | 0,001          |
| Profundidade                           | -49,59             | <0,001         |
| Ponto (Itirapina 1) x Profundidade     | 45,26              | <0,001         |
| Ponto (Itirapina 2) x Profundidade     | 43,15              | <0,001         |
| Ponto (Santa Bárbara 1) x Profundidade | 22,81              | 0,002          |
| Ponto (Santa Bárbara 2) x Profundidade | 30,13              | <0,001         |

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 4.3 Atributos funcionais

Os atributos funcionais de raízes de absorção (SRL, RTD, RDMC, RLD e diâmetro médio) não apresentaram diferenças significativas entre os campos úmidos ( $p > 0,05$ , Figura 7).

Figura 7 – Boxplot de atributos funcionais das áreas de campo úmido (Floresta Estadual de Botucatu, Estação Ecológica de Itirapina e Estação Ecológica de Santa Bárbara) no estado de São Paulo: A) comprimento específico da raiz (SRL), B) densidade do tecido da raiz (RTD), C) densidade do comprimento da raiz (RDL), D) conteúdo de massa seca da raiz (RDMC) e E) diâmetro médio. Os limites superiores e inferiores das retas correspondem aos valores máximo e mínimo, respectivamente; os limites superiores e inferiores das caixas referem-se ao terceiro e primeiro quartil; a linha horizontal na caixa representa a mediana. Não foi observada diferença dos atributos avaliados entre campos úmidos.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## 5 DISCUSSÃO

O estudo de atributos funcionais de raízes e da dinâmica de alocação de biomassa fornecem informações importantes para o entendimento das estratégias das plantas e os efeitos dessas estratégias nos ecossistemas (FRESCHE et al, 2013). Sendo assim, o presente trabalho buscou caracterizar os atributos funcionais de raízes finas e a alocação de biomassa em campos úmidos do Cerrado no estado de São Paulo. Em contraste com o esperado, os resultados obtidos mostram uma variação na quantidade de biomassa subterrânea entre os diferentes campos úmidos, variação que deve ser levada em consideração quando se estuda campos úmidos do Cerrado. Demonstramos também uma menor tendência de alocação de biomassa no compartimento subterrâneo em campos úmidos em comparação a outras fisionomias abertas do Cerrado, uma maior concentração da biomassa de raízes nas camadas mais superficiais do solo e pouca variação nos atributos funcionais de raízes de absorção entre os campos úmidos.

Quando comparados a outras vegetações abertas do Cerrado, como campos sujos e campos limpos (CASTRO & KAUFFMAN, 1988), os campos úmidos apresentam menor tendência a alocar recursos no compartimento subterrâneo (FIDELIS et al, 2013). O presente estudo mostrou, assim como esperado, uma razão raiz:ramo igual ou muito próxima a 1. Já Le Stradic et al (2021) encontraram razão raiz:ramo de 5 para áreas de campo sujo, apesar de levarem em conta apenas a biomassa área viva não a total como consideramos neste estudo. Essa menor tendência em alocar biomassa no compartimento subterrâneo em ambientes alagados é frequentemente considerada uma resposta adaptativa à condição anoxigênica a que as raízes estão submetidas (VOESENEK et al, 1989; MOOR et al, 2017) e pode ser uma das explicações para o resultado obtido nesse estudo. Em consonância, alguns estudos com espécies de campos úmidos temperados demonstraram que quanto mais alto o nível da água, menos biomassa é direcionada para as raízes (SHI et al, 2015; RYSER et al, 2011, MOOR et al, 2017). Além disso, apesar de não amostrados nesse estudo, a menor proporção de órgãos subterrâneos em campos úmidos também contribui para redução da alocação de biomassa no compartimento subterrâneo (FIDELIS et al, 2013).

Os campos úmidos da Estação Ecológica de Itirapina apresentaram menor alocação de biomassa para o compartimento subterrâneo do que as outras áreas estudadas. Assim foi possível observar que em Itirapina 1 e 2 a biomassa de raízes foi menor que em Botucatu, Santa Bárbara 1 e Santa Bárbara 2, apesar de apresentar valor de biomassa aérea semelhante às outras áreas. Essas diferenças podem ser explicadas pela diferença na frequência de fogo encontrada entre as áreas. O fogo é um distúrbio frequentemente relacionado à maior alocação de biomassa no compartimento subterrâneo, removendo as partes aéreas das plantas, de forma que o rebrotamento a partir de órgãos subterrâneos e o investimento em raízes de absorção consistem em uma estratégia importante para a persistência dessas plantas em vegetações sujeitas ao fogo (COUTINHO, 1982; PILON et al, 2021; ZUPO et al, 2021; LE STRADIC et al., 2021). A Estação Ecológica de Itirapina pegou fogo com menos frequência do que EESB e FEB, sendo que a Floresta Estadual de Botucatu é a área que mais queima dentre as três. (CONCIANI et al, 2021). Em áreas com maior frequência de fogo, há maior investimento em biomassa subterrânea, enquanto áreas que não queimam frequentemente apresentam menor alocação de biomassa no compartimento subterrâneo (TEIXEIRA et al, 2022; ZHOU et al, 2022). Ademais, características edáficas e o período de alagamento, que não foram medidos no presente trabalho, são fatores que também influenciam na quantidade de biomassa do compartimento subterrâneo (RYSER et al, 2011; SHI et al, 2015).

A distribuição de biomassa de raízes em função da profundidade nos campos úmidos da EEI contrastou com a das outras áreas: EESB e principalmente FEB apresentaram uma maior concentração de raízes na camada mais superficial do solo (0 - 10cm), enquanto EEI mostrou uma distribuição mais homogênea. As diferentes frequências de fogo também podem explicar as diferenças encontradas. No caso de Botucatu, fogo recente poderia ser responsável para o acúmulo das raízes na camada mais superficial do solo, já que quanto menor o tempo desde a última queima e maior a frequência de fogo, observa-se uma maior concentração de raízes nas camadas mais superficiais do solo (LE STRADIC et al, 2021). Portanto, como a Estação Ecológica de Itirapina foi a que menos queimou dentre as três e a Floresta Estadual de Botucatu a que mais queimou, esse histórico de fogo pode explicar a

variação nos padrões de distribuição de biomassa de raízes ao longo do perfil do solo entre os campos úmidos.

Para além do fogo, a condição anoxigênica frequentemente encontrada em solos alagados/saturados pode influenciar a profundidade de enraizamento da vegetação, dificultando a formação de raízes mais longas capazes de alcançar estratos mais profundos (RYSER et al, 2011). O padrão encontrado nos campos úmidos Santa Bárbara 1, Santa Bárbara 2 e Botucatu pode estar relacionado a tal dificuldade. Outro fator que pode influenciar esse padrão de distribuição de raízes é a menor necessidade das plantas dessa vegetação de explorarem estratos mais profundos em busca de água, uma vez que em campos úmidos ela é abundante e superficial, mesmo durante a estação seca (MOOR et al, 2017). Ademais, a dominância de gramíneas nas vegetações campestres também constitui fator importante para esse padrão de distribuição de enraizamento, uma vez que possuem sistemas radiculares densos e pouco profundos (FEBRUARY & HIGGINS, 2010).

Apesar da variação de biomassa de raízes encontrada entre os campos úmidos do Cerrado, não foi observada diferença de atributos funcionais de raízes de absorção entre as áreas. A ausência de variação de atributos pode refletir estratégias comuns das comunidades e assim convergência de atributos de raízes para lidar com os solos alagados. Além disso, a dominância de gramíneas encontrada nas áreas estudadas pode ter grande influência nesse resultado, uma vez que é possível observar uma semelhança nos atributos mesmo entre diferentes espécies de gramíneas devido às suas específicas características anatômicas (ROUMET et al, 2016). A dominância de gramíneas pode favorecer os atributos relacionados com aquisição de recursos, típico de plantas com essa forma de crescimento (FRESCHET et al, 2017).

## **6 CONCLUSÃO**

O presente estudo é o primeiro a avaliar os atributos funcionais de raízes finas em campos úmidos do Cerrado. Aqui observamos que os atributos de raízes e a biomassa aérea não variam entre áreas de campos úmidos, mas que a biomassa subterrânea está sujeita a variação entre eles. Ressalta-se a importância de mais estudos para avaliar como essas características podem variar de acordo com a sazonalidade, o histórico de fogo, a estrutura da vegetação, as propriedades do solo e o regime de alagamento, uma vez que podem trazer novas perspectivas em relação ao funcionamento dessa vegetação tão pouco estudada. Assim, caminha-se em direção a uma compreensão mais completa sobre as dinâmicas de campos úmidos do Cerrado, evitando enviesamentos e possibilitando predições sobre como essas comunidades podem responder às mudanças climáticas e, consequentemente, fortalecendo vias para sua conservação.

## REFERÊNCIAS

- BARDGETT, R. D.; MOMMER, L.; DE VRIES, F. T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. **Trends in Ecology and Evolution**, vol. 29, n. 12, p. 692-699, 2014.
- BARDGETT R. D.; CARUSO T. Soil microbial community responses to climate extremes: resistance, resilience and transitions to alternative states. **Phil. Trans. R. Soc. B**, vol. 375, n. 1794, 2020.
- BOUMA, T. J.; NIELSEN, K. L.; KOUTSTAAL, B. Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. **Plant and Soil**, vol. 218, p. 185-196, 2000.
- BROOKS, M. E.; KRISTENSEN, K.; VAN BENTHEM, K. J.; MAGNUSSON, A.; BERG, C. W.; NIELSEN, A.; SKAUG, H. J.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B. M. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalised linear mixed modeling. **The R Journal**, vol. 9, p 378-400, 2017.
- CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A. A year in a Cerrado wet grassland: a non-seasonal island in a seasonal savanna environment. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 68, n. 3, p. 495-501, 2008.
- CONCIANI, D. E., PEREIRA, L., SANNA, T., SILVA, F., DURIGAN, G., ALVARADO, S. T. Human-climate interactions shape fire regimes in the Cerrado of São Paulo state , Brazil. **Journal of Nature Conservation**, vol. 61, 2021.
- COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 1, n.1, p. 17-23, 1978.
- COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 1, p 13-23, 2006.
- DE CASTRO, E. A.; KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, vol. 14, p. 263-283, 1998.
- DE DEYN, G.; CORNELISSEN, J.; BARDGETT, R. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. **Ecology Letters**, vol. 11, n. 5, p. 516-531, 2008.
- DE MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. *et al.* **Plano de Manejo - Estação Ecológica de Santa Bárbara**, 2011.
- DELITTI, W. B. C.; PAUSAS, J. G.; BURGER, D. M. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. **Annals of Forest Science**, vol. 58, p. 713-721, 2001.

DURIGAN, G., MUNHOZ, C. B., ZAKIA, M. J. B., OLIVEIRA, R. S., PILON, N. A. L., VALLE, R. S. T., WALTER, B. M. T., HONDA, E. A., POTT, A. Cerrado wetlands: multiple ecosystems deserving legal protection as a unique and irreplaceable treasure. **Perspectives in Ecology and Conservation**, vol. 20, p. 185-169, 2022.

FEBRUARY, E. C.; HIGGINS, S. I. The distribution of tree and grass roots in savannas in relation to soil nitrogen and water. **South African Journal of Botany**, vol. 76, n. 3, p. 517-523, 2010.

FIDELIS, A.; LYRA, M. F. S.; PIVELLO, V. R. Above- and below-ground biomass and carbon dynamics in Brazilian Cerrado wet grasslands. **Journal of Vegetation Science**, vol. 24, n. 2, p. 356-364, 2013.

FRESCHET, G. T. *et al.* Linking litter decomposition of above- and below-ground organs to plant-soil feedbacks worldwide. **Journal of Ecology**, vol. 101, n. 4, p. 943-952, 2013.

FRESCHET, G. T. *et al.* Climate, soil and plant functional types as drivers of global fine-root trait variation. **Journal of Ecology**, vol. 105, n. 5, p. 1182-1196, 2017.

GYSSSELS, G. *et al.* Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. **Prog. Phys. Geogr.**, vol. 29, p. 189–217, 2005.

KELLER, J. K. Wetlands and the global carbon cycle: what might the simulated past tell us about the future? **New Phytologist**, vol. 194, n. 4, p. 789-792, 2011.

KLIMESOVA, J.; MARTINKOVA, J.; OTTAVIANI, G. Belowground plant functional ecology: Towards an integrated perspective. **Functional Ecology**, vol. 32, n. 9, p. 2115-2126, 2018.

LALIBERTÉ, E. Below-ground frontiers in trait-based plant ecology. **New Phytologist**, vol. 213, n. 4, p. 1597-1603, 2016.

LOADES, K.W. *et al.* Planting density influence on fibrous root reinforcement of soils. **Ecol. Eng.**, vol. 36, p. 276-284, 2010.

MCCORMACK, M. L. *et al.* Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. **New Phytologist**, vol. 207, n. 3, p. 505-518, 2015.

MOOR, H.; RYDIN, H.; HYLANDER, K.; NILSSON, M. B.; LINDBORG, R.; NORBERG, J. Towards a trait-based ecology of wetland vegetation. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 6, p. 1623–1635, 2017.

OLIVEIRA-FILHO, A.; RATTER, J. A. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. *In*: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (org.) **The Cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002, p. 121-140.

OTTAVIANI, G. *et al.* The Neglected Belowground Dimension of Plant Dominance. **Trends in Ecology and Evolution**, vol. 35, p. 763-766, 2020.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. *et al.* New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, vol. 61, n. 3, p. 167-234, 2013.

PILON, N. A. L.; CAVA, M. G. B.; HOFFMANN, W. A.; ABREU, R. C. R.; FIDELIS, A.; DURIGAN, G. The diversity of post-fire regeneration strategies in the cerrado ground layer. **Journal of Ecology**, vol. 109, n. 1, p. 154– 166, 2021.

PUGNAIRE, F. I.; MORILLO, J. A.; PEÑUELAS, J.; REICH, P. B.; BARDGETT, R. D.; GAXIOLA, A.; VAN DER PUTTEN, W. H. Climate change effects on plant-soil feedbacks and consequences for biodiversity and functioning of terrestrial ecosystems. **Science Advances**, vol. 5, n. 11, 2019.

PURCELL, A. S. T.; LEE, W. G.; TANENTZAP, A. J.; LAUGHLIN, D. C. Fine Root Traits Are Correlated with Flooding Duration while Aboveground Traits Are Related to Grazing in an Ephemeral Wetland. **Wetlands**, v. 39, n. 2, p. 291–302, 2019.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, 2022.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, vol. 80, p. 223-230, 1997.

REVELLE, W. psych: Procedures for personality and psychological research. **Northwestern University**, 2020.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (org.) **Cerrado: ecologia e flora**. Embrapa Cerrados/Embrapa Informação Tecnológica, 2008, p. 151-212.

ROUMET, C.; BIROUSTE, M.; COCHARD, C. P.; GHESTEM, M.; OSMAN, N., BRENAS, S. V., CAO, K., STOKES, A. Root structure–function relationships in 74 species : evidence of a root economics spectrum related to carbon economy. **New Phytologist**, vol. 210, p. 815-826, 2016.

RYSER, P.; GILL, H. K.; BYRNE, C. J. Constraints of root response to waterlogging in *Alisma triviale*. **Plant and Soil**, v. 343, n. 1–2, p. 247–260, 2011.

SHI, F.; SONG, C.; ZHANG, X.; MAO, R.; GUO, Y.; GAO, F. Plant zonation patterns reflected by the differences in plant growth, biomass partitioning and root traits along a water level gradient among four common vascular plants in freshwater marshes of the Sanjiang Plain, Northeast China. **Ecological Engineering**, v. 81, p. 158–164, 2015.

SHIPLEY, B. *et al.* Reinforcing loose foundation stones in trait-based plant ecology. **Oecologia**, vol. 180, n. 4, p. 923-931, 2016.

SIMPSON, K. J. *et al.* Resprouting grasses are associated with less frequent fire than seeders. **New Phytologist**, vol. 230, p. 832-844, 2021.

TANNUS, J. L. S.; ASSIS, M. A. Composição de espécies vasculares de campo sujo e campo úmido em área de Cerrado, Itirapina - SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, vol. 27, n. 3, p.489-506, 2004.

TEIXEIRA, J.; SOUZA, L.; LE STRADIC, S.; FIDELIS, A. Fire promotes functional plant diversity and modifies soil carbon dynamics in tropical savanna. **Science of The Total Environment**, vol. 812, 2022.

THORNE, M. A.; FRANK, D. A. The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. **Plant Ecology**, v. 200, n. 2, p. 205–215, 2009.

VIOLLE, C.; NAVAS, M. L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, vol. 116, n. 5, p. 882-892, 2007.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant graphics for data analysis. **Springer-Verlag**, 2016.

ZANCHETTA, D. E. F. S. *et al.* **Plano de Manejo Integrado - Estações Ecológica e Experimental de Itirapina**, 2006.

ZHOU, Y. *et al.* Limited increases in savanna carbon stocks over decades of fire suppression. **Nature**, vol. 603, p. 445-449, 2022.

ZUPO, T.; DAIBES, L. F.; PAUSAS, J. G.; FIDELIS, A. Post-fire regeneration strategies in a frequently burned Cerrado community. **Journal of Vegetation Science**, vol. 32, n. 1, 2021.