



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 22 – Ano XI – 10/2022
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Crescimento de Braquiária e Milho submetidos a diferentes concentrações de CO₂

Evander Alves Ferreira
Professor Visitante ICA-Universidade Federal do Minas Gerais-UFMG
Montes Claros- MG- Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5887024898731149>
E-mail: evanderalves@gmail.com

Cássia Michelle Cabral
Pós Doutoranda em Produção Vegetal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM
Diamantina- UFVJM- Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8256971689993828>
E-mail: michelle.cabral@ufvjm.edu.br

Darlina da Costa Fonseca
Doutora em Ciência Florestal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM
<http://lattes.cnpq.br/2955602942165851>
E-mail: darliana.fonseca@ufvjm.edu.br

José Barbosa dos Santos
Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri-UFVJM
Diamantina- UFVJM- Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5887024898731149>
Email: jbarbosa@ufvjm.edu.br

Resumo: No contexto atual, onde se observa incremento da concentração de CO₂ na atmosfera aliada ao aumento da temperatura, o que pode promover alterações relacionadas a capacidade competitiva de plantas daninhas e culturas, onde modificações no crescimento, morfologia e fisiologia das plantas

podem ser verificadas em tais condições. Diante do exposto, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito do incremento do nível de CO₂ do ambiente no crescimento de plantas de braquiária e milho em condição de competição. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com quatro

repetições. Para avaliar o efeito nas plantas de braquiária foi utilizado um esquema fatorial 3 x 4, sendo o primeiro fator representado por três concentrações de CO₂ nas câmaras de crescimento e quatro arranjos (braquiária cultivada isoladamente, braquiária + picão-preto, braquiária + milho e braquiária + feijoeiro. Já com relação à avaliação das plantas de milho o esquema fatorial foi de 3 x 3, sendo o primeiro fator representado pelos três níveis de CO₂ na câmara de crescimento e o segundo fator correspondente aos diferentes arranjos: milho cultivado isoladamente, milho + picão-preto e milho + braquiária. O incremento da concentração de CO₂ influencia de forma evidente o crescimento das plantas de braquiária e milho, ou seja, maiores níveis de CO₂ promovem o maior crescimento da cultura e da planta daninha. Diferentes níveis de CO₂ no ambiente influenciam também a relação de competição entre as espécies. Nas concentrações de 420 e 860 ppm de CO₂ no ambiente o picão-preto mostrou-se mais competitivo com a braquiária em relação ao feijoeiro e ao milho. Já na maior concentração de CO₂ observou-se a tendência das plantas de braquiária mostrarem comportamento similar independentemente do arranjo na qual a planta daninha foi cultivada. Tanto o picão-preto quanto as plantas de braquiária afetaram negativamente o crescimento das plantas de milho, sendo que, as plantas de braquiária afetaram o crescimento do milho de forma mais negativa, quando comparada com o picão-preto.

Palavras-chave: Capacidade competitiva, Plantas daninhas, Concentração de CO₂.

Brachiaria and corn growth subject to different concentrations CO₂

ABSTRACT: In the current context, where it is observed increase in CO₂ concentration in the atmosphere coupled with the increase in temperature, which can make changes related to competitive ability of weeds and crops, where changes in growth, morphology and physiology of plants can be observed in such conditions. Given the above, the aim of this study to evaluate the effect of ambient CO₂ level increase in the growth of plants braquiária and corn under competition. To this end it was mounted an experiment in a completely randomized design with four replications. To evaluate the effect on Brachiaria plants we used a factorial 3 x 4, the first factor represented by four concentrations of CO₂ in growth chambers and three arrangements (Brachiaria cultivated alone braquiária + beggartick, braquiária + corn and pasture . + bean As to the assessment of maize plants the factorial was 3 x 3, the first factor represented by the three levels of CO₂ in the growth chamber and the second factor corresponding to different arrangements: corn grown alone, corn + beggartick and corn + brachiaria. the increase in CO₂ concentration influences evident form the growth of plants braquiária and corn, that is, higher CO₂ levels promote the further growth of the crop and weed. Different CO₂ levels environment also influence the competitive

relationship between the species. at the concentrations of 420 and 860 ppm CO₂ in the atmosphere the beggartick proved to be more competitive with brachiaria compared to beans and maize. In the higher concentration of CO₂ was observed a tendency Brachiaria plants show similar behavior irrespective of the arrangement in which the weed was grown. Both beggartick as the plants of Brachiaria negatively affected the growth of maize plants, and the plants braquiaria affected growth more negatively corn compared with beggartick.

Keywords: Competitiveness, Weed, CO₂ concentration.

Introdução

O dióxido de carbono, CO₂, é essencial à vida no planeta, visto que é um dos principais compostos para a realização da fotossíntese, processo pelo qual os organismos fotossintetizantes transformam a energia solar em energia química, que por sua vez é distribuída para todos os seres vivos por meio da teia alimentar. Os organismos fotossintetizantes, além de absorverem o carbono encontrado na atmosfera na forma de dióxido de carbono pela fotossíntese, também liberam dióxido de carbono para a atmosfera mediante o processo de respiração.

O CO₂ em alta concentração na atmosfera tende a favorecer o desenvolvimento das plantas. Por ser um componente básico da fotossíntese, o aumento da concentração pode promover alterações no metabolismo, crescimento e processos fisiológicos das plantas (Pritchard & Amthor, 2005).

O efeito do aumento da concentração atmosférica de CO₂ nas plantas é devido a três processos principais: a modulação da atividade da Rubisco; a sensibilidade das células-guarda dos estômatos aos níveis de CO₂; e a modulação da respiração mitocondrial (Sage, 2002). Uma maior proporção de CO₂ na atmosfera tem o potencial de aumentar a atividade fotossintética e diminuir a fotorrespiração pela diminuição da atividade de oxigenase da Rubisco. Outros efeitos esperados são a redução da condutância estomática, o aumento da eficiência de uso da água (relação entre as quantidades de CO₂ assimilado e de H₂O perdida) e da proporção C/N (carbono/nitrogênio), e a diminuição da respiração no escuro.

A consequência desses efeitos pode ser um aumento na taxa de crescimento, o que pode não ocorrer caso a planta apresente aclimatação

fotossintética. Porém, mesmo em casos de aclimação, a taxa de fotossíntese em elevadas concentrações de CO₂ ainda é maior do que nas condições normais (Aidar et al., 2002).

A braquiária e o milho são espécies denominadas do tipo C₄, uma vez que em seu mecanismo fotossintético produz-se como primeiro produto estável uma molécula de 4 carbonos, o ácido oxalacético. Essas plantas possuem anatomia diferenciada nas folhas: a bainha do feixe vascular apresenta-se como uma camada de células bem desenvolvidas, nas quais se encontra a enzima Rubisco. Uma segunda enzima carboxilativa, a fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase), é encontrada nas demais células do mesófilo foliar. Essa enzima realiza a carboxilação da molécula de fosfoenolpiruvato (PEP), formando o ácido oxalacético, imediatamente transformado em malato e aspartato. Nos cloroplastos das células da bainha, o aspartato e o malato são descarboxilados em CO₂ e piruvato. O CO₂ resultante é concentrado e utilizado pela Rubisco, suprimindo o processo de fotorrespiração e seguindo o ciclo de Calvin (Taiz e Zieger, 2013).

Estudos sobre competitividade de culturas com plantas daninhas permitem desenvolver estratégias para seu manejo, pois podem definir as características que confirmam maior habilidade competitiva às culturas. Entretanto, no contexto atual, onde se observa incremento da concentração de CO₂ na atmosfera aliada ao aumento da temperatura, esse fato pode promover alterações relacionadas a capacidade competitiva de plantas daninhas e culturas, onde modificações no crescimento, morfologia e fisiologia das plantas podem ser verificadas em tais condições. Plantas com maiores velocidades de incremento de área foliar, estatura, massa da matéria seca da parte aérea, maior cobertura do solo e interceptação de luz pelo dossel apresentaram maior habilidade competitiva com as plantas daninhas (Fleck et al., 2003).

Apesar de cerca da metade das gramíneas do mundo possuir metabolismo fotossintético do tipo C₄, como é o caso da braquiária e do milho, poucos estudos têm testado resposta ao aumento de CO₂ em gramíneas de clima temperado e somente uma pequena parcela utiliza gramíneas tropicais. Estas plantas contribuem, segundo Ehleringer et al. (1997), com aproximadamente 18% da produtividade global.

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo, avaliar o efeito do incremento do nível de CO₂ do ambiente no crescimento de plantas de braquiária e milho em condição de competição.

Material e Métodos

O experimento foi montado nas dependências do Departamento Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC). Para avaliar as plantas de braquiária foi utilizado um esquema fatorial 3 x 4, sendo o primeiro fator representado pelas concentrações de CO₂ nas câmaras de crescimento (420, 840 e 1680 ppm). O segundo fator representado pelos arranjos de plantas em condição de competição (braquiária cultivada isoladamente, braquiária + picão-preto, braquiária + milho e braquiária + feijoeiro). Já com relação à avaliação das plantas de milho o esquema fatorial foi de 3 x 3, sendo o primeiro fator representado pelos três níveis de CO₂ na câmara de crescimento e o segundo fator correspondente aos diferentes arranjos de plantas em competição com plantas daninhas (milho cultivado isoladamente, milho + picão-preto e milho + braquiária).

As espécies foram semeadas em vasos plásticos contendo 2,0 L da mistura pré-elaborada de solo e terra vegetal, corrigido e adubado de acordo com análise de solo, com incorporação um mês antes da implantação do experimento. Foram semeadas cerca de 10 sementes por vaso e após a emergência das plântulas foi realizado o desbaste de acordo com o arranjo desejado.

As plantas foram mantidas em câmara de crescimento durante toda a fase experimento. Onde temperatura, luminosidade, comprimento do dia, umidade e irrigação foram controladas, sendo temperatura média de 27°C, luminosidade de 750 μmol de luz $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em um período de 12 horas diárias de luz, umidade relativa de 60% e irrigação duas vezes por dia mantendo o substrato com 80% da capacidade de campo.

A avaliação dos teores de clorofila e a fluorescência de clorofila *a* das plantas de braquiária e milho foram realizadas aos 40 dias após a emergência

das plantas de milho.

A análise da eficiência fotoquímica do fotossistema II das folhas das plantas foi realizada com o uso de um fluorômetro, sendo as pinças do aparelho colocadas no terço médio das folhas com lígula completamente visível das plantas de braquiária e milho. As medições foram feitas após 30 minutos de adaptação ao escuro, ausência total de luz, com emissão de um pulso de luz saturante de 0,3 s, sob frequência de 0,6 KHz, quando se avaliou também a fluorescência variável (Fv), fluorescência máxima (Fm), a razão entre a fluorescência variável e fluorescência máxima (Fv/ Fm). Para a medição dos teores de clorofila foi usado um clorofilômetro, onde foram obtidas os teores de clorofila total (CHL – mg m⁻²).

Aos 50 dias após a emergência das plantas foi mensurada a estatura (EST – cm) e o número de folhas (NF) das plantas. As plantas de braquiária e milho foram coletadas e divididas em colmo, folhas e raízes, acondicionadas em sacos de papel e levadas a estufa de circulação forçada de ar, a temperatura de 60°C até massa constante. As amostras foram pesadas em balança de precisão para obtenção da massa da matéria seca das raízes (MSR – g), massa da matéria seca do colmo (MSC – g) e massa da matéria seca das folhas (MSF – g), a massa da matéria seca total (MST – g) foi obtida pela soma da massa da matéria seca dos três órgãos das plantas avaliadas.

Procedeu-se a análise de variância e as médias relacionadas ao nível de sombreamento foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Resultados e Discussão

Plantas de braquiária cultivadas isoladamente mostraram incremento na estatura (EST) com o aumento da concentração de CO₂, destacando-se que do menor nível para o maior nível de CO₂ o acréscimo na EST foi de aproximadamente quatro vezes. Em competição com feijoeiro e milho foi observado incremento significativo da EST, do menor nível de concentração CO₂ na atmosfera para as maiores concentrações. Quando as plantas de braquiária se encontravam em competição com o picão-preto verificou-se que os maiores

valores de EST foram observados nas parcelas onde a concentração de CO₂ foi de 840 ppm, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Estatura de plantas (EST), número de folhas (NF), teor de clorofila total (CHL) e relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila *a* (Fv/Fm) de braquiária em competição com culturas e picão-preto.

Arranjos	Estatura de plantas (EST - cm)		
	Concentração de CO ₂		
	420	840	1680
	-----ppm-----		
Braquiária	10,15 b A	46,42 a A	39,62 a A
Braquiária + Picão-preto	6,57 c B	45,85 a A	27,80 b B
Braquiária + Feijoeiro	8,55 b A	38,45 a B	35,02 a AB
Braquiária + Milho	9,30 b A	37,00 a B	32,75 a AB
CV (%)	30,50		
Arranjos	Número de folhas (NF)		
	Concentração de CO ₂		
	420	840	1680
	-----ppm-----		
Braquiária	10,50 b A	15,50 a A	18,50 a A
Braquiária + Picão-preto	4,75 b B	11,75 a AB	13,50 a AB
Braquiária + Feijoeiro	6,50 b AB	9,00 a B	10,00 a B
Braquiária + Milho	7,00 a AB	7,50 a B	7,75 a B
CV (%)	24,78		
Arranjos	Teor de clorofila total (CHL - mg m ⁻²)		
	Concentração de CO ₂		
	420	840	1680
	-----ppm-----		
Braquiária	42,65 b A	47,27 a AB	47,50 a A
Braquiária + Picão-preto	34,40 b B	51,67 a A	48,92 a A
Braquiária + Feijoeiro	34,17 b B	43,62 a B	40,55 a B
Braquiária + Milho	40,02 b A	42,42 b B	46,42 a AB
CV (%)	8,95		
Arranjos	Relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila <i>a</i> (Fv/Fm)		
	Concentração de CO ₂		
	420	840	1680
	-----ppm-----		
Braquiária	0,81**	0,81	0,80
Braquiária + Picão-preto	0,77	0,80	0,79
Braquiária + Feijoeiro	0,79	0,78	0,81
Braquiária + Milho	0,78	0,80	0,80
CV (%)	4,34		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. **NS. Não significativo pelo Teste F a 5% de erro.

Ao se avaliar o efeito da competição na EST dentro de cada concentração de CO₂, constatou-se que na concentração de 420 ppm as plantas de braquiária competido com picão-preto mostraram menor valor médio de EST. Na concentração de 840 ppm a braquiária cultivada isoladamente e nos tratamentos

em que competia com o picão-preto apresentou maior crescimento em EST diferindo dos demais tratamentos. Já no maior nível de CO₂, verificou-se maiores valores de EST nas plantas de braquiária cultivadas isoladamente e os menores valores médios observados nas parcelas onde a braquiária foi cultivada juntamente com o picão-preto (Tabela 1).

Foi observada variação no número de folhas (NF) de plantas de braquiária, tanto em relação a concentração de CO₂, quanto com a espécie com a qual a planta daninha foi cultivada. A braquiária cultivada isoladamente, em competição com picão-preto e nas parcelas onde foi cultivada com o feijoeiro mostrou incremento na NF já a partir da concentração de 840 ppm de CO₂. Entretanto, nas parcelas onde a planta daninha competia com o milho não foi observada diferença entre os tratamentos (Tabela 1).

Na menor concentração de CO₂ atmosférico (420 ppm), verificou-se maiores valores de NF em plantas de braquiária cultivadas na ausência de competição, sem, no entanto, diferir dos tratamentos braquiária + feijoeiro e braquiária + milho. Na concentração intermediária de CO₂ (840 ppm) e em maior concentração (1680 ppm) as plantas de braquiária foram mais afetadas negativamente quando cultivadas juntamente com feijoeiro e nas parcelas onde cresceu juntamente com milho (Tabela 1).

As plantas de braquiária mostraram incremento no teor de clorofila (CHL) em todos os arranjos testados com o incremento na concentração do CO₂, destacando-se que esse acréscimo no CHL foi menor nos arranjos na qual as plantas de braquiária se encontravam em competição com as culturas do milho e do feijoeiro e nas parcelas onde cresceu juntamente com o picão-preto (Tabela 1).

Na concentração de 420 ppm de CO₂ verificou-se maiores valores de CHL nas parcelas onde a braquiária cresceu isoladamente (testemunha) e quando se encontrava em competição com a cultura do milho, diferindo dos demais tratamentos. Dessa forma, a competição com plantas de feijoeiro afetou de forma negativa o CHL de plantas de braquiária (Tabela 1). A redução do teor de clorofila, ocorrida com o aumento da densidade de plantas infestantes ocorreu provavelmente em função da concorrência das plantas daninhas com a cultura, especialmente por nitrogênio, que segundo Blanco et al. (1974) e Blanco et al.

(1978) é o elemento mais intensamente solicitado pela maioria das plantas daninhas. Resultados similares foram obtidos por Souza (1996), que observou menores valores para o teor de clorofila, a estatura de plantas e a inserção da primeira espiga quando do não controle das plantas daninhas em relação ao controle até 45 dias após a emergência.

Quando a planta daninha foi cultivada nas concentrações de 840 e 1680 ppm de CO₂, verificou-se maior valor de CHL quando a mesma foi cultivada em competição com o picão-preto diferindo dos tratamentos no qual a braquiária cresceu juntamente com plantas de feijoeiro e milho (Tabela 1).

Ao se avaliar a relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila *a* (Fv/Fm) em plantas de braquiária, não foi constada diferença entre os tratamentos, destacando-se que os valores médios observados para essa variável se mantiveram na faixa de 0,77 a 0,80 em todos os tratamentos (Tabela 1). O rendimento quântico máximo do PS II (Fv/Fm) pode variar de 0,75 a 0,85 em plantas não submetidas a estresses (Bolhàr-Nordenkampf et al., 1989), sendo a redução desta razão um excelente indicador de efeito fotoinibidor quando as plantas estão submetidas ao estresse químico (Araus e Hogan, 1994). Importante destacar que essa faixa ideal corresponde os valores inseridos entre 0,75 (limite mínimo) e 0,85 (limite máximo), valores esses indicados nas tabelas observadas, dessa forma, os diferentes arranjos de plantas e concentrações de CO₂ não afetou a integridade do aparato fotossintético de plantas de braquiária (Figura 1).

A massa da matéria seca das raízes (MSR) de plantas de braquiária apresentou acréscimo com o incremento da concentração de CO₂ para todos os tratamentos, com exceção das parcelas onde a braquiária foi cultivada com plantas de feijoeiro. Na testemunha esse aumento foi de aproximadamente 75% da concentração de CO₂ mais baixa (420 ppm) para a mais elevada (1680 ppm) (Tabela 2).

Na menor concentração de CO₂, verificou-se menores valores médios de MSR nas parcelas onde a planta daninha se encontrava em competição com picão-preto e milho, ou seja, a convivência com essas duas espécies citadas reduziu o crescimento radicular das plantas de braquiária nessa concentração de CO₂, entretanto, nas concentrações de 840 e 1680 ppm de CO₂ os menores

valores médios de MSR foram observados nas parcelas onde a braquiária foi cultivada juntamente com plantas de picão-preto, sem no entanto, diferir dos tratamentos onde a planta daninha foi cultivada juntamente com feijoeiro e milho (Tabela 2).

A massa da matéria seca do caule (MSC) de plantas de braquiária mostrou incremento com o aumento do nível de CO₂ em todos os arranjos avaliados (Tabela 2).

Tabela 2. Massa da matéria seca das raízes (MSR), massa da matéria seca do caule (MSC), massa da matéria seca das folhas (MSF) e massa da matéria seca total (MST) de plantas de braquiária em competição com culturas e picão-preto.

Arranjos	Massa da matéria seca das raízes (MSR - g)		
	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
	-----ppm-----		
Braquiária	0,40 b A	0,62 ab A	0,70 a A
Braquiária + Picão-preto	0,30 a B	0,37 a B	0,36 a B
Braquiária + Feijoeiro	0,38 b A	0,47 a AB	0,45 a AB
Braquiária + Milho	0,30 b B	0,43 a AB	0,48 a AB
CV (%)	35,60		
	Massa da matéria seca do caule (MSC - g)		
	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
	-----ppm-----		
Braquiária	0,31 b A	0,54 a A	0,52 a A
Braquiária + Picão-preto	0,18 b B	0,55 a A	0,52 a A
Braquiária + Feijoeiro	0,22 b B	0,42 ab B	0,55 a A
Braquiária + Milho	0,32 b A	0,46 a B	0,42 a A
CV (%)	39,30		
	Massa da matéria seca das folhas (MSF - g)		
	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
	-----ppm-----		
Braquiária	0,64 a A	0,72 a A	0,78 a A
Braquiária + Picão-preto	0,51 a A	0,49 a A	0,52 a AB
Braquiária + Feijoeiro	0,35 b AB	0,53 a A	0,52 a AB
Braquiária + Milho	0,17 b B	0,58 a A	0,60 a B
CV (%)	27,43		
	Massa da matéria seca total (MST - g)		
	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
	-----ppm-----		
Braquiária	1,51 b A	1,89 a A	1,92 a A
Braquiária + Picão-preto	1,07 b B	1,05 b B	1,81 a A
Braquiária + Feijoeiro	1,31 b AB	1,35 b AB	1,61 a A
Braquiária + Milho	1,43 b AB	1,04 c B	1,74 a A
CV (%)	23,27		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ao se avaliar o efeito do arranjo de plantas na MSC dentro de cada concentração de CO₂, constatou-se que na menor concentração, os tratamentos onde a braquiária foi cultivada juntamente com o picão-preto e o feijoeiro apresentaram os menores valores médios de MSC diferindo da testemunha. Na concentração intermediária de CO₂ (840 ppm) verificou-se redução do MSC em relação a testemunha nas parcelas onde a braquiária foi cultivada em competição com feijoeiro e em competição com o milho. Já no maior nível de CO₂ não foi observada diferença entre os tratamentos (Tabela 2).

Plantas de braquiária cultivadas isoladamente e em competição com picão-preto não apresentaram diferença na massa da matéria seca das folhas (MSF) com o incremento da concentração de CO₂, entretanto, quando a planta daninha foi cultivada com o feijoeiro e o milho observou-se aumento dos valores médios de MSF com o incremento da concentração de CO₂ (Tabela 2).

Nas concentrações de 420 e 1680 ppm de CO₂, verificou-se que as parcelas onde a planta daninha cresceu juntamente com milho mostraram os menores valores de MSF, entretanto no nível intermediário de CO₂ (840 ppm) não foi verificada diferença entre os arranjos de plantas (Tabela 2).

A massa da matéria seca total (MST) de plantas de braquiária apresentou acréscimo com o incremento da concentração de CO₂ para todos os tratamentos, (Tabela 2).

Na concentração mais baixa e intermediária de CO₂ avaliada (420 e 840 ppm), verificou-se que as parcelas onde a planta daninha cresceu juntamente com milho mostraram os menores valores de MST, entretanto na maior concentração de CO₂ (1680 ppm) não foi verificada diferença entre os arranjos de plantas (Tabela 2).

Nas áreas agrícolas, as plantas daninhas por serem espécies não cultivadas e ocorrerem, em geral, em populações superiores às das plantas cultivadas, estas são frequentemente rotuladas como mais competitivas (Bianchi et al., 2006). Todavia, Meschede et al. (2004), utilizando-se da técnica de testemunhas duplas, determinaram o período anterior à interferência em soja. Esses autores verificaram que a matéria seca acumulada por cada indivíduo presente em uma população de plantas daninhas denota ser uma variável mais importante e fidedigna do que a própria população no que se refere ao grau de

interferência imposto à cultura. Assim, é possível inferir que a capacidade das espécies de plantas daninhas e das culturas em acumular matéria seca, principalmente na fase inicial de desenvolvimento, está diretamente relacionada com a capacidade competitiva destas, conforme evidenciado nos trabalhos de Bennett & Shaw (2000) e Lamego et al. (2005) com a cultura da soja. Interessante destacar que no presente trabalho a concentração de CO₂ influenciou a dinâmica de competição entre as espécies, onde na maior concentração de gás carbônico não foi verificada diferença na MST nas plantas de braquiária competindo com milho, feijoeiro e picão-preto (Tabela 3).

Ao se avaliar o efeito das concentrações de CO₂ atmosférico dentro de cada arranjo de plantas, verificou-se incremento da EST das plantas milho com o aumento da concentração de CO₂ em todos os arranjos testados (Tabela 3).

Tabela 3. Estatura de plantas (EST), teor de clorofila total (CHL) e relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila *a* (Fv/Fm) de milho em competição com plantas daninhas.

Arranjos	Estatura de plantas (EST - cm)		
	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
Milho	14,37 b A	26,30 a A	25,27 a A
Milho + Picão-preto	15,05 b A	24,70 a AB	25,87 a A
Milho + Braquiária	13,35 c A	19,45 b B	26,92 a A
CV (%)	15,81		
Arranjos	Teor de clorofila total (CHL - mg m ⁻²)		
	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
Milho	56,11 a A	36,85 b A	38,05 b A
Milho + Picão-preto	48,98 a AB	33,60 b A	38,17 b A
Milho + Braquiária	46,67 a B	30,35 b A	26,30 b B
CV (%)	22,52		
Arranjos	Relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila <i>a</i> (Fv/Fm)		
	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
Milho	0,75**	0,77	0,79
Milho + Picão-preto	0,76	0,80	0,79
Milho + Braquiária	0,78	0,79	0,77
CV (%)	6,67		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. **NS. Não significativo pelo Teste F a 5% de erro.

Apesar do estímulo médio de ganho de biomassa e assimilação fotossintética serem menores para plantas C4, eles não podem ser considerados insignificantes. Por muito tempo acreditou-se que as plantas C4 não responderiam ao aumento do CO₂ em função do mecanismo de concentração de CO₂ presente nas células da bainha do feixe vascular destas espécies, que confere alta eficiência fotossintética às mesmas. E, de fato, alguns experimentos como o realizado por Bowes (1993), mostraram que não houve diferenças significativas quando plantas C4 foram submetidas ao tratamento com elevado CO₂. Por outro lado, outros estudos demonstraram que plantas C4 podem responder significativamente ao aumento de CO₂ e algumas até de forma semelhante a espécies C3 (Pooley *et al.*, 2003; Sage & Kubien, 2003; Leakey *et al.*, 2004).

Nas concentrações de 420 e 1680 ppm de CO₂ não foi observada diferença entre os tratamentos para a variável EST, entretanto no nível de 840 ppm de CO₂ foi verificado que as parcelas em que as plantas de milho cresceram juntamente com a braquiária mostraram menores valores médios de EST (Tabela 3).

Plantas de milho cultivadas em diferentes arranjos mostraram redução nos valores médios de CHL com o incremento da concentração do CO₂ atmosférico no ambiente em todos os tratamentos testados (Tabela 3).

Ao se avaliar o efeito do arranjo de plantas dentro de cada nível de CO₂, verificou-se nas concentrações mais baixas e nas mais elevadas de CO₂ (420 e 1680 ppm) os maiores valores médios de CHL foram observados nas plantas de milho crescendo isoladamente diferindo do tratamento no qual o milho foi cultivado juntamente com a braquiária. Já na concentração de 840 ppm de CO₂ não foi verificada diferença entre os arranjos de plantas (Tabela 3).

Ao se avaliar a relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila *a* (Fv/Fm) em plantas de milho, não foi observada diferença entre os tratamentos, destacando-se que os valores médios observados para essa variável se mantiveram na faixa de 0,75 a 0,80 em todos os tratamentos, indicando que não houve qualquer tipo de estresse que afetasse o aparato fotossintético (Tabela 3).

Souza et al. (2007) trabalhando com cana-de-açúcar em ambiente enriquecido com CO₂ verificaram que a eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (Fv /Fm) não sofreram nenhum tipo de estresse, pois os valores estão dentro da normalidade para plantas saudáveis.

Todas as parcelas avaliadas mostraram incremento da massa da matéria seca das raízes (MSR) com o aumento dos níveis de CO₂, destacando-se que em todos os arranjos o incremento médio da MSR foi de cerca de 50% (Tabela 4).

Tabela 4. Massa da matéria seca das raízes (MSR), massa da matéria seca do colmo (MSC), massa da matéria seca das folhas (MSF) e massa da matéria seca total (MST) de plantas de milho em competição com plantas daninhas.

Massa da matéria seca das raízes (MSR - g)			
Arranjos	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
Milho	0,69 b A	1,32 a A	1,40 a A
Milho + Picão-preto	0,68 b A	1,40 a A	1,55 a A
Milho + Braquiária	0,62 b A	1,45 a A	1,50 a A
CV (%)	15,62		
Massa da matéria seca do colmo (MSC - g)			
Arranjos	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
Milho	0,25 b A	0,31 b A	0,79 a A
Milho + Picão-preto	0,27 b A	0,28 b A	0,55 a AB
Milho + Braquiária	0,20 b A	0,31 ab A	0,37 a B
CV (%)	35,90		
Massa da matéria seca das folhas (MSF - g)			
Arranjos	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
Milho	0,79 c A	1,04 b A	1,31 a A
Milho + Picão-preto	0,50 b B	0,65 b B	1,02 a B
Milho + Braquiária	0,37 b B	0,53 b B	1,08 a B
CV (%)	16,60		
Massa da matéria seca total (MST - g)			
Arranjos	Concentração de CO ₂ (ppm)		
	420	840	1680
Milho	1,74 b A	2,77 ab A	3,22 a A
Milho + Picão-preto	1,46 b B	2,71 a A	2,87 a B
Milho + Braquiária	1,74 b A	2,81 a A	2,91 a B
CV (%)	23,20		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ao se avaliar o efeito dos arranjos dentro de cada concentração de CO₂, não foi observada diferença entre os tratamentos nos níveis de concentração de CO₂ avaliados (Tabela 4).

Plantas de milho cultivadas em diferentes arranjos com plantas daninhas mostraram incremento nos valores de massa da matéria seca do colmo (MSC) com o aumento da concentração de CO₂, destacando-se que esse incremento foi de três vezes maior quando o milho cresceu isoladamente na concentração de 420 ppm a 1680 ppm de CO₂ (Tabela 4).

Nos níveis de 420 e 840 ppm de CO₂ não foi observada diferença da MSC entre os arranjos de plantas, entretanto, na maior concentração de CO₂ verificou-se que as parcelas de milho cultivadas em competição com braquiária apresentaram menores valores médios de MSC (Tabela 4).

Todas as parcelas cultivadas com milho mostraram incremento nos valores da massa da matéria seca das folhas (MSF) com o aumento da concentração de CO₂ (Tabela 4).

Ao se avaliar o efeito dos arranjos de plantas dentro de cada nível de CO₂ verificou-se que em todos os níveis as plantas de milho mostraram maiores valores médios de MSF quando cultivadas isoladamente, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 4).

Foi verificado incremento da massa da matéria seca total (MST) de plantas de milho com o aumento do nível de CO₂ para os três tratamentos avaliados (milho solteiro, milho+picão-preto e milho + braquiária) (Tabela 4). Mesmo em se tratando de uma cultura de metabolismo C₄ constatou-se aumento evidente no crescimento do milho com a elevação da concentração de CO₂, entretanto espera-se que esse incremento no crescimento seja maior em plantas de metabolismo C₃, importante destacar que no presente trabalho avaliou-se apenas a concentração de CO₂ e a temperatura foi mantida constante durante a condução do experimento. Heinemann et al. (2006), em experimentos realizados sobre o efeito do ambiente enriquecido com 400 e 700 ppm de CO₂ em soja (metabolismo C₃) sob diferentes regimes de temperaturas do dia/noite (20/15, 25/20 e 30/25°C), verificaram aumento no crescimento das plantas e no peso das sementes produzidas em ambiente com 700 ppm quando associadas às temperaturas mais baixas. Finn & Brun (1982), ao estudar o efeito do aumento

de CO₂ em plantas de soja, verificaram aumento no peso da matéria seca e carboidratos não estruturais das folhas, caule e pecíolos, tanto a curto como a longo prazo. A massa da matéria seca de raízes, os nódulos e a atividade total de nódulos sofreram aumento somente após 16 dias de exposição das plantas ao ambiente enriquecido com CO₂.

Comparando o padrão de incremento de biomassa de plantas de diferentes grupos funcionais, Poorter e Navas (2003) verificaram aumento de 45% neste parâmetro em espécies herbáceas do tipo C3, 48% em arbóreas C3, 23 % em plantas com metabolismo fotossintético CAM e 12% em plantas C4 crescidas em alto CO₂.

Na concentração de 420 ppm de CO₂ verificou-se que no tratamento milho + picão-preto as plantas de milho apresentaram redução da MST em relação a testemunha. No nível intermediário de CO₂ não foi observada diferença entre os arranjos, já na concentração 1680 ppm de CO₂ observou-se que nos tratamentos milho + picão-preto e milho + braquiária as plantas de milho mostraram maiores valores de MST (Tabela 4). Em sorgo anão (*Sorghum bicolor* cv. 'Martim') cultivado com a presença da planta daninha caruru (*Amaranthus retroflexus* L.), Ziska (2003) observou que a competição em ambiente com concentração de CO₂ elevado resultou em perda de rendimento da cultura de até 23% em relação à testemunha. O estabelecimento das plantas daninhas também pode ser favorecido devido ao aumento da umidade do solo em áreas não irrigadas, causado pela melhor eficiência do uso da água pelas plantas cultivadas em ambientes com alta concentração de CO₂ (Fuhrer, 2003).

O enriquecimento com CO₂ promove alterações no metabolismo, crescimento e processos fisiológicos dos vegetais. Onde se observa significativo aumento da taxa fotossintética, a taxa de transpiração por unidade foliar decresce, enquanto a transpiração total da planta algumas vezes é aumentada, devido à maior área foliar (Jwa & Walling, 2001; Li et al., 2003). As alterações também incluem maior eficiência do uso da água e do nitrogênio pela planta. O estímulo à fotossíntese se deve à redução da competição entre o CO₂ e o O₂ atmosféricos para serem fixados pela enzima ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (Rubisco). Dessa forma, de modo geral, são observados incrementos no crescimento das plantas, como os observados no presente trabalho.

Conclusão

Diante do exposto, conclui-se que o incremento da concentração de CO₂ influencia o crescimento das plantas de braquiária e milho. Maiores níveis de CO₂ promovem o incremento do crescimento da cultura e da planta daninha, destacando que se trata de duas espécies com fisiologia C4.

Diferentes níveis de CO₂ no ambiente influenciam também a relação de competição entre as espécies.

Nas concentrações de 420 e 860 ppm de CO₂ no ambiente o picão-preto mostrou-se mais competitivo com a braquiária em relação ao feijoeiro e ao milho. Já na maior concentração de CO₂ observou-se tendência de comportamento similar entre plantas de braquiária, independentemente do arranjo na qual a planta daninha foi cultivada.

Tanto o picão-preto quanto a as plantas de braquiária afetaram negativamente o crescimento das plantas de milho, sendo que, as plantas de braquiária afetaram o crescimento do milho de forma mais negativa, quando comparada com o picão-preto.

Pelos valores observados na relação fluorescência variável/fluorescência máxima de plantas de braquiária e milho, pode-se inferir que a integridade do aparato fotossintético não foi afetada pelos tratamentos e níveis de CO₂.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e as bolsas concedidas.

Referências

AIDAR, M.P.M., MARTINEZ, C.A., COSTA, A.C., COSTA, P.M.F., DIETRICH, S.M.C. & BUCKERIDGE, M.S. Effect of atmospheric CO₂ enrichment on the establishment of seedlings of jatobá (*Hymenaea courbaril* L.-Leguminosae-Caesalpinioideae). **Biota Neotropica** 2(1): 2002. (<http://www.biotaneotropica.org.br/v2n1/en/abstract?article+BN01602012002>).

ARAUS, J. L.; HOGAN, K. P. Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of the neotropical palms. *Scheelea zonensis* and *Socratea durissima* growing in clearing and forest understory during the dry season in Panama. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 81, n. 6, p. 726-738, 1994.

BENNETT, A. C.; SHAW, D. R. Effect of Glycine max cultivars and weed control on weed seed characteristics. **Weed Sci.**, v. 48, n. 4, p. 431-435, 2000.

BIANCHI, M. A.; FLECK, N. G.; LAMEGO, F. P. Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua. **Ci. Rural**, v. 36, n. 3, p. 1380-1387, 2006.

BLANCO, H.G.; ARAÚJO, J.B.M.; OLIVEIRA, D.A. Estudo sobre a competição de plantas daninhas na cultura do milho (*Zea mays*L.). IV – Determinação do período de competição. **Arq. Inst. Biol.**, v.43, n.3/4, p.105 - 14, 1976.

BLANCO, H.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, D.A. Estudo sobre a competição de plantas daninhas na cultura do milho (*Zea mays*L.). II - Influência do mato na nutrição do milho. **Arq. Inst. Biol.**, v.41, n. 1, p.5- 14, 1974.

BOLHÀR-NORDENKAMP, H. R.; LONG, R. S. P.; BAKER, N. R.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, London, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989.

BOWES, G. Facing the inevitable: plants and increasing atmospheric CO₂. **Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology**. 44: 309-332. 1993.

EHLERINGER, J.R., CERLING, T.E. & HELLIKER, B.R. C₄ photosynthesis, atmospheric CO₂, and climate. **Oecologia** 112: 285-299. 1997.

FINN GA, BRUN WA (1982) Effect of atmospheric CO₂ enrichment on growth, nonstructural carbohydrate content, and root nodule activity in soybean. **Plant Physiology** 69:327-331.

FLECK, N. G. et al. Características de plantas de cultivares de arroz irrigado relacionadas à habilidade competitiva com plantas concorrentes. **Planta Daninha**, v. 21, n. 1, p. 97-104, 2003.

HEINEMANN AB, MAIA AHN, Dourado-Neto D, Ingran KT, Hoogenboom G (2006) Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes. **European Journal of Agronomy** 24:52-61.

JWA NS, WALLING LL. Influence of elevated CO₂ concentration on disease development in tomato. **New Phytologist** 149:509-18, 2001.

LAMEGO, F. P. et al. Tolerância a interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por cultivares de soja – I. Resposta de variáveis de crescimento. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 405-414, 2005

LEAKEY, A.D.B., URIBELARREA, M., AINSWORTH, E.A., NAIDU, S.L., ROGERS, A., ORT, D.R. & LONG, S.P. Photosynthesis, productivity and yield of maize are not affected by open-air elevation of CO₂ concentration in the absence of drought. **Plant Physiology**. 140: 779 – 790. 2006.

LI F, KANG S, ZHANG J, COHEN S. Effects of atmospheric CO₂ enrichment, water status and applied nitrogen on water- and nitrogen-use efficiencies of wheat. **Plant and Soil** 254:279-89, 2003.

MESCHEDE, D. K. et al. Período anterior à interferência de plantas daninhas em soja: estudo de caso com baixo estande e testemunhas duplas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 239-246, 2004.

POLLEY, H.W., JOHNSON, H.B. & DERNER, J.D. Increasing CO₂ from subambient to superambient concentrations alters species composition and increases aboveground biomass in a C₃/C₄ grassland. **New Phytologist** 160: 319- 327. 2003.

POORTER, H. & NAVAS, M-L. Plant Growth and competition at elevated CO₂: on winners, losers and functional groups. **New Phytologist** 157: 175 – 198, 2003.

PRITCHARD SG, AMTHOR JS. **Crops and environmental change**. Binghamton. Food Products Press. 2005.

SAGE, R. How terrestrial organisms sense, signal and respond to carbon dioxide. **Integrative and Comparative Biology** , 42:469-480. 2002.

SAGE, R.F. & KUBIEN, D.S. *Quo vadis C₄?* An ecophysiological perspective on global change and the future of C₄ plants. **Photosynthesis Research** 77: 209-225. 2003.

SOUZA, AP. **A Cana-de-açúcar e as mudanças climáticas: Efeitos de uma atmosfera enriquecida sobre o crescimento, desenvolvimento e metabolismo de carboidratos de *Sacharum* SSP**. Tese de Doutorado, UNICAMP, p.91. 2007.

SOUZA, J. R. P. **Período de controle das plantas daninhas, crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1996. 91 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2013. 690 p.

FUHRER, J. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.97, p.1-20, 2003.

ZISKA, L. H. Evaluation of yield loss in field sorghum from a C₃ and C₄ weed with increasing CO₂. **Weed Science**, v.51, p.914-918, 2003.

