

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**DANILO SILVA TEIXEIRA**

**EFEITO DA SECA NATURAL E INDUZIDA SOBRE REMODELAÇÃO DE  
ÁCIDOS GRAXOS DE PLANTAS NATIVAS E EXÓTICAS DE CERRADO**

**Ilha Solteira**

**2022**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Ilha Solteira

**DANILO SILVA TEIXEIRA**

**EFEITO DA SECA NATURAL E INDUZIDA SOBRE REMODELAÇÃO DE  
ÁCIDOS GRAXOS DE PLANTAS NATIVAS E EXÓTICAS DE CERRADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Mestre em  
Agronomia

Profa Dra Lucíola Santos Lannes

Orientadora

Profa Dra Crístiele da Silva Ribeiro

Co-orientadora

**Ilha Solteira**

**2022**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

T266e Teixeira, Danilo Silva.  
Efeito da seca natural e induzida sobre remodelação de ácidos graxos de plantas nativas e exóticas de Cerrado / Danilo Silva Teixeira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022  
52 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientadora: Lucíola Santos Lannes  
Coorientadora: Crístiele da Silva Ribeiro  
Inclui bibliografia

1. Fluidez de membrana. 2. Estresse hídrico. 3. Grupos funcionais. 4. Invasões biológicas. 5. Mudanças climáticas.

*Ruijane da Silva Santos*  
Ruijane da Silva Santos



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeito da seca natural e induzida sobre remodelação de ácidos graxos em plantas nativas e exóticas de Cerrado.

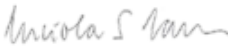
AUTOR: DANILO SILVA TEIXEIRA


ORIENTADORA: LUCÍOLA SANTOS LANNES


COORIENTADORA: ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO

COORIENTADORA: CRISTIÉLE DA SILVA RIBEIRO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. LUCÍOLA SANTOS LANNES (Participação Virtual)   
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profa. Dra. RENATA GUIMARÃES MOREIRA WHITTON (Participação Virtual)   
Departamento de Fisiologia Geral / Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências (IB/USP)

Profa. Dra. ANNA ABRAHÃO (Participação Virtual)   
Department of Soil Biology / University of Hohenheim

Ilha Solteira, 03 de maio de 2022

**Efeito da seca natural e induzida sobre remodelação de ácidos graxos de plantas nativas e exóticas de Cerrado**

Danilo Silva Teixeira\*, Cristiéle da Silva Ribeiro, Lucíola Santos Lannes

Universidade Estadual Paulista UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –  
Rua Monção 226, Zona Norte, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brazil

\*Autor para correspondência: [danilo.s.teixeira@unesp.br](mailto:danilo.s.teixeira@unesp.br)

(Dissertação apresentada sob a forma de artigo científico)

## RESUMO

**Introdução e Objetivo:** Mudanças climáticas e invasões por espécies exóticas são grandes desafios ambientais atualmente, e as previsões indicam que a porção tropical da América do Sul será a região mais afetada em termos de temperatura e seca. Não se sabe, entretanto como a seca afetará plantas nativas e exóticas. Sabe-se que diferentes formas de estresse induzem modificação da composição lipídica das membranas celulares das plantas. Objetiva-se investigar o efeito do estresse hídrico sobre a remodelação lipídica em perfis de ácidos graxos presentes em diferentes espécies de plantas do Cerrado e entender se plantas nativas, naturalizadas e exóticas invasoras apresentam estratégias similares ou diferenciadas em relação a esse processo.

**Métodos:** Foram realizadas duas abordagens experimentais: a primeira foi uma amostragem em campo, de modo a compreender quais perfis de ácidos graxos estariam presentes em plantas diversificadas que se desenvolveram em ambientes naturais; foram amostradas em duas estações sazonais distintas (seca e chuvosa) exemplares de nove espécies nativas, naturalizadas e exóticas invasoras presentes em área de Cerrado na Fazenda da UNESP (FEPE Bovino) em Selvíria/Mato Grosso do Sul/Brasil. O segundo experimento foi conduzido em casa de vegetação, sendo analisado o efeito do estresse hídrico induzido sobre sete espécies nativas e exóticas invasoras. Foram determinados os perfis de ácidos graxos dos lipídios de membrana: Saturados (SAT), Monoinsaturado (MUFA), Polinsaturado (PUFA), Subclasse Polinsaturado n3 (PUFAs n3), Subclasse Polinsaturado n6 (PUFAs n6), Subclasse Polinsaturado com cadeias curtas (PUFAs curto), Subclasse Polinsaturado com cadeias longas (PUFAs longo), presentes nas membranas de células radiculares dessas plantas, além de ariáveis de desenvolvimento vegetativo.

**Resultados:** De modo geral, todas as espécies alteraram o perfil de ácidos graxos em função do período sazonal. O estresse hídrico geralmente promoveu diminuição de SAT compensada pelo aumento de PUFA e suas subcategorias com exceção de PUFAs curto. A gramínea exótica de grande potencial invasor no Cerrado *Urochloa decumbens* comportou-se de maneira similar à herbácea nativa característica de Cerrado *Sida cerradoensis* em termos de alteração de composição de ácidos graxos frente à seca. Todas as espécies alteraram o desenvolvimento vegetativo, sendo observados diferenças significativas no comprimento de raiz, diâmetro do caule, altura das plantas, percentual de água na parte aérea e radicular em função do estresse hídrico estabelecido.

Conclusão: Estes resultados demonstram que as plantas presentes no bioma Cerrado alteram seus perfis de ácidos graxos frente ao estresse hídrico, tendendo a deixar as membranas de suas raízes mais permeáveis por meio de maiores concentrações de ácidos graxos polinsaturados. A principal gramínea invasora presente no Cerrado, *Urochloa decumbens*, apresenta modificações semelhantes às plantas nativas de Cerrado, com maiores percentuais de PUFA's longo, o que não ocorre com as gramíneas naturalizadas não invasoras *Melinis repens* e *Hyparrhenia rufa*. Frente a previsões de secas cada vez mais longas e extremas no Cerrado, esse mecanismo pode conferir às plantas nativas maior capacidade de sobrevivência. A semelhança de comportamento entre principal gramínea invasora e gramíneas nativas do Cerrado demonstra um novo mecanismo de invasões biológicas sob condições de escassez hídrica.

**Palavras-chave:** fluidez de membrana; estresse hídrico; grupos funcionais; invasões biológicas; mudanças climáticas.

## ABSTRACT

**Introduction and Objective:** Climate change and invasions by exotic species are major environmental challenges today, and forecasts indicate that the tropical portion of South America will be the region most affected in terms of temperature and drought. It is not known, however, how the drought will affect native and exotic plants. It is known that different forms of stress induce changes in the lipid composition of plant cell membranes. The objective is to investigate the effect of water stress on lipid remodeling in fatty acid profiles present in different species of Cerrado plants and to understand whether native, naturalized and exotic invasive plants have similar or different strategies in relation to this process.

**Methods:** Two experimental approaches were carried out: the first one was a field sampling, in order to understand which fatty acid profiles would be present in diversified plants that developed in natural environments; we sampled in two distinct seasonal seasons (dry and rainy) specimens of nine native, naturalized and exotic invasive species present in the Cerrado area in the city of Selvíria, in the State of Mato Grosso do Sul/Brazil. The second experiment was carried out in a greenhouse, and the effect of induced water stress on seven species was analyzed in native and exotic invasive species. Membrane lipid fatty acid profiles were determined: Saturated (SAT), Monounsaturated (MUFA), Polyunsaturated (PUFA), Subclass Polyunsaturated n3 (PUFAs n3), Subclass Polyunsaturated n6 (PUFAs n6), Subclass Polyunsaturated with short chains (short PUFAs), Subclass Polyunsaturated with long chains (long PUFAs), present in the membranes of root cells of these plants. Variables of vegetative development were also determined.

**Results:** In general, all species changed their fatty acid profile as a function of the seasonal period. Water stress generally promoted a decrease in SAT offset by an increase in PUFA and its subcategories with the exception of short PUFAs. The exotic grass of great invasive potential in the Cerrado *Urochloa decumbens* behaved similarly to the native herbaceous characteristic of Cerrado *Sida cerradoensis* in terms of alteration of fatty acid composition in the face of drought. All species altered vegetative development, with significant differences being observed in root length, stem diameter, plant height, percentage of water in the shoots and roots as a function of the established water stress.



Conclusion: These results demonstrate that plants present in the Cerrado biome change their fatty acid profiles under water stress, tending to make their root membranes more permeable through higher concentrations of polyunsaturated fatty acids. The main invasive grass present in the Cerrado, *Urochloa decumbens*, presents modifications similar to the native plants of the Cerrado, with high percentages of long PUFAs, which does not occur with the non-invasive naturalized grasses *Melinis repens* and *Hyparrhenia rufa*. Forecasts predict increasingly longer and more extreme droughts in the Cerrado, therefore this mechanism may give native plants a greater ability to survive under such conditions. The similar behaviour between the Cerrado main invasive grass and common native grasses suggests a new mechanism of plant biological invasion under dry conditions.

**Keywords:** membrane fluidity; water stress; functional groups; biological invasions; climate change.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Efeito da sazonalidade sobre mudanças na composição de ácidos graxos das membranas celulares – amostragem em campo.....</b>	<b>14</b>
<i>2.1.1</i>	<i>Delimitação experimental.....</i>	<i>14</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Coleta de amostras.....</i>	<i>15</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Variáveis analisadas.....</i>	<i>16</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Análise de dados.....</i>	<i>17</i>
<b>2.2</b>	<b>Efeito do estresse hídrico sobre a composição de ácidos graxos das membranas celulares e relação com outras variáveis bióticas e abióticas – experimento em casa de vegetação.....</b>	<b>18</b>
<i>2.2.1</i>	<i>Delimitação experimental.....</i>	<i>18</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Variáveis analisadas.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Análise de dados.....</i>	<i>21</i>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Efeito da sazonalidade sobre mudanças na composição dos perfis de ácidos graxos das membranas celulares – amostragem em campo.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Efeito do estresse hídrico sobre a composição de ácidos graxos das membranas celulares e relação com outras variáveis bióticas e abióticas – experimento em casa de vegetação.....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>DECLARAÇÕES.....</b>	<b>34</b>
<b>6.1</b>	<b>Contribuições dos autores.....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

As mudanças ambientais são um dos maiores desafios do nosso tempo e, dentre outros fatores, incluem as mudanças climáticas e a eutrofização de ambientes devido a excessos de nutrientes aportados a ecossistemas (TILMAN, 2001). Existem evidências convincentes indicando que, tanto as mudanças climáticas (HUGHES, 2000; MCCARTY, 2001; WALTHER *et al.*, 2002; WALTHER *et al.* 2005) quanto a eutrofização (CHISLOCK *et al.*, 2013; UZÊDA *et al.*, 2016), ocorridas no século XX causaram vários impactos sobre a biodiversidade e sobre a produção de alimentos no mundo de uma maneira global e sem precedentes (ABID *et al.*, 2016; BRASIL, 2020).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas prevê mudanças climáticas substanciais para a região Neotropical (VALE *et al.*, 2009). As previsões indicam que a porção tropical da América do Sul, incluindo a maior parte do território brasileiro, será a região mais afetada em termos de temperatura, com uma elevação de cerca de 2 a 6°C (NOBRE, *et al.* 2007). Segundo Sankaran (2019) futuros aumentos na severidade, duração e frequência da seca podem interromper as trajetórias de recuperação de ecossistemas, alterando sua composição, com possíveis ameaças substanciais, principalmente para savanas áridas e semi-áridas.

O Cerrado brasileiro é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando 22% do território nacional, contendo diversas fitofisionomias que variam de campos abertos a florestas (RIBEIRO *et al.*, 1988). O Cerrado é detentor de uma flora com mais de 12.000 espécies de plantas vasculares (MENDONÇA *et al.*, 2008), e apresenta um grande número de espécies endêmicas (INÁCIO-SILVA *et al.*, 2017), sendo assim considerado uma área prioritária para conservação no mundo devido à sua alta biodiversidade, alto grau de endemismo e alta suscetibilidade a ameaças antrópicas (MYERS *et al.*, 2000). Atualmente o Cerrado é responsável por 70% da produção agrícola brasileira total, com 95% do algodão, 54% da soja, 55% da carne bovina e 43% da cana-de-açúcar nacionais sendo produzidos neste bioma (GOMES *et al.*, 2020). Portanto, por destacar-se em aspectos conservacionistas e produtivos, o bioma Cerrado necessita de estudos sobre como mudanças ambientais como seca e eutrofização podem afetar diretamente as plantas vivendo neste ambiente.

Plantas exóticas invasoras apresentam alta plasticidade fenotípica (LANNES *et al.*, 2020) e são abundantes presentes no Cerrado, sendo que sua proliferação demasiada

pode acarretar em perdas de biodiversidade (LANNES *et al.*, 2016). Em relação à origem, plantas podem ser definidas como nativas ou exóticas ao habitat. Ao contrário das nativas, plantas exóticas não se originaram do referido ambiente, tendo sido trazidas intencionalmente ou não (ANDRADE *et al.*, 2009; ROSENZWEIG, 2001). Plantas exóticas invasoras são definidas como espécies que imigram para uma área, se naturalizam e expandem em abundância no novo ambiente (MORO *et al.*, 2012; ABREU; DURIGAN, 2011; ARONSON *et al.*, 2011; RICHARDSON; PYSEK, 2006; VITOUSEK *et al.*, 1997). Uma espécie exótica pode atingir o estado de invasora quando se estabelece e eleva a taxa de reprodução e dispersão, podendo assim substituir as espécies nativas, geralmente se adaptam ao ambiente se reproduzindo de forma consistente e dispersando-se para locais distantes da área de introdução (MATOS; PIVELLO, 2009). A invasão biológica está entre as principais causas de degradação ambiental pois pode provocar alterações em diversos processos ecológicos, sendo considerada a segunda maior causa de perda de biodiversidade (PIMENTEL *et al.*, 2001; BINGGELI, 2001). É um processo comumente ligado à intervenção humana, o estabelecimento de espécies se dá na maior parte em áreas preferencialmente perturbadas (D'ANTONIO; MEYERSON, 2002), embora invasões também possam ocorrer em áreas naturais e não antropicamente impactadas (LANNES *et al.*, 2020). As espécies exóticas invasoras se caracterizam principalmente pela sua alta capacidade de reprodução, toleram muito bem condições ambientais adversas, são eficazes na competição por recursos, podem eliminar espécies nativas se disputam por espaço físico ou sombreamento excessivo, possuem alta capacidade de rebrota e regeneração, período longo de frutificação e floração, plasticidade fenotípica, resistência a patógenos, entre outras (COUTINHO 1982; BARUCH *et al.*, 1985; D'ANTONIO; VITOUSEK, 1992; FREITAS; PIVELLO, 1999). Há também as espécies naturalizadas, que são exóticas, mas que não apresentam a capacidade de expandir-se no novo habitat e por isso não se tornam invasoras; não se sabe, entretanto, por que certas espécies exóticas conseguem se tornar invasoras (espécies exóticas invasoras) e outras não conseguem (espécies naturalizadas).

Ao longo da evolução biológica, as plantas desenvolveram várias estratégias anatômicas, bioquímicas e fisiológicas para responder e se adaptar às condições ambientais em constante mudança (LIU *et al.*, 2019). Os ecossistemas de Cerrado são controlados por interações entre a água e a disponibilidade de nutrientes (BUSTAMANTE *et al.*, 2012; LANNES *et al.*, 2016). Tais relações e respostas destas

plantas a mudanças ambientais têm sido estudadas em termos de resposta de biomassa à adição de nutrientes e água (TEIXEIRA *et al.*, 2019; VILLELA; HARIDASAN, 1994), colonização micorrízica (LEITE *et al.*, 2019), fosfatase ácida (LANNES *et al.*, 2016; SCABORA *et al.*, 2010), invasões biológicas (LANNES *et al.*, 2016), efeitos e comportamento de incêndios experimentais (GOMES *et al.*, 2020; ZIRONDI *et al.*, 2019) e relações tróficas entre produtores primários e fauna (ALVIM *et al.*, 2019). Não existem, entretanto, estudos sobre permeabilidade de membranas biológicas em plantas presentes no bioma Cerrado ligado à sazonalidade deste bioma.

As membranas celulares são compostas por um conjunto de lipídios e proteínas que definem suas funções (MICHAUD; JOUHET, 2019), variando de acordo com o tipo de célula, estágio de desenvolvimento e ambiente (FURT *et al.*, 2010), permitindo que a célula absorva e mantenha certas substâncias e exclua outras (TAIZ *et al.*, 2017). Diferentes tipos de lipídios são encontrados nas membranas, sendo os mais abundantes os glicofosfolipídios, seguidos pelos esteróis e os esfingolipídios (LI-BEISSON *et al.*, 2013).

Sabe-se que muitas tensões, como fotoperíodo, temperatura ou nutrientes, induzem modificações da composição lipídica das membranas celulares das plantas (JOUHET *et al.*, 2003; SANDELIUS; LILJENBERG 1982; ZHENG *et al.*, 2016) (Figura 1), sendo a plasticidade de algumas espécies em relação ao perfil de ácidos graxos de membrana possível biomarcador de tolerância ao estresse.

Segundo Liu *et al.* (2019), a remodelação lipídica da membrana é uma das estratégias eficazes de adaptação das plantas para a defesa contra vários estresses abióticos. Sabe-se também que os ácidos graxos C16:3n3 e C18:3n3 são as principais espécies de ácidos graxos polinsaturados nos lipídios da membrana, e as alterações desses níveis de ácidos graxos insaturados geralmente determinam a fluidez (WANG *et al.* 2010; ZHANG *et al.* 2005), uma vez que a inserção de insaturações nas cadeias de ácidos graxos promove alterações físicas em sua estrutura, podendo ser determinante para a sobrevivência dessas plantas frente a diversos estresses. Alterações desses níveis de ácidos graxos podem promover também a estabilidade fotossintética, assim como o crescimento total da planta que é influenciado pela composição de ácidos graxos da membrana (FALCONE *et al.*, 2004). No entanto, respostas lipídicas a estresse hídrico, salino, altas e baixas temperaturas e a diferentes concentrações de nutrientes em plantas ainda são pouco claras (LIU *et al.*, 2019).

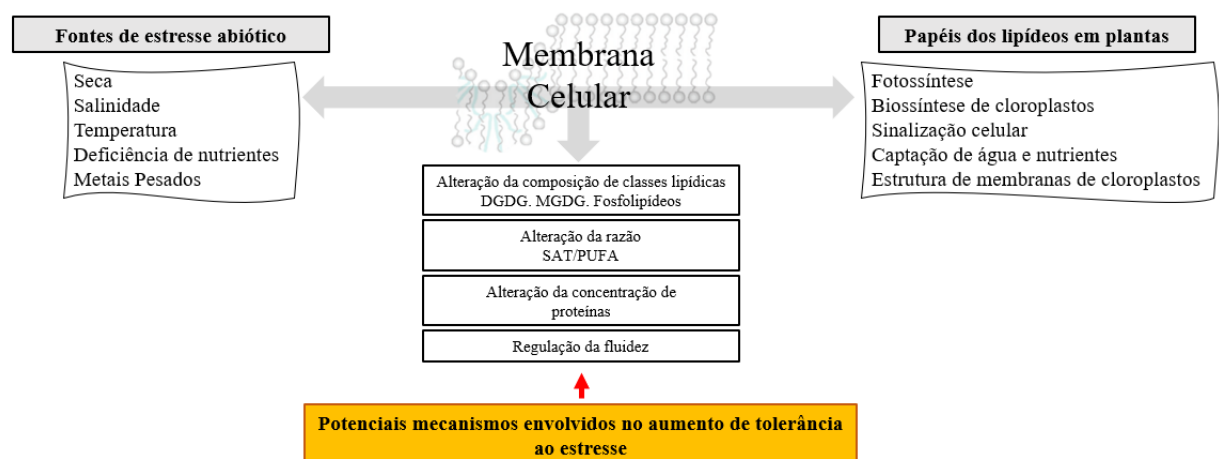
Sabe-se, por exemplo, que em *Vigna unguiculata* e em dois cultivares de *Zea mays* sob estresse hídrico, há aumento na concentração de digalactosildiacilglicerol (DGDG) e redução de monogalactosildiacilglicerol (MGDG) (CHEN *et al.* 2018; TORRES-FRANKLIN *et al.*, 2007). Em baixas temperaturas foi detectado nas folhas de *Arabidopsis thaliana*, *Oryza sativa*, *Hordeum vulgare* e *Zea mays* um aumento no ácido fosfatídico fosfolipídico (PA) e uma diminuição na fosfatidilcolina (PC), um aumento no DGDG e uma diminuição de MGDG, com maiores níveis de fosfolipídios e galactolipídios nas raízes em comparação com as folhas (GU *et al.* 2017; MARGUTTI *et al.*, 2019; ZHENG *et al.*, 2016). Sob condições de altas temperaturas foi observado em três cultivares de *Agrostis stolonifera* e de *Triticum aestivum* aumento do grau de saturação dos lipídios das folhas no início do estresse térmico, esses resultados sugerem que pode haver alguma conexão entre o grau de saturação dos lipídios da membrana foliar antes do estresse pelo calor e a capacidade dessa planta de limitar os danos induzidos pelo estresse térmico (LARKINDALE; HUANG, 2004; NARAYANAN *et al.*, 2016). A espécie *A. thaliana* apresenta, corroborando os trabalhos com *A. stolonifera* e *T. aestivum*, diminuição do grau de insaturação dos ácidos graxos com o aumento de temperatura, incremento dos ácidos graxos saturados C16:0n6 e diminuição do C18:2n6 polinsaturado (Falcone *et al.* 2004). Sabe-se também que plantas podem remodelar suas membranas frente à deficiência de nutrientes no solo, foi observado que quando plantas de *A. thaliana* estão sob deficiência de fósforo podem remodelar os lipídios da membrana substituindo os fosfolipídios por galactolipídios não-fosforosos, permitindo assim que as plantas obtenham fosfato escasso, mantendo a estrutura da membrana (ANGKAWIJAYA *et al.*, 2017).

O estresse hídrico é um dos fatores ambientais que mais afetam a produtividade das plantas (BEHERA *et al.*, 2002), afetando inclusive a agricultura mundial (SHAO *et al.*, 2008). Plantas apresentam como estratégia fisiológica inicial ao estresse hídrico o fechamento estomático para evitar perda de água (TAIZ *et al.*, 2017), porém outras estratégias podem ser adotadas para lidar com este estresse. Dessa forma, o remodelamento de ácidos graxos na membrana plasmática das células vegetais pode apresentar um papel fundamental nas respostas das plantas frente ao estresse hídrico, por isso algumas plantas de interesse agrícola já vêm sendo estudadas neste sentido, como feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) (TORRES-FRANKLIN *et al.*, 2007) e milho (*Zea mays*) (CHEN *et al.*, 2018). No entanto não existem até o momento trabalhos dessa natureza com espécies silvestres viventes no Cerrado.

Dessa forma, o estudo de remodelamento dos ácidos graxos nas membranas de células vegetais em raízes de plantas do Cerrado sob condições de estresse hídrico é de relevância atual, uma vez que as mudanças ambientais globais em curso apontam para ecossistemas se tornando cada vez mais secos, o que pode gerar perdas de biodiversidade e de produção agrícola neste bioma reconhecidamente biodiverso e importante para a agricultura mundial. Desse modo objetivou-se aqui avaliar mudanças nos perfis de ácidos graxos em raízes de espécies nativas e exóticas de Cerrado frente ao estresse hídrico. As seguintes hipóteses foram testadas:

1. Plantas viventes no Cerrado modificam suas membranas radiculares frente à seca por meio de inserções de insaturações nas cadeias de ácidos graxos.
2. Espécies nativas, naturalizadas e exóticas exibem padrões diferenciados de plasticidade de membranas frente à escassez hídrica.

**Figura 1** – Papéis dos lipídios nas plantas e os mecanismos potenciais envolvidos no aumento da tolerância ao estresse



Fonte: Modificado de Liu *et al.* (2019).

## 2 METODOLOGIA

Mudanças no perfil de ácidos graxos das membranas de plantas do Cerrado frente a estresse hídrico foram avaliadas segundo amostragem em campo e experimento controlado. A amostragem em campo foi realizada na Fazenda Experimental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp) de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria no estado Mato Grosso do Sul/Brasil (20°23.012'S 51°23.624'W), e o experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unesp de Ilha Solteira, localizado a aproximadamente 10 km da área de campo.

### 2.1 Efeito da sazonalidade sobre mudanças na composição de ácidos graxos das membranas celulares – amostragem em campo

#### 2.1.1 *Delineamento experimental*

Esta amostragem foi realizada na Fazenda Experimental da Unesp de Ilha Solteira, localizada à margem direita do Rio Paraná, região de clima tropical úmido com estação chuvosa no verão, concentrando aproximadamente 70% das chuvas neste período. Os solos foram classificados como Latossolos Vermelhos distróficos (DEMATTE, 1980, atualizado em acordo com SANTOS *et al.*, 2018) e apresenta textura franco-argilo arenosa (SANTOS *et al.*, 2018). O experimento consistiu em delineamento inteiramente casualizado, avaliando nove espécies de interesse que formam três grupos funcionais representativos do Cerrado (Tabela 1).

A amostragem foi realizada no período seco (outubro de 2019) e no período chuvoso (março de 2020) (Figura 2). Foram coletados 5 espécimes para cada espécie em 18 pontos georreferenciados, em uma distância mínima de 200 metros (Figura 3), não sendo coletadas mais de um espécime para cada espécie no mesmo ponto de coleta, gerando dessa forma um total de 45 espécimes para cada estação sazonal. Desse modo, cada ponto de coleta foi considerado uma parcela. A amostragem consistiu em avaliar os diferentes perfis de ácidos graxos nas membranas das células radiculares nas duas estações sazonais diferentes, para que assim possam ser observadas possíveis alterações na composição de ácidos graxos das membranas dessas plantas.



### 2.1.2 Coleta de amostras

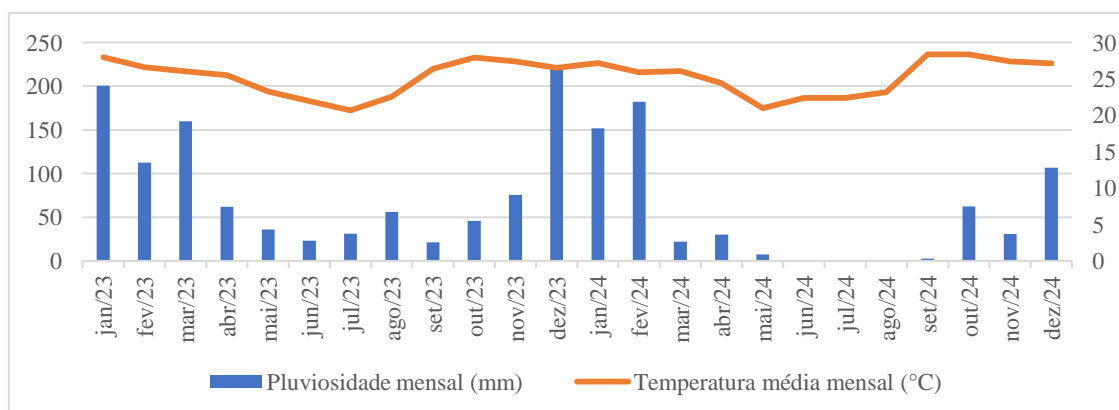
Todas as plantas foram retiradas do solo com auxílio de ferramentas escavadoras, permitindo assim a extração completa da planta. As raízes foram acondicionadas em tubos plásticos do tipo *ependorf* armazenadas em uma caixa térmica e levados até o laboratório (15 min de viagem), onde foram armazenadas em freezer a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  até o momento das análises.

**Tabela 1** – Família, nome científico e grupo funcional das espécies selecionadas para estudos de remodelação de ácidos graxos em membranas de plantas frente a estresse hídrico em campo

Família	Nome científico	Descrição	Grupo funcional
Poaceae	<i>Andropogon bicornis</i>	Gramínea nativa	Nativa
Poaceae	<i>Andropogon leucostachyus</i>	Gramínea nativa	Nativa
Poaceae	<i>Chloris barbata</i>	Gramínea nativa	Nativa
Fabaceae	<i>Stylosanthes guianensis</i>	Leguminosa nativa	Nativa
Malvaceae	<i>Waltheria indica</i>	Herbácea* nativa	Nativa
Poaceae	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Gramínea naturalizada	Naturalizada
Poaceae	<i>Melinis repens</i>	Gramínea naturalizada	Naturalizada
Poaceae	<i>Urochloa brizantha</i>	Gramínea exótica	Exótica
Poaceae	<i>Urochloa decumbens</i>	Gramínea exótica	Exótica

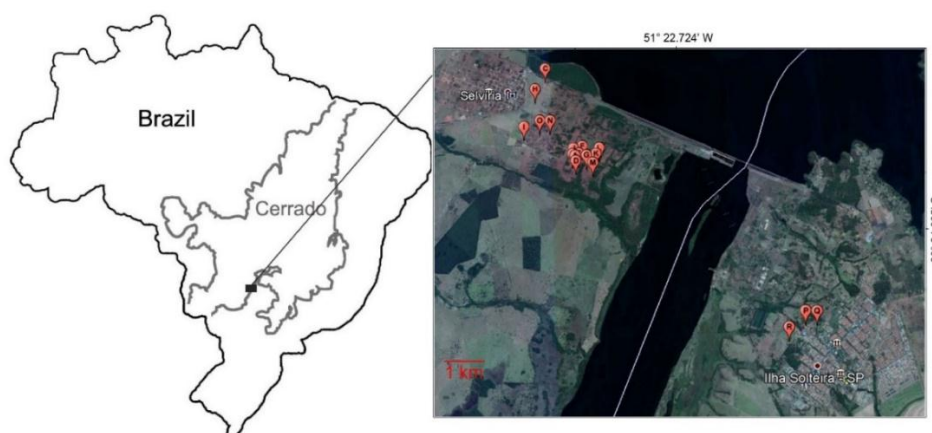
Nota: \* Considera-se aqui “herbácea” como uma planta herbácea não gramínea (“forb”, em Inglês).  
Fonte: Elaboração do autor.

**Figura 2** – Pluviosidade mensal (mm) e temperatura média anual ( $^{\circ}\text{C}$ ) nos anos de 2019 e 2020 na região da amostragem de campo.



Fonte: Unesp (2022).

**Figura 3** – Área de amostragem dos 18 pontos de coleta, sendo estes representados por letras romanas A-R.



Fonte: Elaboração do autor.

### 2.1.3 Variáveis analisadas

Nas amostras coletadas neste experimento foi analisado o perfil de ácidos graxos das membranas na parte radicular das plantas.

O perfil de ácidos graxos nas membranas do tecido radicular foi determinado através do método de Shen *et al.* (2010), modificado por Li *et al.* (2015), que consiste na extração dos ácidos graxos polares utilizando solventes orgânicos e transmetilação dos ácidos graxos em metil ésteres, e foram analisados em cromatografia gasosa acoplada a ionizador de chama. Para a análise dos ácidos graxos foi utilizado cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama (FID), em programação de rampa iniciada a 170°C mantida por 1 minuto, e rampa de 2.5°C/minuto, até atingir a temperatura final de 220°C, mantida por 5 minutos. O injetor e o detector foram mantidos a 250°C. Foi utilizada coluna CP wax 52 CB, com espessura de 0,25 mm, diâmetro interno de 0,25 µm e 30 m de comprimento, com hidrogênio como o gás de arraste.

O perfil de ácidos graxos foi determinado com o cálculo de tempo de retenção, utilizando Supelco, 37 components como padrão. A estimativa do nível de insaturação total da membrana por ligação dupla foi calculado pelo método de Falcone *et al.* (2004). Os ácidos graxos foram identificados por comparação ao tempo de retenção, usando um padrão de metil ésteres conhecido (FAME) (Supelco, 37 components; Sigma– Aldrich; Mixture, Me93, Larodan and Qualmix, PUFA fish M, Menhaden Oil, Larodan).

### 2.1.4 Análise de dados

Para avaliar os efeitos do regime hídrico sobre os perfis de ácidos graxos de membrana em raízes de plantas do Cerrado foram realizadas comparações de médias por meio de teste t de Student. Foram comparadas as porcentagens de diferentes componentes dos perfis de ácidos graxos: ácidos graxos saturados (SAT), ácidos graxos monoinsaturados (MUFA), ácidos graxos polinsaturados (PUFA). Foram também comparados dentro de PUFA as seguintes subclasses: ácidos graxos polinsaturados ômega 3 (PUFAs n3), ácidos graxos polinsaturados ômega 6 (PUFAs n6), ácidos graxos polinsaturados com cadeias curtas (PUFAs curto) e ácidos graxos polinsaturados com cadeias longas (PUFAs longo) (Tabela 2).

Para identificar quais ácidos graxos são responsáveis por promover aumento nas porcentagens de diferentes perfis de ácidos graxos (Tabela 2), foram realizadas comparações de médias por meio de teste t de Student nos ácidos graxos com percentual acima de 5%. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R versão 3.6.2 (R Foundation for Statistical Computing 2009) considerando diferença estatística valores de  $P < 0.05$  e tendências estatísticas valores de  $P > 0.05$  e  $< 0.09$ .

**Tabela 2** – Diferentes ácidos graxos que compõem os diferentes perfis de ácidos de ácidos graxos analisados na amostragem em campo e no experimento em casa de vegetação

Perfil de Ácidos Graxos	Abreviação	Ácido Graxo
Saturados	SAT	C13:0
Saturados	SAT	C14:0
Saturados	SAT	C15:0
Saturados	SAT	C16:0
Saturados	SAT	C18:0
Saturados	SAT	C20:0
Saturados	SAT	C22:0
Saturados	SAT	C23:0
Monoinsaturado	MUFA	C14:1
Monoinsaturado	MUFA	C16:1
Monoinsaturado	MUFA	C18:1
Monoinsaturado	MUFA	C20:1
Monoinsaturado	MUFA	C22:1
Polinsaturado	PUFA	C18:2n6
Polinsaturado	PUFA	C18:3n3
Polinsaturado	PUFA	C20:3n6

Polinsaturado	PUFA	C20:4n6
Polinsaturado	PUFA	C20:4n3
Polinsaturado	PUFA	C22:2n6
Polinsaturado	PUFA	C22:5n6
Polinsaturado	PUFA	C22:5n3
Polinsaturado	PUFA	C22:6n3
Subclasse Polinsaturado n3	PUFAs n3	C18:3n3
Subclasse Polinsaturado n3	PUFAs n3	C20:4n3
Subclasse Polinsaturado n3	PUFAs n3	C22:5n3
Subclasse Polinsaturado n3	PUFAs n3	C22:6n3
Subclasse Polinsaturado n6	PUFAs n6	C18:2n6
Subclasse Polinsaturado n6	PUFAs n6	C20:3n6
Subclasse Polinsaturado n6	PUFAs n6	C20:4n6
Subclasse Polinsaturado n6	PUFAs n6	C22:2n6
Subclasse Polinsaturado n6	PUFAs n6	C22:5n6
Subclasse Polinsaturado cadeias curtas	PUFAs curto	C18:2n6
Subclasse Polinsaturado cadeias curtas	PUFAs curto	C18:3n3
Subclasse Polinsaturado cadeias longas	PUFAs longo	C20:3n6
Subclasse Polinsaturado cadeias longas	PUFAs longo	C20:4n6
Subclasse Polinsaturado cadeias longas	PUFAs longo	C20:4n3
Subclasse Polinsaturado cadeias longas	PUFAs longo	C22:2n6
Subclasse Polinsaturado cadeias longas	PUFAs longo	C22:5n6
Subclasse Polinsaturado cadeias longas	PUFAs longo	C22:5n3
Subclasse Polinsaturado cadeias longas	PUFAs longo	C22:6n3

Nota: A nomenclatura dos ácidos graxos se dá por meio da quantidade de átomos de carbono que constituem sua cadeia, sendo esta referenciada pela letra C (maiúscula) logo após esta letra está presente o número de carbonos que constitui sua cadeia carbônica, o número após (:) indica a quantidade de insaturações na cadeia carbônica (o número 0 indica que é uma cadeia saturada), por fim a letra (n) indica em qual carbono está inserida a primeira insaturação, sendo ainda possível distinguir os ácidos nos tipos ômega 3 e ômega 6 através dos números 3 ou 6 respectivamente após a letra n.

Fonte: Elaboração do autor.

## **2.2 Efeito do estresse hídrico sobre a composição de ácidos graxos das membranas celulares e relação com outras variáveis bióticas e abióticas – experimento em casa de vegetação**

### **2.2.1 Delineamento experimental**

O experimento consistiu-se em delineamento inteiramente casualizado, avaliando sete espécies comuns de Cerrado, distribuídos em quatro grupos funcionais (Tabela 3). Vasos de 2 L foram preenchidos com solo de Cerrado coletado na Fazenda Experimental da Unesp de Ilha Solteira. Em 10 de setembro de 2019 foram montados seis vasos para cada espécie, sendo três réplicas sob tratamento de estresse hídrico e três réplicas sendo utilizadas como controle. Cada vaso recebeu uma plântula após sua germinação em casa de vegetação, sendo utilizado um substrato comercial para a germinação das sementes coletadas na região de Ilha Solteira/SP, Brasil. O tratamento

de estresse hídrico aqui manejado constitui-se em uma aplicação mínima diária de água para cada espécie, deixando as plantas utilizadas neste tratamento próximas ao ponto de murcha permanente (PMP) (BRIGGS; KNAPP, 1912). A quantidade de água aplicada nesse tratamento variou entre 10 mL e 80 mL de acordo com a necessidade de cada espécie (Tabela 4). Para as plantas usadas como controles foi aplicada diariamente uma quantidade superior a 150 mL.

**Tabela 3** – Família, nome científico e grupo funcional das espécies selecionadas para estudos de remodelação de ácidos graxos em membranas de plantas frente a estresse hídrico

<b>Família</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Grupo funcional</b>
Fabaceae	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Leguminosa nativa
Poaceae	<i>Urochloa decumbens</i>	Gramínea invasora
Poaceae	<i>Andropogon leucostachyus</i>	Gramínea nativa
Poaceae	<i>Pennisetum setosum</i>	Gramínea nativa
Malvaceae	<i>Sida cordifolia</i>	Herbácea nativa
Malvaceae	<i>Sida cerradoensis</i>	Herbácea nativa
Malvaceae	<i>Waltheria indica</i>	Herbácea nativa

Fonte: Elaboração do autor.

**Tabela 4** – Quantidade total de água aplicada durante todo o experimento (100 dias) no tratamento de estresse hídrico para cada espécie estudada e nos controles

<b>Grupo funcional</b>	<b>Espécie</b>	<b>mL/vaso</b>
Leguminosa nativa	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	2417
Gramínea invasora	<i>Urochloa decumbens</i>	2425
Gramínea nativa	<i>Andropogon leucostachyus</i>	2085
Gramínea nativa	<i>Pennisetum setosum</i>	2282
Herbácea nativa	<i>Sida cordifolia</i>	2852
Herbácea nativa	<i>Sida cerradoensis</i>	2770
Herbácea nativa	<i>Waltheria indica</i>	2177
Todos	<i>Controle</i>	10950

Fonte: Elaboração do autor.

Em 18 de dezembro de 2019, os vasos foram desmontados e as amostras coletadas. Parte aérea foi separada da raiz, e imediatamente medidos altura da planta e comprimento da raiz com uma fita métrica e diâmetro do caule com paquímetro digital. Amostras de raiz (100 mg) foram coletadas para imediata determinação de atividade de fosfatase ácida radicular. Amostras de raiz e parte aérea (0.050 g) foram coletadas em tubos tipo *ependorf* e alocados em uma caixa térmica posteriormente congeladas em freezer a -80 °C para posterior determinação de porcentagem de ácidos graxos.

Biomassa aérea total foi determinada por gravimetria antes e após secagem em estufa, a 70 °C até obtenção de peso constante.

### 2.2.2 Variáveis analisadas

Para este experimento foram determinados os percentuais dos ácidos graxos que compõem os diferentes perfis de ácidos graxos (SAT, MUFA, PUFA, PUFAs n3, PUFAs n6, PUFAs curto, PUFAs longo) (Tabela 2) nas membranas da parte radicular das plantas, atividade de fosfatase ácida radicular, percentual de água na parte aérea e radicular, altura da planta, comprimento da raiz, diâmetro do caule e percentual de colonização micorrízica.

Para a determinação de atividade de fosfatase ácida radicular, foi utilizado o protocolo do nitrofenil-fosfato (adaptado de Olde Venterink, 2011). Sua determinação foi realizada em 0.100 g de raízes frescas. Estas foram acondicionadas em tubos de reação, sendo adicionados 5 mL da solução do substrato nitrofenil-fosfato e agitados em agitador de Kline por uma hora. Posteriormente foi retirada uma subamostra de 0,5 mL de cada tubo e colocado em tubos com NaOH 2N para interromper a reação, quando então se medem as absorvâncias em espectrofotômetro a 410 nm previamente calibrado com curva-padrão de nitrofenol.

A partir das amostras coletadas, foram preparadas lâminas para determinação de colonização micorrízica, sendo o preparo realizado no mesmo dia da coleta. As plantas coletadas tiveram suas raízes cortadas e descoloridas em tubos de ensaio com solução de hidróxido de potássio 1 M por uma hora em banho-maria a 90 °C, tendo a solução de hidróxido de potássio 1 M sido renovada e os tubos novamente colocados em banho-maria a 90 °C por mais três horas. As amostras descoloridas foram lavadas em água da torneira, lavadas em ácido clorídrico 5% durante 5 minutos e coradas por 20 minutos em uma solução de 5% de tinta de caneta (Parker Qink Black, Newell Rubbermaid, Saint Herblain, França) em uma solução de acético a 5% também a 90 °C, seguindo o protocolo de Vierheilig *et al.* (1998). As raízes coloridas foram então dispostas em lâminas graduadas. Para quantificar a colonização micorrízica, as raízes foram analisadas para a verificação da presença de arbúsculos, vesículas ou hifas.

O perfil de ácidos graxos nas membranas do tecido radicular foi realizado através do método de Shen *et al.* (2010), modificado por Li *et al.* (2015), como descrito no item 2.1.3.

Tanto para os dados de campo quanto para os de casa de vegetação foram calculados os graus de insaturação (UI), calculados como a soma da porcentagem de cada ácido graxo insaturado multiplicada pelo número de ligações duplas do mesmo.

### **2.2.3 *Análise de dados***

Os efeitos do estresse hídrico sobre os ácidos graxos de membrana, altura da planta, comprimento da raiz, diâmetro do caule, atividade de fosfatase ácida radicular e o percentual de água na parte aérea, percentual de água na parte radicular e percentual de colonização micorriza foram avaliados por meio de teste t de Student com o regime hídrico como fator. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R versão 3.6.2 (R Foundation for Statistical Computing 2009), considerando diferença estática valores de  $P < 0.05$  e tendências estatísticas valores de  $P > 0.05$  e  $< 0.09$ .

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Efeito da sazonalidade sobre mudanças na composição dos perfis de ácidos graxos das membranas celulares – amostragem em campo

De modo geral, gramíneas nativas, naturalizadas e exóticas invasoras alteraram o perfil de ácidos graxos em função do período sazonal. Cinco das nove espécies analisadas aumentaram significativamente o grau de insaturações de ácidos graxos na estação seca em relação à chuvosa; não foram constatadas diferenças estatísticas no número de insaturações para as gramíneas naturalizadas (Figura 4a).

A gramínea nativa *Chloris barbata* apresentou maiores percentuais de ácidos graxos polinsaturados (PUFA) e de polinsaturados com cadeias longas (PUFAs longo) e menores percentuais de ácidos graxos saturados (SAT) no período seco (Tabela 5; Apêndices 1, 2 e 3). Constatou-se também maiores percentuais de ácidos graxos polinsaturados (PUFAs N6) para outra gramínea nativa, *Andropogon leucostachyus*, neste mesmo período. Verificaram-se ainda no período seco maiores percentuais de ácidos graxos C22:5n3, e menores percentuais dos ácidos graxos C16:0, C20:4n3 e C22:0 para a gramínea nativa *Chloris barbata* e maiores percentuais de ácidos graxos C22:0 para a outra gramínea nativa *Andropogon bicornis* (Tabela 5).

As gramíneas exóticas invasoras *Urochloa decumbens* e *Urochloa brizantha* apresentaram no período seco maiores percentuais de PUFAs longo e PUFA respectivamente. Em contrapartida, observou-se diminuição de SAT para *Urochloa brizantha*. Observaram-se também no período seco maiores porcentagens de ácidos graxos C22:5n3 em *Urochloa decumbens*, e maiores porcentagens dos ácidos graxos C22:5n6 e C22:6n3 em *Urochloa brizantha*, verificando na mesma espécie invasora menores percentuais de C16:0 (Tabela 5; Apêndices 1, 2 e 3).

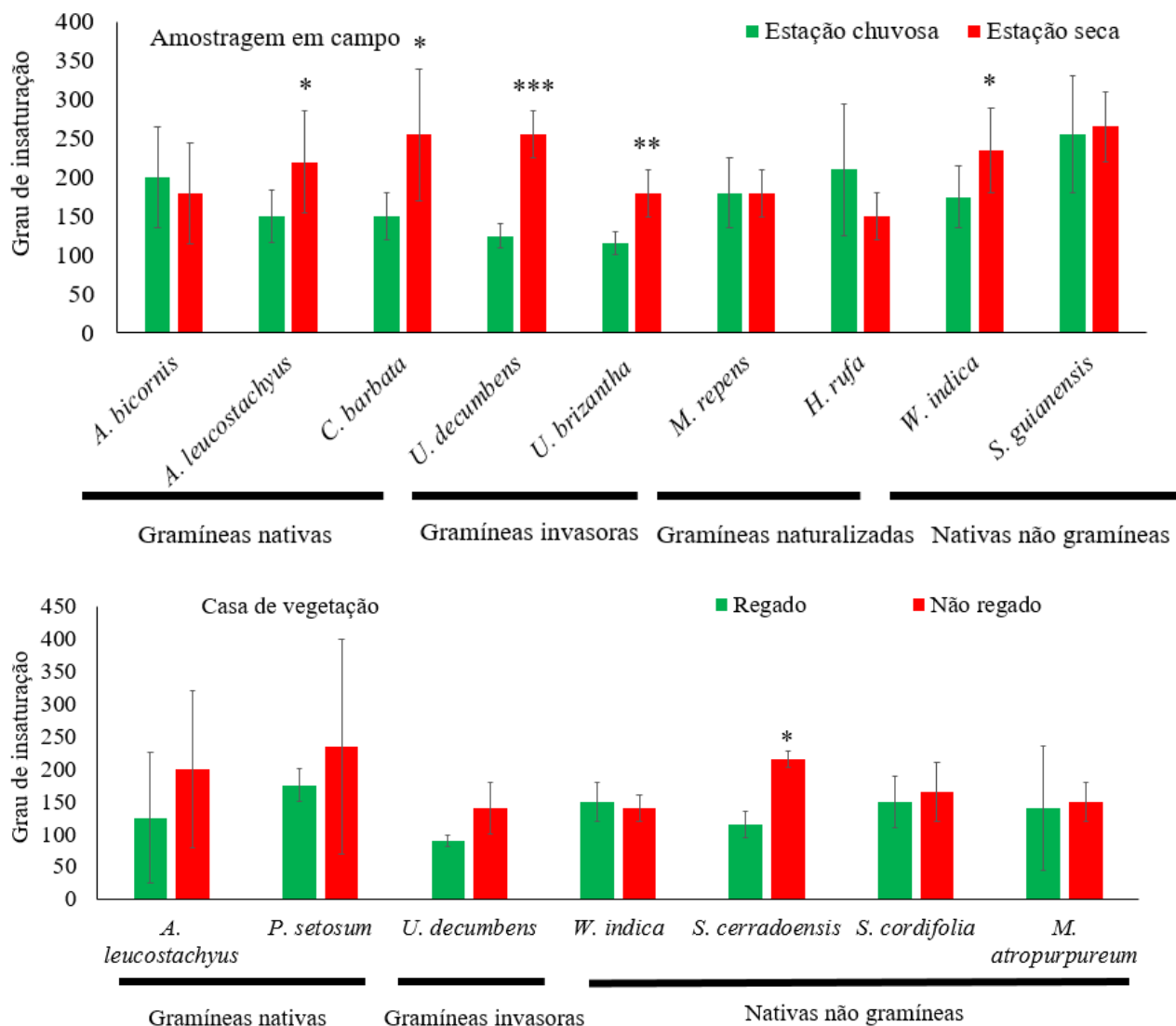
Analisando-se as gramíneas naturalizadas (não invasoras), observaram-se no período seco menores percentuais de ácidos graxos PUFAs N6 e PUFAs curto para a espécie *Hyparrhenia rufa*, observando ainda menores percentuais do ácido graxo C22:6n3, em contrapartida maiores percentuais de C20:4n3 em *Melinis repens* (Tabela 5).

Como grupo externo às gramíneas foi analisada a herbácea nativa *Waltheria indica* (Malvaceae), a qual apresentou no período seco maiores percentuais de PUFA



N3 e PUFA's longo, apresentando também maiores percentuais de ácidos graxos C22:5n3 (Apêndices 2 e 3).

**Figura 4** – Grau de insaturação de ácidos graxos em gramíneas nativas do Cerrado, gramíneas exóticas, gramíneas naturalizadas e nativas não gramíneas



Nota: Os resultados são apresentados para o experimento de campo durante os períodos chuvoso e seco e para o experimento em casa de vegetação sob irrigação e seca. Os níveis de significância são mostrados para o teste t de Student (\* $P < 0,05$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \*\*\* $P < 0,001$ ).

Fonte: Elaboração do autor.

**Tabela 5** – Porcentagens de ácidos graxos em gramíneas nativas, invasoras e naturalizadas nos períodos chuvosos de verão e secos de inverno em áreas campestres de Cerrado Os dados mostrados correspondem a média±desvio-padrão para ácidos graxos saturados (SAT), monoinsaturados (MUFA), polinsaturados (PUFA), polinsaturados n3 (PUFAs N3), polinsaturados n6 (PUFAs N6), PUFA de cadeia curta (PUFAs curto), PUFA de cadeia longa (PUFAs longo) e os ácidos graxos individuais mais comuns (>5%). “Outros” representam a soma dos ácidos graxos presentes em porcentagens inferiores a 5% (C13:0, C14:0, C14:1, C15:0, C16:1, C18:0, C20:1, C20:3n6, C20:4n6). Os asteriscos indicam diferenças significativas a P<0,05 (teste t de Student) em amostras em que pelo menos um tratamento obteve valores >5%, N=5. Para efeitos visuais, laranja e azul indicam, respectivamente, diminuições e aumentos significativos no período seco.

Ácidos graxos	Gramíneas Nativas						Gramíneas Invasoras				Gramíneas Naturalizadas			
	<i>Andropogon bicornis</i>		<i>Andropogon leucostachyus</i>		<i>Chloris barbata</i>		<i>Urochloa decumbens</i>		<i>Urochloa brizantha</i>		<i>Melinis repens</i>		<i>Hyparrhenia rufa</i>	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
C16:0	17±15	14±7	17±10	13±4	20±1**	8±7	19±10	8±6	29±6**	10±8	20±12	16±9	10±8	15±8
C20:0	6±3	3±2	6±3	4±3	11±5	4±7	8±6	7±10	7±2	8±10	3±2	3±2	4±2	3±1
C22:0	2±2	14±7*	4±3	3±3	6±1	3±2**	4±2	2±2	3±1	2±3	4±1	10±9	8±6	6±14
C23:0	2±2	3±5	2±3	5±7	1±1	3±2	2±3	3±3	1±0.2	1±1	4±3	3±2	2±2	5±8
SAT	31±15	40±12	35±16	30±7	43±4**	24±10	40±13	30±9	49±7*	29±14	38±10	39±13	29±16	36±14
C18:1	5±2	4±1	11±3	9±4	8±2	8±10	9±3	5±4	15±7	7±5	10±3	8±2	8±3	7±4
C22:1	3±3	1±1	3±2	2±1	1±1	1±1	4±5	2±1	2±0.3	3±3	3±1	4±3	2±2	14±14
MUFA	14±5	8±1	16±3	14±2	11±3	17±10	16±3	14±5	22±8	14±7	15±2	16±6	16±4	27±12
C18:3n3	6±2	5±3	5±2	4±5	4±2	5±4	5±2	2±1	3±1	4±6	3±2	3±3	6±4	3±2
C20:4n3	3±2	7±3	6±6	3±2	8±6*	1±1	3±1	4±3	2±1	0.4±0.3	4±2	12±6*	6±3	11±7
C22:5n3	6±5	6±6	7±7	9±6	3±1	11±7*	4±3	10±4*	1±1	14±16	3±5	2±1	8±7	4±3
C22:6n3	9±9	4±5	6±4	7±4	3±1	12±12	9±11	11±9	2±1	7±7*	5±2	4±2	8±5*	2±2
PUFAs n3	23±10	21±10	24±10	23±8	18±5	29±16	20±16	27±9	8±3	26±21	15±9	21±4	29±16	21±4
C18:2n6	23±9	19±10	19±9	19±13	19±4	11±7	18±11	10±5	21±5	16±13	20±7	15±5	17±6	13±3
C22:2n6	2±3	4±6	4±5	6±6	4±2	3±3	2±2	7±7	1±1	4±3	2±3	3±4	4±5	2±2
C22:5n6	3±5	6±6	2±2	5±7	2±2	9±7	3±5	8±5	0.7±0.3	7±10*	8±4	5±3	3±3	0.4±0.3
PUFAs n6	32±8	31±7	25±3	33±7*	27±4	30±11	25±5	28±2	23±5	31±10	31±4	25±7	27±8*	17±3
PUFAs curto	29±10	24±9	24±9	24±18	23±6	16±11	23±10	12±4	24±5	20±17	23±6	18±5	23±4*	16±4
PUFAs longo	26±16	28±18	25±17	32±20	22±12	43±18*	21±24	43±11*	8±3	36±31	23±14	27±7	32±19	22±5
PUFA	55±11	52±11	49±10	56±8	45±7	59±12*	44±15	56±9	31±5	57±21*	46±11	45±8	55±19	38±4
Outros	13	11	9	11	10	19	11	19	13	15	11	14	11	13

Fonte: Elaboração do autor.

### 3.2 Efeito do estresse hídrico sobre a composição de ácidos graxos das membranas celulares e relação com outras variáveis bióticas e abióticas – experimento em casa de vegetação

De modo geral, todas as sete espécies alteraram o desenvolvimento vegetativo em função do estresse hídrico estabelecido (Tabela 6; Apêndice 4). Verificou-se efeito negativo do estresse hídrico sobre altura, diâmetro do caule e comprimento de raiz na invasora *Urochloa decumbens*. De forma oposta, a atividade de fosfatase ácida radicular e o percentual de água na parte aérea aumentaram em resposta ao estresse hídrico na exótica invasora *Urochloa decumbens*. Verificou-se ainda tendência de aumento para o percentual de água nas raízes da invasora *Urochloa decumbens*.

Analisando as gramíneas nativas e as demais espécies nativas, verificou-se que o estresse hídrico promoveu menor altura em *Waltheria indica* (tendência), *Andropogon leucostachyus*, *Sida cerradoensis*, *Sida cordifolia* e *Macroptilium atropurpureum*, tendo estas três últimas também diminuído o diâmetro do caule significativamente, e nas duas últimas o comprimento da raiz (tendência para *Sida cordifolia*) (Tabela 6; Apêndice 4). A gramínea nativa *Pennisetum setosum* aumentou a atividade de fosfatase ácida radicular em resposta ao estresse hídrico (Tabela 6 e Apêndice 4). *Sida cerradoensis*, *Sida cordifolia* e *Waltheria indica* aumentaram o percentual de água no caule em resposta ao estresse hídrico, enquanto *Sida cerradoensis* e *Pennisetum setosum* diminuíram água na raiz frente ao estresse hídrico, esta última espécie foi a única que apresentou alterações em colonização micorrízica, apresentado menores percentuais de colonização micorrízica quando submetida ao estresse hídrico (Tabela 6; Apêndice 4).

De modo geral, gramíneas nativas, invasora e não gramíneas alteraram o perfil de ácidos graxos em função da irrigação (Tabela 7). Somente a gramínea nativa *Sida cerradoensis* aumentou o número de insaturações de ácidos graxos quando submetida ao estresse hídrico (Figura 4b).

Ao ser submetida ao estresse hídrico a invasora *Urochloa decumbens* apresentou menores percentuais de PUFAs curto, concomitantemente a uma tendência para menores percentuais de SAT (Tabela 7 e Apêndice 5 e 6). Observou-se ainda menores percentuais dos ácidos graxos C13:0 e C18:2n6 na invasora *Urochloa decumbens* quando submetidas ao estresse hídrico (Tabela 7; Apêndice 7). De modo contrário, constatou-se uma tendência para maiores percentuais de PUFA longo quando exposta ao estresse hídrico (Tabela 7; Apêndice 6).

Analisando as gramíneas nativas e as demais espécies nativas, verificou-se menores percentuais do perfil de ácidos graxos MUFA em *Andropogon leucostachyus* quando expostas ao estresse hídrico. Notou-se também menores percentuais dos ácidos graxos C16:1 em *Andropogon leucostachyus* quando expostas ao estresse hídrico (Tabela 7; Apêndice 7). Contrariamente, constatou-se maiores percentuais dos perfis de ácidos graxos PUFA n6 em *Andropogon leucostachyus* quando expostos ao estresse hídrico (Tabela 7; Apêndice 6).

**Tabela 6** - Altura da planta (cm), comprimento da raiz (cm), diâmetro do caule (mm), atividade da fosfatase ácida (PME,  $\mu\text{mol pNPP g}^{-1} \text{ raiz}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), teor de água da parte aérea (%), teor de água da raiz (%) e colonização micorrízica (%) em gramíneas e ervas não gramíneas nativas do Cerrado e na gramínea exótica invasora *Urochloa decumbens* cultivada em um experimento de mesocosmo (vasos de 1.5 litros) por 100 dias sob condições de irrigação e seca. Os dados apresentados são média $\pm$ desvio-padrão. N=3. NM = não medido. \* P<0.05; \*\*P<0.01; \*\*\*P<0.001 (testes t de Student). Para fins de melhor visualização, os tons laranja e azul indicam, respectivamente, diminuições e aumentos significativos sob seca.

Variáveis	Gramíneas nativas				Gramínea invasora		Nativas não gramíneas							
	<i>Pennisetum setosum</i>		<i>Andropogon leucostachyus</i>		<i>Urochloa decumbens</i>		<i>Sida cerradoensis</i>		<i>Sida cordifolia</i>		<i>Waltheria indica</i>		<i>Macropitilium atropurpureum</i>	
	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco
Altura	63 $\pm$ 24	66 $\pm$ 30	66 $\pm$ 3*	44 $\pm$ 13	127 $\pm$ 20**	49 $\pm$ 12	137 $\pm$ 30**	28 $\pm$ 7	197 $\pm$ 5***	10 $\pm$ 2	51 $\pm$ 15	27 $\pm$ 9	154 $\pm$ 18***	40 $\pm$ 12
Comp. raiz	83 $\pm$ 17	86 $\pm$ 45	32 $\pm$ 4	47 $\pm$ 40	143 $\pm$ 12**	49 $\pm$ 32	70 $\pm$ 13	61 $\pm$ 12	58 $\pm$ 6	31 $\pm$ 16	37 $\pm$ 22	38 $\pm$ 22	63 $\pm$ 1***	31 $\pm$ 4
Diâmetro do caule	10 $\pm$ 4	10 $\pm$ 4	6 $\pm$ 1	5 $\pm$ 1	7 $\pm$ 1**	3 $\pm$ 0.5	6 $\pm$ 1**	3 $\pm$ 0	5 $\pm$ 0***	1 $\pm$ 0	5 $\pm$ 2	5 $\pm$ 3	7 $\pm$ 0***	3 $\pm$ 0
PME	71 $\pm$ 44	494 $\pm$ 22***	168 $\pm$ 92	746 $\pm$ 842	285 $\pm$ 82	708 $\pm$ 54**	516 $\pm$ 438	762 $\pm$ 733	483 $\pm$ 287	1427 $\pm$ 1607	489 $\pm$ 156	350 $\pm$ 63	2105 $\pm$ 803	1251 $\pm$ 1216
Água parte aérea	77 $\pm$ 2	77 $\pm$ 3	66 $\pm$ 6	54 $\pm$ 13	62 $\pm$ 0.4	69 $\pm$ 0.2**	64 $\pm$ 1	68 $\pm$ 1*	64 $\pm$ 1	70 $\pm$ 2*	60 $\pm$ 3	73 $\pm$ 5*	69 $\pm$ 2	71 $\pm$ 5
Água raiz	82 $\pm$ 3**	69 $\pm$ 3	73 $\pm$ 1	67 $\pm$ 6	71 $\pm$ 2	75 $\pm$ 1	73 $\pm$ 2***	58 $\pm$ 1	NM	NM	67 $\pm$ 5	66 $\pm$ 4	80 $\pm$ 4	77 $\pm$ 2
Micorriza	92 $\pm$ 4*	79 $\pm$ 4	94 $\pm$ 4	97 $\pm$ 3	89 $\pm$ 18	94 $\pm$ 7	81 $\pm$ 14	98 $\pm$ 4	77 $\pm$ 4	87 $\pm$ 5	89 $\pm$ 11	87 $\pm$ 10	82 $\pm$ 20	100 $\pm$ 0.4

Fonte: Elaboração do autor.

**Tabela 7** – Porcentagens de ácidos graxos em gramíneas nativas, em herbáceas nativas não gramíneas e na gramínea invasora do Cerrado *Urochloa decumbens*, cultivada em estufa por 100 dias. Os dados mostrados são média±desvio-padrão para ácidos graxos saturados (SAT), monoinsaturados (MUFA), polinsaturados (PUFA), polinsaturados n3 (PUFAs n3), polinsaturados n6 (PUFAs n6), PUFA de cadeia curta (PUFAs curto), PUFA de cadeia longa (PUFAs longo) e os ácidos graxos individuais mais comuns (<5%). “Outros” representam a soma dos ácidos graxos presentes em porcentagens inferiores a 5% (C15:0, C18:3n3, C20:0). Os asteriscos indicam diferenças significativas em P<0.05 (teste t de Student) em amostras cujo pelo menos um tratamento rendeu valores >5%, N=3. Laranja e azul indicam, respectivamente, diminuições e aumentos significativos no período seco para fins de visualização.

Ácidos graxos	Gramíneas nativas				Gramínea invasora		Nativas não gramíneas							
	<i>Pennisetum setosum</i>		<i>Andropogon leucostachyus</i>		<i>Urochloa decumbens</i>		<i>Sida cerradoensis</i>		<i>Sida cordifolia</i>		<i>Waltheria indica</i>		<i>Macroptilium atropurpureum</i>	
	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco	Regado	Seco
C13:0	2±3	3±2	2±2	1±1	9±1**	2±1	1±1	2±2	4±4	1±1	1±1	0.4±0.1	2±2	3±0.2
C14:0	5±1	3±3	3±4	2±1	1±0.1	5±5	3±5	3±3	4±4	6±6	6±5	1±0.3	1±1	5±4
C16:0	8±6	19±24	33±26	24±21	40±3	15±21	27±21	16±7	20±20	20±9	18±15	29±2	30±23	13±10
C18:0	2±2	1±0.4	2±0.3	2±0.3	1±0.1	4±2	3±2	2±1	5±3	5±5	8±9	2±0	2±1	7±1**
C22:0	8±2**	2±1	1±0.4	3±1	0.2±0.04	5±4	1±1	2±2	1±1	3±0.5	1±1	1±2	4±6	4±4
C23:0	4±4	3±1	3±4	1±1	1±0.3	5±3	4±5	3±2	2±2	2±2	5±6	0.4±0.5	2±1	6±6
SAT	33±12	36±22	54±2	37±19	54±2	39±10	42±3*	31±6	42±9	40±12	42±2*	35±2	44±15	41±2
C14:1	6±5	1±1	0.5±0.3	1±1	0.1±0.1	2±2	2±4	0.2±0.2	3±2	1±0.5	2±1	0.3±0.3	1±0.1	4±3
C16:1	9±5	1±1	9±5*	1±1	12±1	11±8	13±9	3±3	9±4*	2±2	9±13	20±5	13±17	6±6
C18:1	4±4	7±7	10±2	8±2	6±0.2	5±5	11±3	8±1	5±5	6±3	7±4	13±2	11±5	11±12
C20:1	6±3*	1±1	1±1	1±0.2	0.3±0.2	2±2	1±1	1±1	1±1	1±2	3±4	0.3±0.1	1±1	2±1
C22:1	3±2	1±1	3±4	2±1	1±0.3	3±2	5±7	5±1	2±3	4±1	2±2	3±3	2±2	4±2
MUFA	28±11	11±5	23±4*	12±2	19±1	23±7	32±3*	17±4	20±3	14±1	24±11	36±5	27±13	27±8
C20:4n3	6±8	1±1	1±2	2±1	0.3±0.1	5±5	2±3	3±2	8±9	1±1	6±9	1±0.2	4±5	2±2
C22:5n3	9±4	15±15	7±10	6±8	1±1	3±3	3±4	6±3	2±2	5±3	3±3	1±1	2±2	2±2
C22:6n3	3±2	12±15	2±3	11±11	1±0.3	1±1	1±1	8±3*	2±2	3±3	4±3	8±6	6±8	5±3
PUFAs n3	19±6	32±30	13±16	22±19	4±1	14±11	8±6	20±4	14±11	19±12	17±11	12±5	15±16	11±3
C18:2n6	6±5	7±9	11±6	16±10	22±1**	9±4	11±10	11±10	11±10	12±7	8±8	14±2	7±2*	1±1
C20:3n6	5±2	3±2	2±0.4	2±2	1±0.3	1±2	2±1	1±1	6±4	1±1	4±3	1±0.2	2±0.5	1±1
C20:4n6	2±0.2	1±1	1±0.2	2±3	0.3±0.2	1±1	1±0.1	1±2	1±0.3	1±1	1±1	0.1±0.1	1±0.2	8±8
C22:2n6	5±7	7±8	3±6	3±4	1±0.3	11±8	2±2	9±5	4±4	11±7	3±4	0.3±0.3	2±2	6±3
C22:5n6	2±2	3±3	1±2	6±5	0.2±0.2	1±1	2±2	9±1	3±4	2±1	2±1	2±1	3±5	4±3
PUFAs n6	19±8	21±7	18±3	29±4*	24±1	24±6	18±5	32±12	25±2	27±15	18±6	17±3	14±6	21±5
PUFAs curto	8±6	11±9	13±6	19±11	24±1**	14±3	13±11	14±10	12±11	13±6	11±7	16±3	9±2*	4±1
PUFAs longo	31±12	42±36	18±24	32±30	4±1	24±15	13±12	38±1*	26±17	32±11	23±16	13±6	20±23	28±9
PUFA	39±12	53±27	28±0	51±20	28±0	38±13	26±4	52±9*	38±9	46±11	34±9	29±7	29±22	32±9
Outros	6	8	4	6	3	8	5	6	6	6	6	4	5	7

Fonte: Elaboração do autor.

Verificou-se ainda menores percentuais do perfil de ácidos graxos de SAT em *Waltheria indica* (Tabela 7; Apêndice 5) e menores percentuais do perfil de ácidos graxos PUFA curto em *Macropodium atropurpureum* (Tabela 7; Apêndice 6) quando exposta ao estresse hídrico. Para esta última espécie notou-se ainda menores percentuais do ácido graxo C18:2n6 e maiores percentuais do ácido graxo C18:0 (Tabela 7; Apêndice 7) quando submetido ao estresse hídrico.

A espécie mais responsiva ao estresse hídrico foi a Malvaceae nativa *Sida cerradoensis*, que diminuiu os percentuais de SAT e MUFA (Tabela 7; Apêndice 5) e aumentou os percentuais dos perfis de ácidos graxos PUFA, PUFAs longo, além de uma tendência positiva sobre a porcentagem de PUFA n3 (Tabela 7; Apêndices 5 e 6). Verificou-se ainda para essa espécie maiores percentuais do ácido graxo C22:6n3 quando exposto ao estresse hídrico (Tabela 7; Apêndice 7). Somente *Sida cerradoensis* aumentou o número de insaturações em ácidos graxos frente ao estresse hídrico em casa de vegetação (Figura 4b).

## 4 DISCUSSÃO

No Cerrado, a sazonalidade pluviométrica direciona o crescimento da vegetação (MARCUIZZO *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2016), que está sob constante pressão antrópica (STRASSBURG *et al.*, 2017). Plantas nativas e exóticas vivem sob essas condições. Há informação sobre os efeitos da seca no desenvolvimento fisiológico e na produtividade em diversas espécies de interesse agrícola (PARIZ *et al.*, 2011; BASTOS *et al.*, 2012; ZANDONÁ *et al.*, 2015), porém há poucas informações sobre a responsividade fisiológica e bioquímica em espécies silvestres do estrato herbáceo. Nesse trabalho, foram detectadas mudanças na composição de ácidos graxos de maneira diferenciada para plantas nativas e exóticas face a regimes hídricos natural e experimental.

As espécies nativas do Cerrado evoluíram em local com sazonalidade bem definida, com um período seco de três meses em que pode não cair uma gota de chuva sequer (MALHEIROS, 2016). A plasticidade pode ser definida como capacidade de ajuste morfológico, fisiológico e bioquímico em resposta a mudanças no ambiente (TAIZ *et al.*, 2017), estando diretamente ligada à sobrevivência de espécies quando as mesmas estão sob condições adversas. Plantas em geral apresentam uma diversa gama de estratégias para lidar com estresse osmótico (REITAN *et al.*, 1994; DUARTE *et al.*, 2018). Por exemplo, a gramínea *Spartina patens* altera sua composição lipídica, aumentando os percentuais de SAT em detrimento dos percentuais de PUFA, quando exposta a estresse salino (DUARTE *et al.*, 2018). No presente trabalho, nota-se que tanto em condições experimentais controladas quanto em campo, o estresse hídrico favoreceu ácidos graxos com potencial de aumento de fluidez, tendo sido detectados maiores percentuais de PUFA e suas variações, PUFAs n6 e PUFAs longo, em detrimento de percentuais de SAT e MUFA em gramíneas nativas e exóticas invasoras quando expostas ao estresse hídrico.

O padrão detectado no presente trabalho para espécies nativas e invasoras na amostragem em campo e experimento em casa de vegetação contraria o observado para a espécie naturalizada *Hyparrhenia rufa* e os resultados de De Paula *et al.* (1990) e Dakhma *et al.* (1995), que demonstraram que as espécies *Vigna unguiculata* e *Brassica napus* quando expostas ao estresse hídrico diminuem o grau de insaturações em ácidos graxos, porém vale ressaltar que estas tratam-se de espécies cultivadas, selecionadas geneticamente para produção, o que pode ter acarretado em uma menor variabilidade



genética, influenciado assim na resposta das mesmas sobre diferentes tipos de estresses. Diante do exposto, demonstra-se que as plantas nativas e exóticas (especialmente as invasoras) presentes no bioma Cerrado, aumentam as insaturações e tamanhos de cadeias de ácidos graxos, alterando seus perfis de ácidos graxos em resposta ao estresse hídrico, diferentemente das espécies naturalizadas não-invasoras no mesmo local. Adicionalmente, é importante ressaltar que a limitada resposta da gramínea nativa *Andropogon bicornis* deve-se ao fato da mesma, ao contrário de todas as outras espécies aqui estudadas, ser característica de ambientes úmidos.

O aumento de fluidez de membrana frente ao estresse hídrico pode ser corroborado pela verificação de aumento no percentual de água na parte aérea das espécies *Sida cerradoensis* e *Urochloa decumbens* frente à seca em casa de vegetação; plantas sob estresse hídrico aumentam a fluidez das membranas em raízes e conseqüentemente captam mais água no meio externo. De forma mecanicista a quinase ligada ao sistema Desk pode ter sido ativada nestas espécies, como resposta do estresse, ativando dessaturases e elongases rapidamente e promovendo alterações na estrutura de fosfolípídeos (MENDOZA; PILON, 2019). As semelhanças de resposta entre *Sida cerradoensis* (nativa) e *Urochloa decumbens* (exótica invasora) suscitam discussões quanto aos diversos mecanismos de invasão que variam desde alta eficiência fotossintética e na utilização de nutrientes, até altas taxas de crescimento, rebrotamento e regeneração em invasões biológicas (PIVELLO, 2011). As características, altura aumentada, floração precoce, prolongada e área foliar específica elevada, já foram testadas em uma gama de condições ambientais e experimentais entre espécies exóticas invasoras e não invasoras, e frequentemente são associados a características invasivas (GALLAGHER *et al.*, 2014; MATHAKUTHA *et al.*, 2019; PYŠEK; RICHARDSON, 2007), além de até explorarem plantas nativas vizinhas para satisfazerem suas demandas por nutrientes (LANNES *et al.*, 2020). Todos esses mecanismos conferem a gramíneas invasoras alto grau de plasticidade fenotípica, auxiliando no estabelecimento da espécie mesmo diante de situações desfavoráveis. Os resultados aqui demonstrados indicam que *Urochloa decumbens* apresenta um mecanismo que auxilia em sucesso de invasão alterando seus percentuais de ácidos graxos em função do estresse hídrico de maneira similar a plantas nativas características de Cerrado, não sendo encontrados na literatura registros desse mecanismo para esta espécie.

Além da clara resposta da membrana ao estresse hídrico, curiosamente, nota-se que em campo a espécie *Hyparrhenia rufa*, e em casa de vegetação *Macroptilium*

*atropurpureum* e *Urochloa decumbens* apresentaram maiores percentuais de PUFA curto quando não estão expostas à seca. Esses resultados corroboraram os dados de Reitan et al. (1994), que demonstraram que plantas severamente limitadas por fósforo (P) apresentaram maiores percentuais de SAT e PUFA curto. As três espécies mencionadas são reconhecidamente limitadas por fósforo em seu ambiente natural (LOVADINI *et al.*, 1977; PIETERS; BARUCH, 1997; LANNES *et al.* 2016) e foram coletadas em uma área de Cerrado onde os teores de fósforo no solo são extremamente baixos, em torno de  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$  (TEIXEIRA *et al.*, 2019). Duarte *et al.* (2018) demonstram também que as alterações na composição lipídica de membranas em *Spartina patens* estão ligadas ao controle osmótico, deixando membranas menos permeáveis em resposta ao estresse salino. Dessa forma, a deficiência iônica deve promover aumento de insaturações na membrana visando maior capacidade de captação de íons importantes fisiologicamente. Assim, pode-se especular que maiores percentuais PUFA curto estão diretamente ligados à regulação osmótica e iônica destas espécies, de modo que maiores percentuais de PUFA curto podem auxiliar na maior captação de moléculas para manter o balanço iônico nessas espécies.

Os resultados deste trabalho demonstram que as plantas presentes no bioma Cerrado alteram seus perfis de ácidos graxos frente ao estresse hídrico, tendendo a deixar as membranas de suas raízes mais permeáveis através da sintetização de ácidos graxos insaturados. A principal gramínea invasora presente no Cerrado, *Urochloa decumbens*, beneficia-se desta plasticidade aumentando a absorção de água com o aumento de PUFA nas membranas radiculares, semelhantemente a plantas nativas. Já as espécies naturalizadas de baixo potencial invasor não são eficazes quanto tal inserção de insaturações nas cadeias de ácidos graxos quando em condições secas. Frente a previsões de secas cada vez mais longas e extremas no Cerrado, esse mecanismo pode conferir às plantas nativas maior capacidade de sobrevivência e fornecer um novo mecanismo para explicar invasões por gramíneas exóticas em regiões áridas e ricas em biodiversidade.

## **5 AGRADecIMENTOS**

Os autores agradecem aos funcionários da Fazenda Ilha Solteira da UNESP (FEPE) e aos colegas do Laboratório de Ecologia Vegetal pelo apoio nas coletas e análises das amostras; ao Laboratório de Metabolismo e Reprodução de Organismos Aquáticos (IB/USP) pelo auxílio nas análises de ácidos graxos (cromatografia gasosa). Este trabalho foi financiado pela Coordenação Brasileira de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES (bolsa de estudos DST).

## **6 DECLARAÇÕES**

### **6.1 Contribuições dos autores**

DST, CSR e LSL desenvolveram a questão da pesquisa. DST conduziu os experimentos. DST analisou os dados. DST, CSR e LSL interpretaram os resultados. DST escreveu o artigo. LSL e CSR contribuíram para a escrita do artigo. LSL coordenou o projeto. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

#### **Financiamento**

Este trabalho foi financiado pela Coordenação Brasileira de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (bolsa para DST).

#### **Conflitos de interesse / interesses concorrentes**

Os autores declaram não haver conflitos de interesses.

#### **Disponibilidade de dados e materiais**

Os conjuntos de dados gerados e / ou analisados durante o presente estudo estão disponíveis no Portal Institucional da Unesp.

#### **Disponibilidade de código**

Não aplicável.

#### **Aprovação ética**

Não aplicável.

#### **Consentimento para participar**

Todos os autores consentem em participar neste manuscrito.

#### **Consentimento para publicação**

Todos os autores consentem com a publicação deste manuscrito.

## REFERÊNCIAS

ABID, M.; SCHNEIDER, U. A.; SCHEFFRAN, J. Adaptation to climate change and its impacts on food productivity and crop income: perspectives of farmers in rural Pakistan. **Journal Of Rural Studies**, Oxford, v. 47, p. 254-266, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.08.005>.

ABREU, R. C. R.; DURIGAN, G. Changes in the plant community of a Brazilian grassland savannah after 22 years of invasion by *Pinus elliottii* Engelm. **Plant Ecology & Diversity**, Abingdon, v. 4, p. 269-278, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/17550874.2011.594101>.

ALVIM, E. A. C. C.; KISAKA, T. B.; NARDOTO, G. B.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; FONSECA, B. M.; BUSTAMANTE, M. M. C. Trophic relationships between primary producers and associated fauna in a pristine Cerrado pond. **Journal Of Limnology**, Pavia, v. 78, n. 3, p. 1-27, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2019.1874>.

ANDRADE, L. A.; FABRICANTE, J. R.; OLIVEIRA, F. X. Invasão biológica por *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.: impactos sobre a diversidade e a estrutura do componente arbustivo-arbóreo da caatinga no Estado do Rio Grande do Norte. **Acta Botanica Brasílica**, v. 23, n. 4, p. 935-943, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000400004>.

ANGKAWIJAYA, A. E.; NGUYEN, V. C.; NAKAMURA, Y. Enhanced root growth in phosphate-starved *Arabidopsis* by stimulating de novo phospholipid biosynthesis through the overexpression of LYSOPHOSPHATIDIC ACID ACYLTRANSFERASE 2 (LPAT2). **Plant Cell Environment**, Chichester, v. 40, n. 9, p. 1807-1818, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12988>.

ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 44, p. 1-38, 2011.

BARUCH, Z.; LUDLOW, M. M.; DAVIS, R. Photosynthetic responses of native and introduced C4 grasses from Venezuelan savannas. **Oecologia**, Heidelberg, v. 67, n. 3, p. 388-393, 1985. <https://doi.org/10.1007/BF00384945>.

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; NASCIMENTO, F. N.; CARDOSO, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 1, n. 1, p. 31-37, 2012. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/948927>.

BEHERA, R. K.; MISHRA, P. C.; CHOUDHURY, N. K. High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. **Journal of Plant Physiology**, Muenchen, v. 159, n. 9, p. 967-973, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00823>.

BRASIL. Nações Unidas. **A ONU e a mudança climática**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/mudanca-climatica/>. Acesso em: 18 jan. 2020.

BINGGELI, P. **The human dimensions of invasive woody plants**: the great reshuffling: human dimensions of invasive alien species. Gland and Cambridge: IUCN, 2001. p. 145-160. 2001.

BRIGGS, J. M.; KNAPP, A. K. Interannual variability in primary production in Tallgrass Prairie: climate, soil moisture, topographic position, and fires as determinants of aboveground biomass. **American Journal of Botany**, Oxford, v. 82, p. 1024–1030, 1995.

BUSTAMANTE, M. M. C.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. S.; RESENDE, J. C. F.; TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal Of Biology**, São Carlos, v. 72, n. 3, p. 655-671, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1519-69842012000400005>.

CHEN, D. Q.; WANG, S. W.; QI, L. Y.; YIN, L. N.; DENG, X. P. Galactolipid remodeling is involved in drought-induced leaf senescence in maize. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 150, p. 57–68, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.02.017>.

CHISLOCK, M. F.; DOSTER, E.; ZITOMER, R. A.; WILSON, A. E. Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. **Nature Education Knowledge**, Abingdon, v. 4, n. 4, p. 10, 2013.

COUTINHO, L. M. Ecological effects of fire in Brazilian Cerrado. *In*: HUNTLEY, B. J.; WALKER, B. H. (ed.). **Ecology of tropical savannas**. London: Springer, 1982. p. 273-291.

D'ANTONIO, C.; MEYERSON, L. A. Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. **Restoration Ecology**, Hoboken, v. 10, n. 4, p. 703-713, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2002.01051.x>.

D'ANTONIO, C. M.; VITOUSEK, P. M. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. **Annual Review Of Ecology And Systematics**, Palo Alto, v. 23, n. 1, p. 63-87, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.000431>.

DAKHMA, W. S.; ZARROUK, M.; CHERIF, A. Effects of drought-stress on lipids in rape leaves. **Phytochemistry**, Oxford, v. 40, n. 5, p. 1383–1386, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(95\)00459-K](https://doi.org/10.1016/0031-9422(95)00459-K).

DE PAULA, F. M.; THI, A. T. P.; DE SILVA, J. V.; JUSTIN, A. M.; DEMANDRE, C.; MAZLIAK, P. Effects of water stress on the molecular species composition of polar lipids from *Vigna unguiculata* L. leaves. **Plant Science**, Shannon, v. 66, n. 2, p. 185-193, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(90\)90203-Z](https://doi.org/10.1016/0168-9452(90)90203-Z).

DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do “Campus experimental de Ilha Solteira”**. Piracicaba, ESALQ, 1980. 119 p.

DUARTE, B.; MATOS, A. R.; MARQUES, J. C.; CAÇADOR, I. Leaf fatty acid remodeling in the salt-excreting halophytic grass *Spartina patens* along a salinity gradient. **Plant Physiology and Biochemistry**, Issy les Moulineaux Cedex, v. 124, p. 112–116, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.01.007>.

DUARTE, C. F. D.; PROCHERA, D. L.; PAIVA, L. M.; FERNANDES, H. J.; BISERRA, T. T.; CASSARO, L. H.; FLORES, L. S.; FERNANDES, R. L. Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 71, n. 5, p. 1669-1676, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-10844>.

FALCONE, D. L.; OGAS, J. P.; SOMERVILLE, C. R. Regulation of membrane fatty acid composition by temperature in mutants of *Arabidopsis* with alterations in membrane lipid composition. **BMC Plant Biology**, London, v. 1, p. 4-17, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-4-17>.

FREITAS, G. K.; PIVELLO, V. R. **Invasão biológica pelo capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) em um fragmento de cerrado (A.R.I.E. Cerrado Pé-de-Gigante, Santa Rita do Passa Quatro, SP)**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

FURT, F.; SIMON-PLAS, F.; MONGRAND, S. Lipids of the plant plasma membrane. **Plant Cell Monographs**, Heidelberg, v. 19, p. 3–30, 2010. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-13431-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-13431-9_1).

GALLAGHER, R. V.; RANDALL, R. P.; LEISHMAN, M. R. Trait differences between naturalized and invasive plant species independent of residence time and phylogeny. **Conservation Biology**, Malden, v. 29, p. 360– 369, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/cobi.12399>.

GOMES, L.; MIRANDA, H. S.; SILVÉRIO, D. V.; BUSTAMANTE, M. M. C. Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 458, p. e-117804-117816, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117804>.

GU, Y. N.; HE, L.; ZHAO, C. J.; WANG, F.; YAN, B. W.; GAO, Y. Q.; LI, Z. T.; YANG, K. J.; XU, J. Y. Biochemical and transcriptional regulation of membrane lipid metabolism in maize leaves under low temperature. **Frontiers Plant Science**, New Haven, v. 8, p. 1-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02053>.

HUGHES, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? **Trends in Ecology and Evolution**, Oxford, v. 15, p. 56-61, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01764-4](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01764-4).

INÁCIO-SILVA, M.; CARMO, D. M.; PERALTA, D. F. As espécies brasileiras endêmicas de *Campylopus* Brid. (Bryophyta) estão ameaçadas? Uma análise usando modelagem para avaliar os seus estados de conservação. **Hoehnea**, São Paulo, v. 44, n. 3, p. 464–472, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-08/2017>.

JOUHET, J.; MARECHAL, E.; BLIGNY, R.; JOYARD, J.; BLOCK, M. A. Transient increase of phosphatidylcholine in plant cells in response to phosphate deprivation. **FEBS Letters**, Oxford, v. 544, p. 63–68, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(03\)00477-0](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(03)00477-0).

LARKINDALE, J.; HUANG, B. R. Changes of lipid composition and saturation level in leaves and roots for heat-stressed and heat-acclimated creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 51, n. 1, p. 57–67, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(03\)00060-1](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00060-1).

LANNES, L. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; EDWARDS, P. J.; VENTERINK, H. O. Native and alien herbaceous plants in the Brazilian Cerrado are (co-)limited by different nutrients. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 400, n. 1-2, p. 231–243, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2725-9>.

LANNES, L. S.; KARRER, S.; TEODORO, D. A. A.; BUSTAMANTE, M. M. C.; EDWARDS, P. J.; OLDE, V. H. Species richness both impedes and promotes alien plant invasions in the Brazilian Cerrado. **Scientific Reports**. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68412-5>.

LEITE, M. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; LANNES, L. S. *Urochloa decumbens* Has Higher Mycorrhizal Colonization in Degraded than in Pristine Areas in the Brazilian Cerrado. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 1-12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.006019>.

LIU, X.; MA, D.; ZHANG, Z.; WANG, S.; DU, S.; DENG, X.; YIN, L. Plant lipid remodeling in response to abiotic stresses. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 165, p. 174 -184, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.06.005>.

LI-BEISSON, Y.; SHORROSH, B.; BEISSON, F.; ANDERSSON, M. X.; ARONDEL, V.; BATES, P. D.; BAUD, S.; BIRD, D.; DEBONO, A.; DURRETT, T. P.; FRANKE, R. B.; GRAHAM, I. A.; KATAYAMA, K.; KELLY, A. A.; LARSON, T.; MARKHAM, J. E.; MIQUEL, M.; MOLINA, I.; NISHIDA, I.; ROWLAND, O.; SAMUELS, L.; SCHMID, K. M.; WADA, H.; WELTI, R.; XU, C.; ZALLOT, R.; OHLROGGE, J. Acyl-lipids metabolism. **BioOne**, [s. l.], v. 11, p. 2-70, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1199/tab.0161>.

LI, Q.; ZHENG, Q.; SHEN, W.; CRAM, D.; FOWLER, D. B.; WEI, Y.; ZOU, J. Understanding the biochemical basis of temperature-induced lipid pathway adjustments in plants. **The Plant Cell**, Cary, v. 27, p. 86-103, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.114.134338>.



MALHEIROS, R. A influência da sazonalidade na dinâmica da vida no bioma cerrado (the seasonality influence n the dynamics of life on cerrado biome). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 19, p. 113-128, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v19i0.48876>.

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; COSTA, H. C. Sazonalidade e distribuição espaço-temporal das chuvas no bioma do Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 77-86, 2012. DOI: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/613>.

MARGUTTI, M. P.; REYNA, M.; VILCHEZ, A. C.; VILLASUSO, A. L. Lipid profiling shows tissue-specific differences in barley for glycerolipid composition in response to chilling. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 158, p. 150–160, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.023>.

MATHAKUTHA, R.; STEYN, C.; ROUX, P. C.; BLOM, I. J.; CHOWN, S. L.; DARU, B. H.; RIPLEY, B. S.; LOUW, A.; GREVE, M. Invasive species differ in key functional traits from native and non-invasive alien plant species. **Journal of Vegetation Science**, Oxford, v. 30, n. 5, p. 994-1006, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12772>.

MATOS, D. M. S.; PIVELLO, V. R. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres: alguns casos brasileiros. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 61, n. 1, p. 27-30, 2009.

MCCARTY, J. P. Ecological consequences of recente climate change. **Conservation Biology**, Malden, v. 15, p. 320-331, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x>.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Embrapa Informação Tecnológica, 2008. Brasília, DF: Embrapa, 2008. p 421-442.

MENDOZA, D.; PILON, M. Control of membrane lipid homeostasis by lipid-bilayer associated sensors: a mechanism conserved from bacteria to humans. **Progress in Lipid Research**, Oxford, v. 76, p. 1-18, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2019.100996>.

MICHAUD, M.; JOUHET, J. Lipid Trafficking at Membrane Contact Sites During Plant Development and Stress Response. **Frontiers In Plant Science**, Lausanne, v. 10, n.2, p. 1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00002>.

MORO, M. F.; SOUZA, V. C.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; QUEIROZ, L. P.; FRAGA, C. N.; RODAL, M. J. N.; ARAÚJO, F. S.; MARTINS, F. R. Alienígenas na sala: o que fazer com espécies exóticas em trabalhos de taxonomia, florística e fitossociologia? **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 26, p. 981-989, 2012.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853–858, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1038/35002501>.

NARAYANAN, S.; TAMURA, P. J.; ROTH, M. R.; PRASAD, P. V.; WELTI, R. Wheat leaf lipids during heat stress: I. High day and night temperatures result in major lipid alterations. **Plant Cell Environment**, Chichester, v. 39, n. 4, p. 787–803, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12649>.

NOBRE, C. A.; LAPOLA, D.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F.; CARDOSO, M.; OYAMA, M. **Mudanças climáticas globais e possíveis alterações nos biomas da América do Sul**. São Paulo: DCBIO, 2007. 25 p. Relatório nº 6. Ministério do Meio ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas - SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade.

OLDE, V. H. Legumes have a higher root phosphatase activity than other forbs, particularly under low inorganic P and N supply. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 347, p. 137–146, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0834-7>.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 875-882, 2011.

PEZZOPANE, C. D. E. G.; SANTOS, P. M.; CRUZ, P. G.; ALTOÉ, J.; RIBEIRO, F. A.; VALLE, C. B. Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 5, p. 871–876, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130915>.

PIMENTEL, D.; MCNAIR, S.; JANECKA, J.; WIGHTMAN, J.; SIMMONDS, C.; O'CONNELL, C.; WONG, E.; RUSSEL, L.; ZERN, J.; AQUINO, T.; TSOMONDO, T. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 1-20, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00178-X).

PIVELLO, V. R. Invasões biológicas no cerrado brasileiro: efeitos da introdução de espécies exóticas sobre a biodiversidade. **Ecologia Info** v. 33, p. 1-8, 2011. DOI: <http://www.ecologia.info/>.

PYŠEK, P.; RICHARDSON, D. M. Traits associated with invasiveness in alien plants: where do we stand? **Biological Invasions**, Dordrecht, v. 193, p. 97– 125, 2007. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-36920-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-540-36920-2_7).

REITAN, K. I.; RAINUZZO, J. R.; OLSEN, Y. Effect of nutrient limitation on fatty acid and lipid content of marine microalgae. **Journal of Phycology**, Hoboken, v. 30, n. 6, p. 972-979, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1994.00972.x>.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. Brasília, DF, 1998. P. 89-166.

RICHARDSON, D. M.; PYŠEK, P. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invasibility. **Progress in Physical Geography**, London, v. 30, n. 3, p. 409-431, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1191/0309133306pp490pr>.

ROSENZWEIG, M. The four questions: What does the introduction of exotic species do to diversity? **Evolutionary Ecology Research**, Tucson, v. 3, p. 361-367, 2001.

SANDELIUS, A. S.; LILJENBERG, C. Light-induced-changes in the lipid composition and ultrastructure of plastids from potato-tubers. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 56, n. 3, p. 266-272, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1982.tb00337.x>.

SANKARAN, M. Droughts and the ecological future of tropical savana vegetation. **Journal of Ecology**, West Sussex, v. 107, n. 4, p. 1531-1549, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13195>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. C. Fosfatase ácida e micorrização de espécies arbóreas, em solo de cerrado degradado. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 445-451, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000200024>.

SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>.

SHEN, W.; LI, J. Q.; DAUK, M.; HUANG, Y.; PERIAPPURAM, C.; WEI, Y.; ZOU, J. Metabolic and transcriptional responses of glycerolipid pathways to a perturbation of glycerol 3-phosphate metabolism in arabidopsis. **Journal of Biological Chemistry**, New York, v. 285, n. 30, p. 22957-22965, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1074/jbc.M109.097758>.

SOUZA, G. M.; GURGEL, H. D. A. C.; CIAMP, P. M. Análise sazonal da vegetação do Cerrado por meio de dados do sensor MODIS no Distrito Federal (Brasil). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 502-520, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v36i3.44555>.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. A moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, London, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, D. S.; REZENDE, A. A.; LANNES, L. S. Response of vegetation to sheep dung addition in a degraded Cerrado area. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 1, p. 47-52, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p47-52>.

TILMAN D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. **Science**, Washington, v. 292, n. 5515, p. 281–284, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1057544>.

TORRES-FRANKLIN, M. L.; GIGON, A.; MELO, D. F.; ZUILY-FODIL, Y.; PHAM-THI, A. T. Drought stress and rehydration affect the balance between MGDG and DGDG synthesis in cowpea leaves. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 131, n. 2, p. 201–210, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00943.x>.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP. Faculdade de Engenharia. Área de Hidráulica e Irrigação. **Canal CLIMA da UNESP Ilha Solteira São Paulo/Brasil**. Ilha Solteira: Unesp, 2022.

UZÊDA, M. C.; FIDALGO, E. C. C.; MOREIRA, R. V. D. S.; FONTANA, A.; DONAGEMMA, G. K. Eutrofização de solos e comunidade arbórea em fragmentos de uma paisagem agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1120-1130, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900011>.

VALE, M. M.; ALVES, M. A. S.; LORINI, M. L. Mudanças climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 518-535, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1303.07>.

VILLELA, D. M. V.; HARIDASAN, M. Response of the ground layer community of a cerrado vegetation in central Brazil to liming and irrigation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 163, p. 25-31, 1994.

VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M. Human Domination of earth's ecosystems. **Science**, Washington, v. 277 n. 5325, p. 494–499, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.494>.

WALTHER, G. R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T. J. C.; FROMETIN, J. M.; HOEGH-GULDBERG, O.; BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. **Nature**, London, v. 416, p. 389-395, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1038/416389a>.

WALTHER, G. R.; BERGER, S.; SYKES, M. T. An ecological “footprint” of climate change. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 272, p. 1427–1432, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3119>.

WANG, G. P.; LI, F.; ZHANG, J.; ZHAO, M. R.; HUI, Z.; WANG, W. Overaccumulation of glycine betaine enhances tolerance of the photosynthetic apparatus to drought and heat stress in wheat. **Photosynthetica**, Prague, v. 48, p. 30–41, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0006-7>.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R.; Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

ZHANG, M.; BARG, R.; YIN, M. G.; GUETA-DAHAN, Y.; LEIKIN-FRENKEL, A.; SALTS, Y.; SHABTAI, S.; BEN-HAYYIM, G. Modulated fatty acid desaturation via overexpression of two distinct omega-3 desaturases differentially alters tolerance to various abiotic stresses in transgenic tobacco cells and plants. **The Plant Journal**, West Sussex, v. 44, n. 3, p. 361–371, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02536.x>.

ZHENG, G.; LI, L.; LI, W. Glycerolipidome responses to freezing- and chilling induced injuries: examples in Arabidopsis and rice. **BMC Plant Biology**, London, v. 16, n.1, p. 1-15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0758-8>.

ZIRONDI, H. L.; PINHO, J. H.; DAIBES, L. F.; FIDELIS, A. Heat and smoke affect the germination of flammable resprouters: *Vellozia* species in the Cerrado. **Folia Geobotanica**, Dordrecht, v. 54, p. 65-72, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12224-019-09337-4>.

## APÊNDICES

**Apêndice 1** – Perfil dos principais grupamentos de ácidos graxos (Saturado, Monoinsaturado e Polinsaturado) de plantas de Cerrado em função dos tratamentos com estresse hídrico (período seco) e sem estresse hídrico (período chuvoso) em amostragem em campo. Os dados referem-se às médias de percentagens e desvios-padrão, valores de t e P associados ao teste t de Student.

	<b>Saturado (SAT)</b>	<b>Monoinsaturado (MUFA)</b>	<b>Polinsaturado (PUFA)</b>
<b><i>Waltheria indica</i></b>			
Chuvoso	34.97 ± 7.94	23.61 ± 6.44	41.42 ± 9.68
Seco	24.82 ± 11.89	22.70 ± 11.54	52.48 ± 14.24
t(P)	1.58 (0.151)	0.14 (0.881)	-1.44 (0.188)
<b><i>Stylosanthes guianensis</i></b>			
Chuvoso	24.04 ± 13.08	14.34 ± 2.11	61.62 ± 12.35
Seco	22.76 ± 6.41	10.65 ± 3.68	66.59 ± 8.86
t(P)	0.17 (0.864)	1.89 (0.098)	-0.66 (0.522)
<b><i>Andropogon leucostachyus</i></b>			
Chuvoso	34.95 ± 16.20	16.20 ± 3.42	48.86 ± 9.86
Seco	30.22 ± 7.04	14.06 ± 2.55	55.72 ± 7.85
t(P)	0.81 (0.438)	1.11 (0.294)	-1.22 (0.257)
<b><i>Andropogon bicornis</i></b>			
Chuvoso	31.41 ± 15.41	13.77 ± 5.11	54.83 ± 10.75
Seco	40.32 ± 11.79	7.97 ± 1.30	51.72 ± 11.43
t(P)	-0.95 (0.373)	2.19 ( <b>0.064</b> )	0.42 (0.687)
<b><i>Chloris barbata</i></b>			
Chuvoso	43.50 ± 3.97	11.35 ± 2.68	45.15 ± 6.49
Seco	24.39 ± 9.69	16.78 ± 9.54	58.83 ± 11.71
t(P)	4.08 ( <b>0.003</b> )	-1.21 (0.255)	-2.29 ( <b>0.051</b> )
<b><i>Hyparrhenia rufa</i></b>			
Chuvoso	28.82 ± 15.54	15.65 ± 3.68	55.48 ± 18.95
Seco	35.62 ± 13.64	26.86 ± 11.98	37.52 ± 4.36
t(P)	-0.73 (0.482)	-2.00 ( <b>0.080</b> )	2.05 ( <b>0.072</b> )
<b><i>Melinis repens</i></b>			
Chuvoso	38.45 ± 9.79	15.39 ± 1.68	46.16 ± 11.12
Seco	38.84 ± 12.56	15.92 ± 6.13	45.24 ± 7.90
t(P)	-0.05 (0.958)	-0.17 (0.857)	0.15 (0.884)
<b><i>Urochloa brizantha</i></b>			
Chuvoso	49.50 ± 6.53	22.36 ± 8.48	31.14 ± 5.48
Seco	29.08 ± 14.34	14.34 ± 7.54	56.57 ± 20.96
t(P)	2.44 ( <b>0.040</b> )	1.58 (0.153)	-02.61 ( <b>0.030</b> )
<b><i>Urochloa decumbens</i></b>			
Chuvoso	39.97 ± 12.55	15.57 ± 2.97	44.46 ± 15.37
Seco	30.35 ± 9.18	13.96 ± 5.29	55.69 ± 9.34
t(P)	1.38 (0.203)	0.58 (0.568)	-1.40 (0.200)

**Apêndice 2** – Perfil dos principais grupamentos de ácidos graxos das subclasses de Polinsaturado (Polinsaturado n3 (PUFAs n3), Polinsaturado n6 (PUFAs n6), Polinsaturado com cadeias curtas (PUFAs curto) e Polinsaturado com cadeias longas (PUFAs longo)) de plantas de Cerrado em função dos tratamentos com estresse hídrico (período seco) e sem estresse hídrico (período chuvoso) em amostragem em campo. Os dados referem-se às médias de percentagens e desvios-padrão, valores de t e P associados ao teste t de Student.

	Polinsaturado PUFAs n3	Polinsaturad o	Polinsaturado PUFAs curto	Polinsaturado PUFAs longo
<b><i>Waltheria indica</i></b>				
Chuvoso	18.61 ± 5.39	22.81 ± 6.69	13.58 ± 7.25	27.84 ± 10.51
Seco	26.70 ± 5.69	25.78 ± 13.36	8.27 ± 4.44	44.21 ± 11.37
t(P)	-2.31 ( <b>0.049</b> )	-0.44 (0.668)	1.38 (0.200)	-2.35 ( <b>0.045</b> )
<b><i>Stylosanthes guianensis</i></b>				
Chuvoso	31.93 ± 10.49	29.70 ± 9.98	15.52 ± 10.27	46.10 ± 21.85
Seco	28.78 ± 7.72	37.81 ± 12.13	16.59 ± 10.31	50.00 ± 14.75
t(P)	0.50 (0.632)	-1.10 (0.306)	-0.14 (0.881)	-0.29 (0.770)
<b><i>Andropogon leucostachyus</i></b>				
Chuvoso	23.85 ± 9.64	25.00 ± 2.85	24.00 ± 8.86	24.86 ± 16.68
Seco	22.95 ± 8.13	32.77 ± 6.99	23.58 ± 17.65	32.14 ± 19.30
t(P)	0.16 (0.877)	-2.29 ( <b>0.050</b> )	0.05 (0.963)	-0.64 (0.541)
<b><i>Andropogon bicornis</i></b>				
Chuvoso	23.25 ± 9.63	31.58 ± 7.97	29.13 ± 9.57	25.69 ± 15.59
Seco	21.07 ± 9.72	30.65 ± 6.55	23.82 ± 8.58	27.90 ± 17.99
t(P)	0.32 (0.746)	0.18 (0.856)	0.85 (0.415)	-0.20 (0.849)
<b><i>Chloris barbata</i></b>				
Chuvoso	17.83 ± 5.07	27.32 ± 4.07	23.23 ± 6.39	21.92 ± 11.65
Seco	28.84 ± 15.95	29.99 ± 11.05	15.63 ± 10.60	43.20 ± 17.92
t(P)	-1.65 (0.134)	-0.50 (0.625)	1.36 (0.207)	-2.23 ( <b>0.056</b> )
<b><i>Hyparrhenia rufa</i></b>				
Chuvoso	28.91 ± 15.89	26.57 ± 8.14	23.13 ± 4.03	32.35 ± 18.99
Seco	20.61 ± 3.60	16.91 ± 2.84	15.84 ± 3.97	21.68 ± 4.65
t(P)	1.14 (0.287)	2.183 ( <b>0.036</b> )	2.879 ( <b>0.020</b> )	1.21 (0.256)
<b><i>Melinis repens</i></b>				
Chuvoso	14.84 ± 9.05	31.31 ± 4.28	23.44 ± 6.33	22.72 ± 14.44
Seco	20.60 ± 4.06	24.65 ± 6.41	18.04 ± 4.83	27.20 ± 7.10
t(P)	-1.30 (0.230)	1.93 ( <b>0.089</b> )	1.58 (0.149)	-0.61 (0.550)
<b><i>Urochloa brizantha</i></b>				
Chuvoso	8.09 ± 2.52	23.06 ± 4.59	23.59 ± 5.54	7.56 ± 2.99
Seco	25.83 ± 20.67	30.74 ± 9.93	20.35 ± 16.62	36.23 ± 31.08
t(P)	-1.89 (0.093)	-1.57 (0.154)	0.40 (0.690)	-2.04 ( <b>0.074</b> )
<b><i>Urochloa decumbens</i></b>				
Chuvoso	19.72 ± 15.54	24.74 ± 5.13	22.99 ± 10.46	21.48 ± 24.03
Seco	27.20 ± 9.38	28.50 ± 1.91	12.45 ± 4.39	43.25 ± 11.29
t(P)	-0.92 (0.384)	-1.53 (0.163)	2.08 ( <b>0.071</b> )	-2.54 ( <b>0.034</b> )

**Apêndice 3** – Principais ácidos graxos com representatividade amostral > 5% em plantas de Cerrado em função dos tratamentos com estresse hídrico (período seco) e sem estresse hídrico (período chuvoso) em amostragem em campo. Os dados referem-se às médias de percentagens e desvios-padrão, valores de t e P associados ao teste t de Student.

	chuvoso	seco	t(P)
<i>Waltheria indica</i>			
C16:0	12.75 ± 7.21	8.07 ± 5.32	1.16 (0.275)
C18:0	5.51 ± 7.87	2.50 ± 1.40	0.84 (0.423)
C18:1	11.38 ± 11.23	11.70 ± 7.48	-0.05 (0.958)
C18:2n6	8.97 ± 6.63	6.40 ± 4.57	0.71 (0.495)
C20:4n3	5.74 ± 4.70	6.32 ± 3.52	-0.21 (0.833)
C22:0	8.99 ± 9.16	4.11 ± 5.16	1.03 (0.329)
C22:1	5.26 ± 1.86	6.36 ± 5.17	-0.44 (0.667)
C22:2n6	7.45 ± 5.93	8.97 ± 8.16	-0.33 (0.745)
C22:5n3	2.79 ± 2.13	8.77 ± 3.04	-3.60 (0.006)
C22:6n3	5.46 ± 1.93	9.74 ± 5.21	-1.72 (9.739)
<i>Stylosanthes guianensis</i>			
C16:0	10.07 ± 8.60	8.34 ± 5.31	0.35 (0.735)
C18:1	4.58 ± 3.65	5.29 ± 0.91	-0.37 (0.717)
C18:2n6	11.24 ± 8.75	11.97 ± 8.86	-0.12 (0.905)
C22:1	6.75 ± 3.24	3.13 ± 2.85	1.75 (0.123)
C22:2n6	10.62 ± 7.01	12.96 ± 9.92	-0.41 (0.690)
C22:5n6	6.77 ± 9.35	11.77 ± 7.81	-0.85 (0.420)
C22:5n3	13.57 ± 9.19	8.31 ± 3.76	1.06 (0.322)
C22:6n3	11.19 ± 5.10	13.83 ± 9.68	-0.53 (0.612)
<i>Andropogon leucostachyus</i>			
C16:0	17.28 ± 10.26	12.79 ± 3.76	0.91 (0.384)
C18:1	11.14 ± 2.75	8.52 ± 3.56	1.30 (0.228)
C18:2n6	18.70 ± 8.67	19.15 ± 13.05	-0.06 (0.950)
C18:3n3	5.30 ± 2.06	4.43 ± 4.86	0.36 (0.724)
C20:0	5.87 ± 3.13	4.13 ± 3.08	0.88 (0.400)
C20:4n3	6.15 ± 5.96	2.73 ± 2.23	1.20 (0.264)
C22:2n6	3.68 ± 4.61	6.02 ± 5.94	-0.69 (0.505)
C23:0	2.01 ± 2.97	5.20 ± 6.56	-0.99 (0.350)
C22:5n6	1.51 ± 2.48	5.47 ± 6.73	-1.23 (0.251)
C22:5n3	6.61 ± 7.40	8.70 ± 5.90	-0.49 (0.635)
C22:6n3	5.80 ± 3.82	7.09 ± 4.22	-0.50 (0.626)
<i>Andropogon bicornis</i>			
C16:0	16.72 ± 14.76	13.54 ± 7.29	0.39 (0.708)
C18:2n6	23.47 ± 9.40	19.07 ± 9.71	0.68 (0.513)
C18:3n3	5.67 ± 2.17	4.75 ± 2.79	0.55 (0.595)
C20:0	5.55 ± 3.49	2.76 ± 1.76	1.44 (0.191)
C20:4n3	2.70 ± 2.40	6.89 ± 3.40	-2.17 (0.066)
C22:0	2.34 ± 1.91	13.65 ± 7.51	-3.29 (0.013)
C22:5n3	6.24 ± 5.47	5.71 ± 6.51	0.13 (0.899)
C22:5n6	2.96 ± 4.50	5.85 ± 5.97	-0.83 (0.433)
C22:6n3	8.65 ± 8.83	3.72 ± 4.90	0.99 (0.354)
<i>Chloris barbata</i>			
C16:0	20.01 ± 1.55	7.68 ± 7.37	3.65 (0.006)
C18:1	8.13 ± 2.28	11.08 ± 9.89	-0.65 (0.533)
C18:2n6	19.38 ± 4.50	11.08 ± 7.19	2.18 (0.060)
C20:0	10.66 ± 4.87	4.17 ± 7.19	1.67 (0.133)
C20:4n3	7.79 ± 6.12	1.15 ± 1.34	2.37 (0.045)
C22:0	6.37 ± 1.40	2.61 ± 1.91	3.54 (0.007)
C22:5n6	1.76 ± 2.18	9.07 ± 7.59	-2.06 (0.072)
C22:5n3	3.29 ± 1.58	11.10 ± 6.79	-2.50 (0.036)
C22:6n3	2.90 ± 0.70	12.04 ± 12.07	-1.69 (0.129)
<i>Hyparrhenia rufa</i>			



<b>C16:0</b>	10.12 ± 8.39	14.73 ± 8.53	-0.86 (0.413)
<b>C18:1</b>	7.92 ± 2.99	7.34 ± 3.88	0.26 (0.797)
<b>C18:2n6</b>	16.63 ± 6.26	12.66 ± 3.39	1.24 (0.247)
<b>C18:3n3</b>	6.50 ± 4.17	3.19 ± 1.69	1.64 (0.138)
<b>C20:4n3</b>	6.14 ± 3.38	11.32 ± 6.84	-1.51 (0.167)
<b>C22:0</b>	7.54 ± 6.00	6.84 ± 14.44	0.09 (0.923)
<b>C22:1</b>	2.06 ± 2.05	14.57 ± 13.66	-2.02 (0.077)
<b>C22:5n3</b>	7.97 ± 6.67	3.92 ± 3.41	1.20 (0.260)
<b>C22p6n3</b>	8.30 ± 4.86	2.18 ± 2.13	2.57 (0.032)
<i>Melinis repens</i>			
<b>C16:0</b>	20.27 ± 11.81	16.37 ± 8.73	0.59 (0.568)
<b>C18:1</b>	9.98 ± 3.26	8.00 ± 1.65	1.20 (0.261)
<b>C18:2n6</b>	20.42 ± 7.08	14.85 ± 5.55	1.38 (0.203)
<b>C20:4n3</b>	3.52 ± 1.94	11.42 ± 5.94	-2.82 (0.022)
<b>C22:0</b>	4.15 ± 0.85	10.00 ± 9.45	-1.37 (0.205)
<b>C22:5n6</b>	7.57 ± 4.34	4.99 ± 2.52	1.15 (0.282)
<b>C22:6n3</b>	5.39 ± 1.83	4.36 ± 2.17	0.80 (0.442)
<i>Urochloa brizantha</i>			
<b>C16:0</b>	28.83 ± 6.43	9.78 ± 8.57	3.97 (0.004)
<b>C16:1</b>	5.08 ± 6.01	1.78 ± 1.30	1.20 (0.263)
<b>C18:1</b>	15.05 ± 7.09	7.25 ± 4.86	2.02 (0.077)
<b>C18:2n6</b>	21.03 ± 4.87	16.47 ± 13.21	0.72 (0.489)
<b>C20:0</b>	6.88 ± 2.35	7.65 ± 10.53	-0.16 (0.876)
<b>C22:5n6</b>	0.70 ± 0.39	7.19 ± 10.50	-2.77 (0.024)
<b>C22:5n3</b>	0.85 ± 0.65	14.08 ± 15.82	-1.86 (0.098)
<b>C22:6n3</b>	2.29 ± 0.71	7.49 ± 7.09	-2.52 (0.035)
<i>Urochloa decumbens</i>			
<b>C16:0</b>	18.62 ± 10.33	8.53 ± 6.08	1.88 (0.096)
<b>C18:1</b>	9.22 ± 3.64	5.07 ± 4.12	1.68 (0.129)
<b>C18:2n6</b>	18.31 ± 10.91	10.42 ± 5.43	1.44 (0.186)
<b>C20:0</b>	8.47 ± 5.90	7.23 ± 10.08	0.23 (0.818)
<b>C22:2n6</b>	1.53 ± 2.11	7.03 ± 6.76	-1.73 (0.120)
<b>C22:5n6</b>	3.16 ± 4.74	7.62 ± 5.59	-1.36 (0.210)
<b>C22:5n3</b>	3.57 ± 3.69	10.31 ± 4.11	-2.72 (0.026)
<b>C22:6n3</b>	8.68 ± 11.07	10.62 ± 8.72	-0.30 (0.766)

**Apêndice 4** – Características de plantas de Cerrado em função aos tratamentos com estresse hídrico e sem estresse hídrico em casa de vegetação. Os dados referem-se às médias de percentagens e desvios-padrão, valores de t e P associados ao teste t de Student. NM = não mensurado. N=3.

	Altura (cm)	Comprimento da raiz (cm)	Diâmetro do caule (cm)	Fosfatase ácida ( $\mu\text{mol pNPP g-raiz}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	% água parte aérea	% água parte radicular
<b><i>Urochloa decumbens</i></b>						
Sem estresse	127.17 ± 19.52*	142.93 ± 11.90	7.41 ± 1.03	285.42 ± 82.40	61.60 ± 0.38	71.01 ± 2.24
Com estresse	49.30 ± 11.53*	49.17 ± 31.76	3.18 ± 0.50	708.08 ± 53.57	68.89 ± 0.21	74.53 ± 1.13
t(P)	-5.75 ( <b>0.004</b> )	-4.79 ( <b>0.008</b> )	-6.40 ( <b>0.003</b> )	7.45 ( <b>0.002</b> )	29.20 (< <b>0.001</b> )	2.41 (0.072)
<b><i>Andropogon leucostachyus</i></b>						
Sem estresse	65.87 ± 2.89	31.93 ± 3.89	5.69 ± 0.61	167.58 ± 91.57	66.40 ± 5.98	73.46 ± 0.72
Com estresse	43.87 ± 12.93	46.67 ± 40.13	4.75 ± 1.07	745.98 ± 842.01	53.75 ± 13.24	67.22 ± 6.05
t(P)	-2.86 ( <b>0.045</b> )	0.62 (0.561)	-1.30 (0.260)	1.17 (0.302)	-1.49 (0.206)	-1.76 (0.150)
<b><i>Pennisetum setosum</i></b>						
Sem estresse	62.97 ± 24.03	83.27 ± 17.44	10.46 ± 4.15*	71.29 ± 44.46	76.76 ± 2.10	82.39 ± 2.76
Com estresse	65.80 ± 30.50	86.27 ± 44.98	9.93 ± 3.81*	494.24 ± 22.28	77.16 ± 2.84	69.36 ± 2.70
t(P)	0.13 (0.905)	0.11 (0.919)	-0.17 (0.862)	14.72 (< <b>0.001</b> )	0.20 (0.854)	-5.85 ( <b>0.004</b> )
<b><i>Sida cerradoensis</i></b>						
Sem estresse	137.03 ± 30.44	70.17 ± 13.29	5.69 ± 0.82	515.53 ± 438.12	63.59 ± 1.28	73.15 ± 2.35
Com estresse	28.10 ± 6.51	61.33 ± 11.85	3.01 ± 0.20	762.22 ± 732.83	68.01 ± 1.36	57.89 ± 0.86
t(P)	-6.05 ( <b>0.003</b> )	-0.86 (0.438)	-5.52 ( <b>0.005</b> )	0.49 (0.643)	4.09 ( <b>0.014</b> )	-10.56 (< <b>0.001</b> )
<b><i>Sida cordifolia</i></b>						
Sem estresse	197.13 ± 5.25	57.80 ± 5.87	5.17 ± 0.16	483.35 ± 286.63	63.83 ± 0.84	NM
Com estresse	9.83 ± 2.06	30.67 ± 16.04	1.08 ± 0.29	1427.27 ± 1606.59	70.06 ± 2.44	NM
t(P)	-57.48 (< <b>0.001</b> )	-2.74 (0.051)	-21.54 (< <b>0.001</b> )	0.99 (0.373)	4.16 ( <b>0.013</b> )	NM
<b><i>Waltheria indica</i></b>						
Sem estresse	50.67 ± 15.20	36.57 ± 21.45	4.74 ± 1.85	488.53 ± 156.02	60.31 ± 2.78	67.16 ± 5.31
Com estresse	26.93 ± 9.39	38.20 ± 21.68	5.32 ± 2.98	350.26 ± 63.47	72.95 ± 4.76	65.54 ± 3.60
t(P)	-2.29 (0.082)	0.08 (0.930)	0.29 (0.788)	-1.41 (0.228)	3.97 ( <b>0.016</b> )	-0.44 (0.683)
<b><i>Macroptilium atropurpureum</i></b>						
Sem estresse	154.30 ± 17.90	62.73 ± 0.87	6.86 ± 0.33	2105.06 ± 802.68	68.58 ± 2.24	80.45 ± 3.84
Com estresse	40.33 ± 11.73	31.17 ± 3.75	2.65 ± 0.34	1250.94 ± 1216.37	71.39 ± 4.65	77.02 ± 1.62
t(P)	-9.21 (< <b>0.001</b> )	-14.18 (< <b>0.001</b> )	-15.47 (< <b>0.001</b> )	-1.00 (0.367)	0.93 (0.399)	-1.43 (0.226)

**Apêndice 5** – Perfil dos principais grupamentos de ácidos graxos (Saturado, Monoinsaturado e Polinsaturado) de plantas de Cerrado em função dos tratamentos com estresse hídrico (período seco) e sem estresse hídrico (período chuvoso) em experimento em casa de vegetação.

	<b>Saturado (SAT)</b>	<b>Monoinsatado (MUFA)</b>	<b>Polinsaturado (PUFA)</b>
<b><i>Urochloa decumbens</i></b>			
Sem estresse	53.13 ± 1.80	18.85 ± 1.43	28.02 ± 0.45
Com estresse	38.97 ± 10.40	23.12 ± 6.81	37.91 ± 13.50
t(P)	-2.31 ( <b>0.080</b> )	1.05 (0.348)	1.27 (0.273)
<b><i>Andropogon leucostachyus</i></b>			
Sem estresse	45.66 ± 17.65	23.50 ± 3.61	30.84 ± 18.73
Com estresse	36.78 ± 19.20	12.40 ± 2.49	50.82 ± 20.02
t(P)	-0.59 (0.587)	-4.37 ( <b>0.011</b> )	1.25 (0.275)
<b><i>Pennisetum setosum</i></b>			
Sem estresse	33.18 ± 11.74	28.08 ± 10.86	38.74 ± 11.98
Com estresse	35.56 ± 21.99	11.46 ± 5.57	52.98 ± 27.42
t(P)	0.15 (0.877)	-2.36 ( <b>0.077</b> )	0.81 (0.455)
<b><i>Sida cerradoensis</i></b>			
Sem estresse	41.68 ± 2.87	32.04 ± 3.38	26.28 ± 4.38
Com estresse	31.20 ± 5.74	17.23 ± 4.33	51.57 ± 9.19
t(P)	-2.82 ( <b>0.047</b> )	-4.66 ( <b>0.009</b> )	4.29 ( <b>0.012</b> )
<b><i>Sida cordifolia</i></b>			
Sem estresse	41.71 ± 9.28	19.68 ± 3.43	38.61 ± 8.57
Com estresse	40.01 ± 11.73	14.32 ± 1.02	45.67 ± 11.16
t(P)	-0.19 (0.853)	-2.59 ( <b>0.060</b> )	0.86 (0.433)
<b><i>Waltheria indica</i></b>			
Sem estresse	41.76 ± 2.50	23.91 ± 11.14	34.34 ± 8.97
Com estresse	34.90 ± 2.33	35.85 ± 4.88	29.24 ± 6.88
t(P)	-3.46 ( <b>0.025</b> )	1.69 (0.164)	-0.77 (0.478)
<b><i>Macroptilium atropurpureum</i></b>			
Sem estresse	43.68 ± 15.16	27.06 ± 13.43	29.26 ± 21.64
Com estresse	41.06 ± 1.87	26.79 ± 7.83	32.14 ± 8.63
t(P)	-0.30 (0.781)	-0.03 (0.977)	0.20 (0.840)

**Apêndice 6** – Perfil dos principais grupamentos de ácidos graxos das subclasses de Polinsaturado: Polinsaturado n3 (PUFAs n3), Polinsaturado n6 (PUFAs n6), Polinsaturado com cadeias curtas (PUFAs curto) e Polinsaturado com cadeias longas (PUFAs longo) de plantas de Cerrado em função dos tratamentos com estresse hídrico e sem estresse hídrico em experimento em casa de vegetação.

	<b>Polinsaturado PUFAs n3</b>	<b>Polinsaturado PUFAs n6</b>	<b>Polinsaturado PUFAs curto</b>	<b>Polinsaturado PUFAs longo</b>
<b><i>Urochloa decumbens</i></b>				
Sem estresse	3.62 ± 1.13	24.32 ± 1.23	23.78 ± 1.06	4.24 ± 0.75
Com estresse	14.40 ± 10.92	23.51 ± 6.15	13.78 ± 3.27	24.13 ± 14.60
t(P)	1.69 (0.163)	-0.24 (0.817)	-5.03 ( <b>0.007</b> )	2.36 ( <b>0.077</b> )
<b><i>Andropogon leucostachyus</i></b>				
Sem estresse	12.59 ± 16.09	18.25 ± 3.15	13.30 ± 5.73	17.55 ± 23.81
Com estresse	22.15 ± 19.03	28.67 ± 4.08	18.67 ± 11.28	32.15 ± 29.52
t(P)	0.65 (0.542)	3.50 ( <b>0.024</b> )	0.72 (0.502)	1.01 (0.369)
<b><i>Pennisetum setosum</i></b>				
Sem estresse	19.40 ± 5.62	19.33 ± 7.71	7.99 ± 6.20	30.75 ± 12.24
Com estresse	32.15 ± 29.36	20.83 ± 7.13	11.37 ± 8.87	41.61 ± 35.93
t(P)	0.74 (0.501)	0.24 (0.816)	0.53 (0.616)	0.48 (0.646)
<b><i>Sida cerradoensis</i></b>				
Sem estresse	8.47 ± 6.06	17.82 ± 4.98	12.81 ± 10.97	13.47 ± 12.55
Com estresse	19.64 ± 3.65	31.93 ± 11.99	13.94 ± 9.65	37.63 ± 1.54
t(P)	2.48 ( <b>0.067</b> )	1.88 (0.132)	0.12 (0.900)	3.31 ( <b>0.029</b> )
<b><i>Sida cordifolia</i></b>				
Sem estresse	13.75 ± 10.71	24.86 ± 2.48	12.34 ± 11.28	26.27 ± 16.65
Com estresse	19.10 ± 11.81	26.58 ± 15.40	13.40 ± 6.20	32.28 ± 11.42
t(P)	0.58 (0.592)	0.22 (0.834)	0.14 (0.893)	0.51 (0.633)
<b><i>Waltheria indica</i></b>				
Sem estresse	16.73 ± 11.39	17.61 ± 6.05	10.99 ± 7.29	23.34 ± 15.75
Com estresse	11.87 ± 4.98	17.37 ± 2.56	16.38 ± 2.82	12.86 ± 5.85
t(P)	-0.68 (0.535)	-0.06 (0.952)	1.18 (0.299)	-1.07 (0.340)
<b><i>Macroptilium atropurpureum</i></b>				
Sem estresse	14.96 ± 16.00	14.30 ± 5.86	8.93 ± 2.52	20.33 ± 22.53
Com estresse	10.75 ± 3.24	21.39 ± 5.45	4.34 ± 1.10	27.80 ± 8.85
t(P)	-0.45 (0.678)	1.53 (0.199)	-3.46 ( <b>0.025</b> )	0.52 (0.621)

**Apêndice 7** – Principais ácidos graxos com representatividade amostral > 5% em plantas de Cerrado em função dos tratamentos com estresse hídrico e sem estresse hídrico em experimento em casa de vegetação. Os dados referem-se às médias de porcentagens e desvios-padrão, valores de t e P associados ao teste t de Student.

	Sem estresse hídrico	Com estresse hídrico	t(P)
<i>Urochloa decumbens</i>			
<b>C13:0</b>	8.54 ± 1.22	1.96 ± 1.22	-6.59 (0.002)
<b>C14:0</b>	1.18 ± 0.12	5.34 ± 5.37	1.34 (0.250)
<b>C16:0</b>	39.81 ± 2.75	14.84 ± 21.57	-1.98 (0.117)
<b>C16:1</b>	11.81 ± 1.25	10.83 ± 7.67	-0.21 (0.837)
<b>C18:1</b>	5.84 ± 0.17	5.38 ± 4.85	-0.161 (0.879)
<b>C18:2n6</b>	22.09 ± 1.03	8.97 ± 4.55	-4.87 (0.008)
<b>C20:4n3</b>	0.25 ± 0.18	5.34 ± 5.15	1.71 (0.162)
<b>C22:2n6</b>	0.91 ± 0.33	10.74 ± 7.78	2.18 (0.093)
<b>C23:0</b>	0.62 ± 0.31	5.22 ± 2.91	2.71 (0.053)
<i>Andropogon leucostachyus</i>			
<b>C16:0</b>	33.31 ± 26.40	23.56 ± 21.43	-0.49 (0.645)
<b>C16:1</b>	9.07 ± 4.60	1.22 ± 0.67	-2.92 (0.043)
<b>C18:1</b>	10.50 ± 2.21	7.58 ± 1.74	-1.79 (0.146)
<b>C18:2n6</b>	11.28 ± 6.26	16.14 ± 10.07	0.71 (0.516)
<b>C22:5n6</b>	1.45 ± 2.35	5.66 ± 4.84	1.35 (0.246)
<b>C22:5n3</b>	6.82 ± 10.28	6.37 ± 7.95	-0.06 (0.954)
<b>C22:6n3</b>	2.41 ± 3.45	11.28 ± 11.53	1.27 (0.270)
<i>Pennisetum setosum</i>			
<b>C14:0</b>	5.39 ± 1.46	3.22 ± 2.83	-1.18 (0.302)
<b>C14:1</b>	6.36 ± 4.94	1.16 ± 1.00	-1.78 (0.148)
<b>C16:0</b>	8.17 ± 5.64	19.27 ± 23.74	0.78 (0.474)
<b>C16:1</b>	8.88 ± 4.87	1.06 ± 1.21	-2.70 (0.054)
<b>C18:1</b>	3.96 ± 3.68	7.17 ± 7.61	0.65 (0.546)
<b>C18:2n6</b>	5.69 ± 5.25	7.03 ± 9.07	0.22 (0.835)
<b>C20:1</b>	5.72 ± 2.76	1.03 ± 0.63	-2.87 (0.045)
<b>C20:4n3</b>	5.56 ± 8.46	0.86 ± 0.70	-0.95 (0.392)
<b>C22:0</b>	7.57 ± 1.75	2.02 ± 0.63	-5.17 (0.006)
<b>C22:2n6</b>	4.96 ± 6.72	6.90 ± 8.16	0.31 (0.765)
<b>C22:5n3</b>	8.93 ± 4.47	15.41 ± 15.40	0.69 (0.523)
<b>C22:6n3</b>	2.61 ± 1.83	11.55 ± 15.47	0.99 (0.376)
<i>Sida cerradoensis</i>			
<b>C16:0</b>	26.86 ± 20.82	15.79 ± 6.98	-0.87 (0.431)
<b>C16:1</b>	13.44 ± 9.24	3.25 ± 3.21	-1.80 (0.145)
<b>C18:1</b>	10.91 ± 3.18	7.57 ± 1.16	-1.70 (0.163)
<b>C18:2n6</b>	11.03 ± 9.77	11.39 ± 9.80	0.04 (0.966)
<b>C22:1</b>	4.93 ± 6.64	5.05 ± 1.59	0.03 (0.976)
<b>C22:2n6</b>	1.82 ± 2.40	9.17 ± 4.64	2.43 (0.071)
<b>C22:5n3</b>	3.39 ± 3.80	5.57 ± 3.29	0.75 (0.494)
<b>C22:6n3</b>	0.92 ± 0.66	8.26 ± 3.15	3.95 (0.016)

<i>Sida cordifolia</i>			
<b>C14:0</b>	4.18 ± 4.04	5.80 ± 5.78	0.39 (0.711)
<b>C16:0</b>	20.48 ± 20.53	19.50 ± 8.93	-0.07 (0.943)
<b>C16:1</b>	9.05 ± 3.81	1.87 ± 1.81	-2.95 (0.041)
<b>C18:0</b>	5.30 ± 2.69	4.96 ± 4.61	-0.10 (0.919)
<b>C18:1</b>	4.41 ± 4.68	6.26 ± 2.88	0.58 (0.591)
<b>C18:2n6</b>	10.62 ± 10.35	11.61 ± 7.46	0.13 (0.899)
<b>C20:3n6</b>	5.58 ± 4.39	1.00 ± 1.39	-1.72 (0.160)
<b>C20:4n3</b>	8.17 ± 8.58	9.77 ± 7.97	0.23 (0.823)
<b>C22:2n6</b>	4.06 ± 4.22	11.17 ± 6.99	1.50 (0.205)
<i>Waltheria indica</i>			
<b>C14:0</b>	6.17 ± 4.96	0.85 ± 0.32	-1.85 (0.137)
<b>C16:0</b>	17.51 ± 14.74	28.61 ± 2.47	1.28 (0.267)
<b>C16:1</b>	9.48 ± 13.33	19.74 ± 5.10	1.24 (0.281)
<b>C18:0</b>	8.10 ± 8.69	1.51 ± 0.11	-1.31 (0.259)
<b>C18:1</b>	7.37 ± 3.61	12.84 ± 2.20	2.24 (0.088)
<b>C18:2n6</b>	7.91 ± 8.14	13.87 ± 2.29	1.21 (0.289)
<b>C20:4n3</b>	6.31 ± 8.63	0.69 ± 0.19	-1.12 (0.322)
<b>C23:0</b>	5.34 ± 5.99	0.40 ± 0.50	-1.42 (0.227)
<b>C22:6n3</b>	3.97 ± 3.41	7.53 ± 6.29	0.86 (0.437)
<i>Macropodium atropurpureum</i>			
<b>C16:0</b>	29.71 ± 23.10	13.16 ± 9.62	-1.14 (0.315)
<b>C16:1</b>	12.56 ± 17.49	5.72 ± 6.03	-0.64 (0.556)
<b>C18:0</b>	2.06 ± 1.41	7.00 ± 1.23	4.58 (0.010)
<b>C18:1</b>	10.66 ± 4.68	11.14 ± 11.72	0.06 (0.950)
<b>C18:2n6</b>	6.59 ± 2.41	1.47 ± 0.97	-3.40 (0.027)
<b>C20:4n6</b>	0.63 ± 0.25	8.10 ± 8.18	1.58 (0.189)
<b>C22:2n6</b>	1.97 ± 2.26	6.49 ± 3.50	1.87 (0.133)
<b>C23:0</b>	1.83 ± 1.39	5.66 ± 5.78	1.11 (0.326)
<b>C22:6n3</b>	6.32 ± 8.12	4.52 ± 2.59	-0.36 (0.733)