



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**JÁDYLA DE OLIVEIRA FERREIRA**

**DESEMPENHO FISIOLÓGICO DO AMARANTO BRS ALEGRIA SOB**  
**DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO**

**FORTALEZA**

**2023**

JÁDYLA DE OLIVEIRA FERREIRA

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DO AMARANTO BRS ALEGRIA SOB DIFERENTES  
DENSIDADES DE PLANTIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial à obtenção grau bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.

Coorientador: Dr. Victor Emmanuel de Vasconcelos Gomes.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F441d Ferreira, Jádyla de Oliveira.  
Desempenho fisiológico do amaranto BRS ALEGRIA sob diferentes densidades de plantio / Jádyla de Oliveira Ferreira. – 2023.  
48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.

Coorientação: Prof. Dr. Victor Emmanuel de Vasconcelos Gomes.

1. Amaranthus cruentus L.. 2. Pseudo cereal. 3. Alimento nutritivo. I. Título.

CDD 630

---

JÁDYLA DE OLIVEIRA FERREIRA

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DO AMARANTO BRS ALEGRIA SOB DIFERENTES  
DENSIDADES DE PLANTIO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial à obtenção grau bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 03/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Victor Emmanuel de Vasconcelos Gomes (Coorientador)  
The Ohio State University (OSU)

---

Ms. Rafael Santiago da Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Ms. Johny de Souza Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, J. Júnior e Aurilene.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo o amor, apoio e incentivo em todos os momentos.

Agradeço imensamente a minha orientadora Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita, pela oportunidade de participar desse trabalho/experimento, que me gerou muitos conhecimentos e aprendizados. E por toda atenção, compreensão e paciência que teve comigo durante esse período.

Sou muito grata também ao meu coorientador Dr. Victor Emmanuel de Vasconcelos Gomes pela atenção, disponibilidade e todas as instruções que me passou antes, durante e depois deste experimento, e na elaboração deste TCC.

Agradeço aos participantes da banca examinadora pelo tempo, e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Às amigas que tive ao longo desse tempo de graduação, que me proporcionaram momentos engraçados, muito alegres e que me ajudaram a relaxar nos momentos mais tensos, e a me deixar mais feliz nos momentos bons. Em especial a Edilaine Viana que me ajudou bastante em tudo, até o final.

À Prof. Érica Calvet por ter me dado a oportunidade de estagiar no Laboratório de Manejo de Ácaros e Insetos (LAMAI), uma experiência muito gratificante e enriquecedora, tanto em relação aos experimentos quanto as pessoas de lá.

E Por fim, agradeço a Universidade Federal do Ceará, em especial ao curso de Agronomia, por todo suporte técnico, financeiro e laboratorial durante esse período.

“A felicidade e a liberdade começam com um claro entendimento dos princípios de que somos responsáveis pelo nosso próprio destino e que a verdadeira liberdade está em não se preocupar com o que está além do nosso controle”

– Sêneca

## RESUMO

O amaranto é um grão antigo que tem ganhado popularidade devido aos seus benefícios nutricionais e propriedades únicas, possuindo diversas utilidades, tanto na alimentação humana quanto na de animais. Objetivou-se avaliar o desempenho fisiológico do *Amaranthus cruentus* BRS Alegria sob diferentes densidades de plantio. O experimento foi conduzido na área experimental do setor de agricultura da UFC, nos meses de julho a setembro de 2021. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos por cinco densidades de plantio (62.500; 83.333; 111.111; 125.000 e 166.666 plantas ha<sup>-1</sup>). Avaliou-se o crescimento e características fisiológicas das plantas. As variáveis de crescimento foram: altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, teor de matéria seca do caule, folhas, raiz e inflorescências. Já as variáveis relacionadas a fisiologia foram: taxa fotossintética líquida, taxa de transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, eficiência de carboxilação, eficiência intrínseca no uso da água, eficiência instantânea no uso da água e razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub>, rendimento quântico efetivo do PSII, a taxa de transporte de elétrons, quenching fotoquímico e quenching não-fotoquímico. Em relação a análise de crescimento do amaranto BRS Alegria, variaram significativamente em relação as diferentes densidades testadas as variáveis: número de folhas e diâmetro do caule. Onde o melhor resultado veio das densidades, 83,333 e 62,500 plantas ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em relação a análise fisiológica do amaranto BRS Alegria, o melhor resultado de todas as variáveis analisadas veio da densidade 111,111 plantas ha<sup>-1</sup>, exceto as relacionadas ao uso da água: a eficiência instantânea do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água, onde a densidade de 83,333 obteve o melhor resultado.

**Palavras-chave:** *Amaranthus cruentus* L.; crescimento; pseudo cereal; alimento nutritivo.



## ABSTRACT

Amaranth is an ancient grain that has gained popularity due to its nutritional benefits and unique properties, having several uses, both in human and animal food. The objective was to evaluate the development and physiological performance of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria under different planting densities. The experiment was conducted in the experimental area of the UFC agriculture sector, from July to September 2021. The adopted experimental design was in randomized blocks, with five treatments and three replications. The treatments consisted of five planting densities (62,500; 83,333; 111,111; 125,000 and 166,666 plants ha<sup>-1</sup>). The development, growth, and physiological characteristics of the plants were evaluated. The growth variables were: plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, dry matter content of stem, leaves, root and inflorescences. The variables related to physiology were: net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, internal CO<sub>2</sub> concentration, carboxylation efficiency, intrinsic water use efficiency, instantaneous water use efficiency and ratio between internal and external CO<sub>2</sub> concentration, PSII effective quantum yield, electron transport rate, photochemical quenching and non-photochemical quenching. Regarding the BRS Alegria amaranth growth analysis, the following variables varied significantly in relation to the different densities tested: number of leaves and stem diameter. Where the best result came from densities, 83,333 and 62,500 plants ha<sup>-1</sup>, respectively. Regarding the physiological analysis of BRS Alegria amaranth, the best result of all the variables analyzed came from the density 111.111 plants ha<sup>-1</sup>, except those related to water use: instantaneous efficiency of water use and intrinsic efficiency of water use, where the density of 83,333 plants ha<sup>-1</sup> obtained the best result.

Keywords: *Amaranthus cruentus* L.; growth; false cereal; nutritious food.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área onde foi realizado o experimento.....	22
Figura 2 - Temperaturas máxima, média e mínima na área de estudo durante o período de condução do experimento.....	23
Figura 3 - Volume de precipitação (mm) e umidade relativa (%) na área de estudo durante o período de condução do experimento.....	23
Figura 4 - Bandeja de mudas de A. Cruentos BRS Alegria .....	25
Figura 5 - Avaliação do diâmetro do caule.....	26
Figura 6 - Análise foliar, integrador de área foliar .....	27
Figura 7 - Caule, folhas e inflorescência coletados para secagem .....	27
Figura 8 - Avaliação de trocas gasosas, IRGA.....	29
Figura 9 - Curva de crescimento do amaranto BRS Alegria durante o período experimental .....	30
Figura 10 - Número de folhas do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo e durante o período experimental.....	31
Figura 11 - Número de folhas do amaranto BRS Alegria em função do tempo, durante o período experimental.....	31
Figura 12 - Diâmetro do caule do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental.....	32
Figura 13 - Concentração interna de CO <sup>2</sup> do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental.....	33
Figura 14 - Taxa transpiratória do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental.....	34
Figura 15 - Ci/Ca do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental.....	34
Figura 16 - Fotossíntese Líquida do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental.....	35
Figura 17 - Eficiência intrínseca do uso da água do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental.....	36
Figura 18 - Eficiência instantânea do uso da água do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental.....	36
Figura 19 - Eficiência de carboxilação do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental.....	37

Figura 20 - Fotossíntese líquida do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental..... 38

## LISTA DE GRÁFICOS

Tabela 1 - Combinações dos espaçamentos entre linhas e entre plantas, e suas respectivas densidades.....	24
--	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>3.1</b>	<b>Amaranto no Brasil e no mundo</b> .....	17
<b>3.2</b>	<b>Características e utilidades do amaranto granífero</b> .....	18
<b>3.3</b>	<b>Respostas fisiológicas do amaranto a diferentes densidades de plantio</b> .....	20
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
<b>4.1</b>	<b>Localização e caracterização da área de estudo</b> .....	22
<b>4.1.1</b>	<i>Tratamentos e delineamento experimental</i> .....	24
<b>4.1.2</b>	<i>Implantação e condução do experimento</i> .....	24
<b>4.2</b>	<b>Características avaliadas</b> .....	25
<b>4.2.1</b>	<i>Crescimento de plantas</i> .....	25
<b>4.2.2</b>	<i>Análise fisiológica</i> .....	28
<b>4.3</b>	<b>Análises estatísticas</b> .....	29
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
<b>5.1</b>	<b>Análise de Crescimento</b> .....	30
<b>5.2</b>	<b>Análise fisiológica</b> .....	32
<b>5.2.1</b>	<i>30 dias – Estádio vegetativo</i> .....	32
<b>5.2.2</b>	<i>45 dias – Estádio reprodutivo</i> .....	38
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	40
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41
	<b>APÊNDICE A - ANOVA SOBRE OS DADOS DE MASSA SECA DA PLANTA</b> .....	44

<b>APÊNDICE B - ANOVA SOBRE OS DADOS DE MASSA SECA DA PLANTA</b> .....	47
<b>APÊNDICE C - ANOVA SOBRE OS DADOS FISIOLÓGICOS DA PLANTA</b> <b>AOS 30 DIAS</b> .....	48
<b>APÊNDICE D - ANOVA SOBRE OS DADOS FISIOLÓGICOS DA PLANTA</b> <b>AOS 45 DIAS</b> .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas foram causadoras e motivadoras de transformações culturais e evolutivas em diversos períodos da história humana. Como aponta STANDAGE (2005), a agricultura condicionada pelos fatores climáticos direcionou a gastronomia, arquitetura, entre outras áreas da sociedade. Atualmente, as mudanças climáticas novamente induzem e ensejam mudanças de condutas. Apesar dos avanços tecnológicos, os eventos climáticos continuam relevantes nas dinâmicas dos sistemas humanos, principalmente no que tange sobre segurança alimentar da população global.

O valor de calorias a ser consumido diariamente, recomendado pela Organização Mundial de Saúde, é referente a 2.500 kcal, porém, cada organismo possui uma quantidade necessária para funcionar bem. As calorias são fornecidas pelos carboidratos, lipídios e pelas proteínas que consumimos e não devem ser eliminadas da alimentação diária, pois possuem seu valor nutricional e são importantes em determinadas realizações do organismo (FAO, 1985). No Brasil é comum o consumo do arroz, trigo, milho, feijão, mandioca e batata, que são os principais fornecedores de carboidratos e proteínas. E certos alimentos como o Amarantho que é altamente nutricional e sustentável ainda são considerados desconhecidos ou ignorados por boa parte dos brasileiros e até mesmo pela agricultura tradicional (TEIXEIRA et al., 2003).

O gênero *Amaranthus* compreende várias espécies da família Amaranthaceae cujas folhas e sementes são regularmente consumidas como alimento em diversos países, entre os quais ainda não se inclui o Brasil (SPEHAR, 2007). As espécies graníferas se destacam pela rapidez de crescimento e produção, possibilitando o cultivo em condições de escassez de umidade na fase reprodutiva (SPEHAR, 2007).

Além disso, o amaranto possui elevado valor nutricional tanto em suas folhas como em suas sementes. Sementes de amaranto contém um alto teor proteína com melhor equilíbrio de aminoácidos essencial do que a maioria dos cereais e legumes (HUERTA et. al., 2012; Barba de LA Rosa et al. 1992; SCHNETZLER; BREENE 1994). Da parte verde podem-se utilizar as folhas tenras, são saborosas, e de qualidade nutricional tão alto quanto as das sementes. O uso e consumo deste produto de alto valor proteico resultaria na diminuição considerável nos níveis de desnutrição em muitos países em desenvolvimento (GARAY et al.,

2012), caracterizando-se como uma alternativa para aliviar problemas de saúde, alimentação e contribuindo para adequação de alimentos mais saudáveis na indústria alimentícia (COTA & FRIER, 2012; PAREDES, 1994; PAREDES et al. 2002).

Pesquisas têm sido realizadas a fim de demonstrar o potencial nutricional do amaranto para mitigar os efeitos da desnutrição em países subdesenvolvidos. Estudos no Quênia evidenciaram o potencial do amaranto quando utilizado na complementação de grupos vulneráveis, principalmente em crianças (MBURU et al., 2011). Além do consumo do grão em si, uma das formas recomendadas para o consumo de amaranto é a farinha integral, que pode ser utilizada na indústria da panificação, ou de forma direta pela população para incrementar e enriquecer sua alimentação (BIANCHINI et al., 2014).

O amaranto se adapta às condições climáticas e edafológicas do Brasil Central, apresenta características agronômicas desejáveis e tem potencial para se tornar uma opção de cultivo na entressafra (SPEHAR et al., 2003). Dependendo da cultivar e das condições do ambiente a qual a cultura será introduzida, obteve-se produtividades entre 1,0 e 2,4 t ha<sup>-1</sup> (DOMINGOS et al., 2005; SPEHAR et al., 2003), em condições de solo e clima do cerrado. Na região sul do país, tem se obtido produtividades de até 4,5 t ha<sup>-1</sup> (BRAMBILLA et al., 2008), e no Distrito Federal em solos anteriormente cultivados com soja, obtiveram-se produtividades entre 1,0 a 3,0 t ha<sup>-1</sup> (SPEHAR, 1999). No semiárido brasileiro, nas condições de estudo, o amaranto pode produzir até 1,7 t ha<sup>-1</sup> de grãos e 123,2 t ha<sup>-1</sup> de matéria fresca (GOMES, 2023). No Brasil, a produtividade e o ciclo curto, em média 80 a 90 dias, possibilitam atender rapidamente à demanda dos agricultores (SPEHAR & SOUZA, 2003).

De acordo com Henderson et al. (1993) para maximizar o rendimento de grãos e aumentar o potencial da cultura de amaranto, a adoção de práticas de cultivo que incluem adubação e densidade de semeadura ajustada para cada cultivar, juntamente com outras características de manejo é essencial. Entende-se então a necessidade de estudos de níveis de densidade de plantio que possibilitem aprimorar o manejo da planta de amaranto, visando a produção comercial no Brasil (TEIXEIRA et al., 2003).



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o desenvolvimento e o desempenho fisiológico do *A. cruentus* BRS Alegria sob diferentes densidades de plantio.

### **2.2 Objetivos específicos**

De forma específica este trabalho se propõe a:

- Avaliar os efeitos das diferentes densidades de plantio e das épocas de avaliações no crescimento da planta.
- Avaliar os efeitos das diferentes densidades de plantio no desempenho fisiológico do amaranto.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Amaranto no Brasil e no mundo

O Amaranto caracteriza-se por ser um antigo pseudo cereal de folhas largas, cuja origem se deu na América do Norte e Central (RASTOGI e SHUKLA, 2013), onde tem sido utilizado, há mais de 4000 anos, na alimentação humana e animal, pois suas sementes são ricas em proteínas e amido de qualidade, de fácil digestão (ALEJANDRE ITURBIDE et al., 2012; MAXIMILIAN et al., 2016).

A semente do amaranto, moída e amassada com sangue proveniente de sacrifícios humanos era oferecida às divindades e consumida pelos habitantes em suas cerimônias religiosas. Quando Hernán Cortez conquistou seus territórios em 1519, proibiu essas práticas e o cultivo do amaranto quase desapareceu, embora tenha sido preservado em lugares remotos e montanhosos. Somente em épocas recentes o amaranto saiu de sua condição obscura, sendo atualmente cultivado no México e América Central e nos territórios andinos da América do Sul (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984; YÁÑEZ et al., 1994).

Atualmente o amaranto é amplamente distribuído nas Américas, principalmente no México, sendo uma cultura tradicional nos altos vales centrais mexicanos, cultivada extensivamente, desde muito antes da chegada dos espanhóis (DE LA O OLÁN et al., 2012; JACOBSEN & SHERWOOD, 2002). Inclui cerca de 70 espécies nativas dos trópicos e de regiões temperadas em todo o mundo, dos quais 40 são da América e o resto pertence à Austrália, África, Ásia e Europa (ESPITIA et al., 2010).

Nas últimas décadas, o desenvolvimento comercial do amaranto tem despertado grande interesse em países da União Europeia e América Latina (SANCHEZ-MARROQUÍN, 1983). Seu cultivo se desenvolveu principalmente no México, sudoeste dos EUA, sul do Canadá, Guatemala, Peru, Bolívia e norte da Argentina. Várias espécies de amaranto ainda são cultivadas como fonte de grãos no sudoeste da Ásia e Manchúria (HAUPTLI & JAIN, 1997).

No Brasil, a planta e o grão têm sido pouco estudados e seu consumo chega a ser praticamente desconhecido, é frequentemente chamado de “falso cereal” por características semelhantes a tais. Existe, entretanto, um esforço técnico-científico desenvolvido pela Embrapa Cerrados, Planaltina, GO, no sentido de adaptar três espécies graníferas americanas aos solos e ao clima do Cerrado brasileiro (AMAYA-FARFAN et al, 2015).

Durante o processo de seleção, têm-se obtido inúmeros genótipos, dos quais um tornou-se cultivar (BRS Alegria) e outros aguardam o momento oportuno para serem recomendados. Estes se encontram prontos para avaliação tecnológica e nutricional. Os resultados obtidos têm sido encorajadores, pois suas produtividades são altas e até já existe interesse por parte de agricultores na sua utilização (AMAYA-FARFAN et al, 2015).

O amaranto no Brasil (*Amaranthus sp.*) é bem adaptado a terras marginais e detém um significativo potencial para um maior desenvolvimento e adaptação, devido a sua elevada diversidade genética e plasticidade fenotípica (EMIRE; AREGA, 2012; RASTOGI; SHUKLA, 2013). A combinação dessas características com a sua tolerância inerente às temperaturas elevadas, seca, solos pobres e poucos problemas fitossanitários tornam o amaranto uma cultura interessante para ser cultivada em condições adversas (FUENTES REYES et al. 2018).

Devido ao seu alto valor nutricional e a crescente demanda no Brasil; e para minimizar os fatores de adaptação ao clima do Brasil, foi desenvolvida pela Embrapa e colaboradores a cultivar *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, que foi a primeira recomendação do cultivo do amaranto granífero para o Brasil, para a região do bioma Cerrado mais especificamente. O *A. cruentus* BRS Alegria originou-se da linhagem de *A. cruentus* AM 5189, procedente dos Estados Unidos. Após dois anos de ensaios, a partir de 1998, realizou-se seleção massal em AM 5189 e uniformizou-se em relação a características agrônômicas (SPEHAR et al., 2003).

### **3.2 Características e utilidades do amaranto granífero**

O amaranto (*Amaranthus sp.*) é uma planta dicotiledônea cujas folhas e sementes são consumidas como alimentos em diversas regiões do mundo (SAUER, 1950). A planta apresenta inflorescências tipo panícula, sendo frequentemente classificada como “falso cereal”. É uma planta herbácea cujo caule principal pode alcançar 2,5 m de altura, possui folhas largas e a inflorescência terminal é uma panícula de diferentes cores que pode ser decumbente, semiereta, globosa ou amarantiforme típica, densa ou laxa. É monoica e alógama intermediária, podendo atingir até 30% de polinização cruzada (WILLIAMS & BRENNER, 1995).

As sementes têm de 1 a 1,5 mm de diâmetro e 0,5 mm de espessura. Podem ser brancas, amarelas, rosadas, cinzas, vermelhas ou pretas. Grande parte de seu volume é preenchida pelo embrião (ALVAREZ-JUBETE et al., 2010). Seu peso varia de 0,49 a 0,93

mg (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984). As espécies graníferas possuem sementes claras, variando de douradas, rosadas a totalmente brancas e sem dormência (WILLIAMS & BRENNER, 1995).

As inflorescências podem ser de dois tipos: axilares ou terminais. As axilares se desenvolvem a partir das gemas axilares, que não gerará um ramo estendido. Já as terminais são robustas, alongadas, e com uma característica muito típica, podem ser pendentes. As plantas “fêmea”, são espinescentes, por causa de suas brácteas, ao passo que as “macho” possuem inflorescências mais macias (WARD et al., 2013).

O amaranto possui múltiplos usos, tanto na alimentação humana, animal, na indústria, na medicina e na ornamentação. Os grãos destinam-se à alimentação humana e animal. Inúmeros alimentos podem ser produzidos para atender à demanda por dietas especiais, como farinhas, cereais matinais, massas, biscoitos livres de glúten; são úteis a pessoas que buscam alternativa à proteína animal, livre de colesterol, e a pacientes celíacos. Na alimentação de suínos e aves, apresenta vantagem sobre o milho ou a soja, isoladamente, como fonte de proteína de alto valor biológico (RIVERO, 1994; BRENNER & WILLIAMS, 1995).

Considerando a sua longa trajetória, são abundantes as opções de pratos e receitas disponíveis, inclusive o seu consumo após uma simples tostagem que resulta num produto expandido semelhante à pipoca, snack de milho amplamente aceito pelo consumidor brasileiro. Existem já alguns trabalhos brasileiros que visam à utilização do amaranto e de sua farinha em produtos industrializados (MARCÍLIO et al., 2005).

São espécies que têm a capacidade de crescer em solos pobres e em circunstâncias desfavoráveis como em ambientes altamente salinos, com baixa disponibilidade de água e forte intensidade de luz (BRENNER et al., 2000; JOHNSON & HENDERSON, 2002; OMAMI et al., 2006). Devido adaptações anatômicas e fisiológicas especiais como a presença de tricomas que atuam como estruturas de secreção externa para remover os sais que estão presentes em excesso no solo, cutícula espessa, em algumas espécies presença de espinhos e fixação de carbono atmosférico através de um mecanismo do tipo C4 (CASTRILLÓN-ARBELÁEZ et al., 2012).

### 3.3 Respostas fisiológicas do amaranto a diferentes densidades de plantio

As diferentes densidades podem impactar de forma positiva ou negativa, seja a fisiologia, produtividade e outros parâmetros das plantas de forma geral. A densidade de plantio tem papel importante na produção do cultivo (BORGHI e CRUSCIOL, 2007, RESENDE et al., 2008; CECCON et al., 2014).

A competição causa mudanças fisiológicas nas culturas, por isso avaliações das características fisiológicas relacionadas à fotossíntese, eficiência do uso da água, entre outros parâmetros, podem ser indicadores do nível de interferência (CONCENÇO et al., 2009; GALON et al., 2011). O espaçamento e a densidade de plantio são componentes do manejo que definem a população e o arranjo de plantas, podendo interferir no rendimento e nas operações a serem realizadas em uma lavoura (ANDRADE, 1999).

Para ser atingido o potencial máximo de produção em uma planta, é necessário que se tenham as melhores condições de solo e clima, e normalmente com o mínimo de competição, as modificações no arranjo podem ser feitas por meio da variação do espaçamento entre as plantas na linha de semeadura e da distância entre linhas (PIRES et al., 1998).

Existem poucas informações sobre a densidade de plantas, arranjos espaciais adequados para um melhor crescimento e desenvolvimento da cultura do amaranto, bem como no que diz respeito a sua produtividade (GUILLEN-PORTAL et al., 1999). Em alguns trabalhos tem-se obtido acréscimo da produtividade e desenvolvimento do amaranto com o aumento da densidade de plantas (PEIRETTI & GESUMANIA, 1998) e há outras pesquisas mostrando nenhum efeito (MYERS, 1996).

Um dos objetivos da modificação no arranjo de plantas, pela redução da distância entre linhas, é a diminuição do tempo para que a interceptação pela cultura seja de 95% da radiação solar incidente, e com isso, incrementa-se a quantidade de luz captada por unidade de área e de tempo (BOARD e HARVILLE, 1992; SHAW e WEBER, 1967). O índice de área foliar (IAF) é a relação entre a área da folhagem e a superfície do solo por ela ocupada e é variável de acordo com espécies vegetais, clima, estações do ano e estágio de desenvolvimento da planta (MÜLLER, 1981; CÂMARA e HEIFFIG, 2000).

Com o aumento do IAF, até um valor crítico, também se aumenta a interceptação de luz e, conseqüentemente, a fotossíntese líquida. O “IAF crítico” é definido como a quantidade de folha requerida para interceptação de 95% da radiação solar ao meio-dia. Quando a taxa de

crescimento é decrescente, abaixo de um dado IAF e, não havendo mais uma contribuição líquida ao acúmulo de fotossintetizados, será denominado “IAF ótimo” (MÜLLER, 1981).

Com a redução no espaçamento entre linhas podem ser acarretadas modificações na quantidade de matéria seca acumulada pelas plantas, fechamento da área da entrelinha (SCOTT e ALDRICH, 1975), área foliar e índice de área foliar, que podem resultar em aumento no rendimento de grãos (PIRES et al., 1998). Com a alteração da área foliar, devido à densidade de população e tipo de planta, aumentam a percentagem de interceptação da radiação solar e o acúmulo de matéria seca a valores máximos, à medida que a área foliar é incrementada (PORRAS et al., 1997).

Para uma mesma região, o número de dias entre a emergência e a maturidade pode variar com a latitude e a época de semeadura, indicando haver variabilidade genética em *A. cruentus* para resposta ao fotoperíodo (GIMPLINGER et al., 2007; EARLEY et al., 2005).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido entre os meses de julho a setembro de 2021, foram desenvolvidos na Área Experimental do Setor de Agricultura (3°44' de latitude Sul, 38°33' a oeste de Greenwich e 19,5 m de altitude), do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, em Fortaleza-CE (Figura 1).

Figura 1 - Área onde foi realizado o experimento



Fonte: autoria própria

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é Aw (tropical com inverno seco). As temperaturas na área durante o experimento variaram entre 33,8°C (máx) e 23,2°C (min) que foram atingidas nos meses de agosto e julho respectivamente, a média da temperatura foi de 28,5°C (figura 2). A umidade na área foi em média 67,5%, onde atingiu a maior umidade (84%) no mês de julho e a menor (58,6%) em agosto. Em relação a precipitação na área durante o experimento, foi 64,8 mm no total, onde a maior parte ficou concentrado no mês de julho (63,6 mm) (figura 3).

Os dados sobre a temperatura, umidade e precipitação foram obtidos e cedidos para fins acadêmicos pela Estação meteorológica automatizada presente no campus do Pici, da

UFC. Todos estes dados são capturados através de uma interface com um módulo que descarrega toda a informação em um computador.

Figura 2 - Temperaturas máxima, média e mínima na área de estudo durante o período de condução do experimento

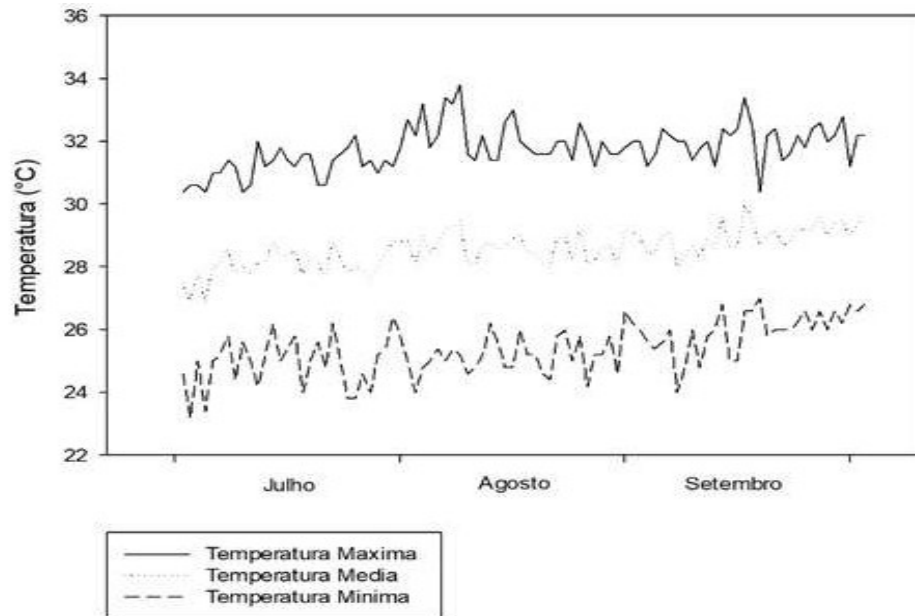
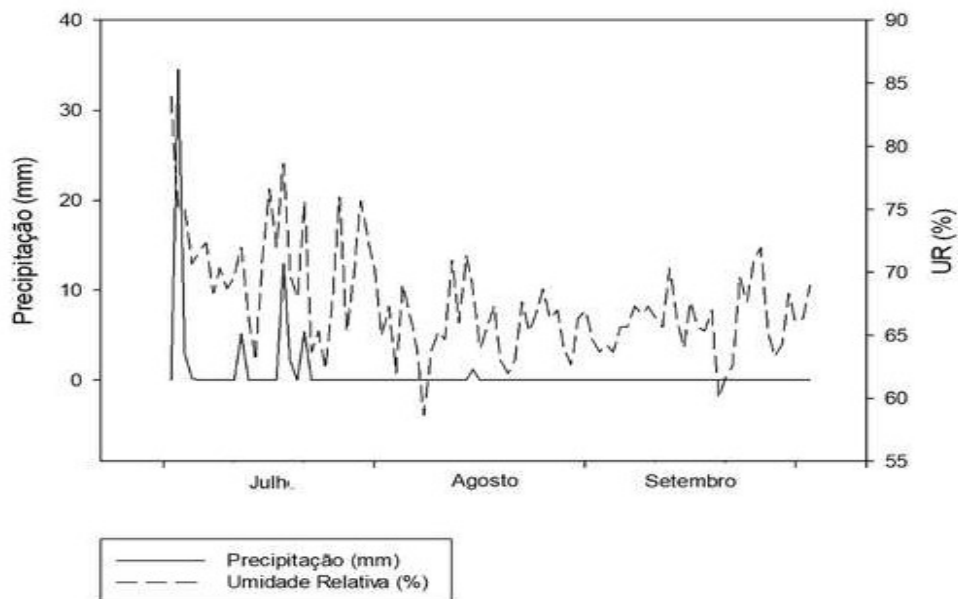


Figura 3 - Volume de precipitação (mm) e umidade relativa (%) na área de estudo durante o período de condução do experimento





#### 4.1.1 *Tratamentos e delineamento experimental*

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação dos espaçamentos entre linhas e entre plantas, e suas respectivas densidades de plantio resultantes.

As densidades de plantio utilizadas foram: 62.500; 83.333; 111.111; 125.000 e 166.666 plantas ha<sup>-1</sup>. Os espaçamentos do plantio foram combinações de entre linhas 30 e 40 cm, com entre plantas de 20, 30 e 40 cm (Tabela 1).

Tabela 1 - Combinações dos espaçamentos entre linhas e entre plantas, e suas respectivas densidades

<b>Espaçamento entre linhas (cm)</b>	<b>Espaçamento entre plantas (cm)</b>	<b>Densidade (plantas ha<sup>-1</sup>)</b>
40	40	62.500
40	30	83.333
30	30	111.111
40	20	125.000
30	20	166.666

A área experimental total foi de 158,72 m<sup>2</sup>. Cada unidade experimental foi composta por um talhão variando entre 1,2 e 1,6 m de largura por 3,6 m de comprimento, com cinco linhas de plantio, sendo consideradas como área útil as três linhas centrais de plantio.

#### 4.1.2 *Implantação e condução do experimento*

O preparo do solo consistiu na roçagem da área experimental seguida de aração e gradagem com grade niveladora.

A semeadura foi realizada manualmente em bandejas plásticas de 50 células, colocando-se até quatro sementes por célula à profundidade de 2 cm (Figura 4). O substrato utilizado consistiu na mistura de bio-adubo e terra vegetal na proporção 3:1 v/v. O transplantio das mudas foi realizado aos 15 dias após a semeadura (DAS), as mudas estavam

em torno em 6 cm de altura. Aos 10 dias após o transplante (DAT) foi realizado o desbaste das plantas, deixando uma planta por cova.

Figura 4 - Bandeja de mudas de A. Cruentos BRS Alegria



A adubação foi realizada por meio da aplicação de Nitrogênio: 90 kg ha<sup>-1</sup>, parcelado 45kg ha<sup>-1</sup> por ocasião do plantio e os outros 45kg ha<sup>-1</sup> 20 dias após o plantio, utilizando sulfato de amônio como fonte; Fósforo: 60 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando o adubo supersimples como fonte; Potássio: 80kg ha<sup>-1</sup>, parcelado 40kg ha<sup>-1</sup> por ocasião do plantio e os outros 40kg ha<sup>-1</sup> 20 dias após o plantio, utilizando cloreto de potássio como fonte; Magnésio: 20 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando sulfato de magnésio como fonte.

O sistema de irrigação foi por gotejamento, com irrigações diárias concentradas no período da manhã. Sempre que necessário foram realizadas capinas manuais para o controle de plantas espontâneas.

## 4.2 Características avaliadas:

### 4.2.1 Crescimento de plantas

**Altura de plantas (AP):** medida com o auxílio de uma régua graduada em cm, sendo medida do solo até o último nó da planta. Foram feitas coletas de dados nos dias 30, 45, 60, 75 e 90 após a semeadura.

**Diâmetro do caule (DC):** medido abaixo do primeiro nó, com o auxílio de um paquímetro digital e expresso em mm. Foram feitas coletas de dados nos dias 30, 45, 60, 75 e 90 após a semeadura (Figura 5).

**Número de folhas (NF):** para contagem das folhas, foram consideradas as folhas completamente expandidas. Foram feitas coletas de dados nos dias 30, 45, 60, 75 e 90 após a semeadura.

**Área foliar (AF):** Foi mensurada no início do ciclo (tempo zero) e ao final do ciclo, com auxílio de um integrador de área foliar Licor ® LI-300C com o resultado expresso em  $\text{cm}^2$  (Figura 6).

Figura 5 - Avaliação do diâmetro do caule



Figura 6 - Análise foliar, integrador de área foliar



**Matéria seca do caule (MSC), folhas (MSF), raiz (MSR) e inflorescências (MSI):** Para a obtenção da massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e das raízes (MSR) (Figura 6). As amostras foram colocadas em sacos de papel, previamente identificados, e levadas à estufa de circulação forçada a 65° C até obter massa constante. Já as inflorescências (MSI) foram colocadas em estufa de circulação forçada a 45° C por 48 horas até obter massa constante. As coletas e análises foram feitas ao final do experimento, aos 90 dias após a semeadura (Figura 7).

Figura 7 - Caule, folhas e inflorescência coletados para secagem



Com os dados de matéria seca foram determinados a massa seca total (MST) e massa seca da parte aérea (MSPA) e então calculada a razão raiz/parte aérea (R/PA) e as razões de massa: razão de massa foliar (RMF), razão de massa caulinar (RMC) e razão de massa radicular (RMR) que serão expressas em porcentagem. Além disso, também foi calculado a taxa de crescimento relativo (TCR).

#### ***4.2.2 Análise fisiológica***

**Trocas gasosas:** As variáveis fisiológicas foram avaliadas aos 30 e 45 dias após o transplântio, sendo estas: taxa fotossintética líquida, taxa de transpiração, condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), eficiência de carboxilação (E<sub>iC</sub>), eficiência intrínseca no uso da água (E<sub>iUA</sub>), eficiência instantânea no uso da água (EUA) e razão entre concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>).

As avaliações foram realizadas entre 8:00 e 11:00 h, na terceira folha completamente expandida a partir do ápice, utilizando o analisador de gás no infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400XT, Li-Cor® Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA), com radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante (1500 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração constante de CO<sub>2</sub> (400 ppm) e temperatura e umidade ambiente. Com os dados obtidos com o IRGA, também foram calculadas a eficiência do uso da água intrínseca (EUA intr. - A/g<sub>s</sub>) e instantânea (EUA inst. - A/E) e a eficiência instantânea de carboxilação (E<sub>iC</sub> - A/C<sub>i</sub>).

Além disso, também foram avaliados os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, com um fluorômetro acoplado ao IRGA (Li-6400-40, Li-Cor®), na mesma folha utilizada para avaliar as trocas gasosas (Figura 8). Após a leitura no claro (concomitante às trocas gasosas), as folhas foram aclimatadas ao escuro durante 30 minutos, para determinação dos parâmetros de fluorescência mínima (F<sub>v</sub>) e, após um pulso saturante, foi obtida a fluorescência máxima (F<sub>m</sub>). Em seguida, a eficiência fotoquímica potencial do PSII (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) foi estimada.

Com isto, através dos parâmetros de fluorescência obtidos no claro, foi possível determinar o rendimento quântico efetivo do PSII (ϕFSII), a taxa de transporte de elétrons (ETR), quenching fotoquímico (qP) e quenching não-fotoquímico (qN).

Figura 8 - Avaliação de trocas gasosas, IRGA



#### 4.3 Análises estatísticas

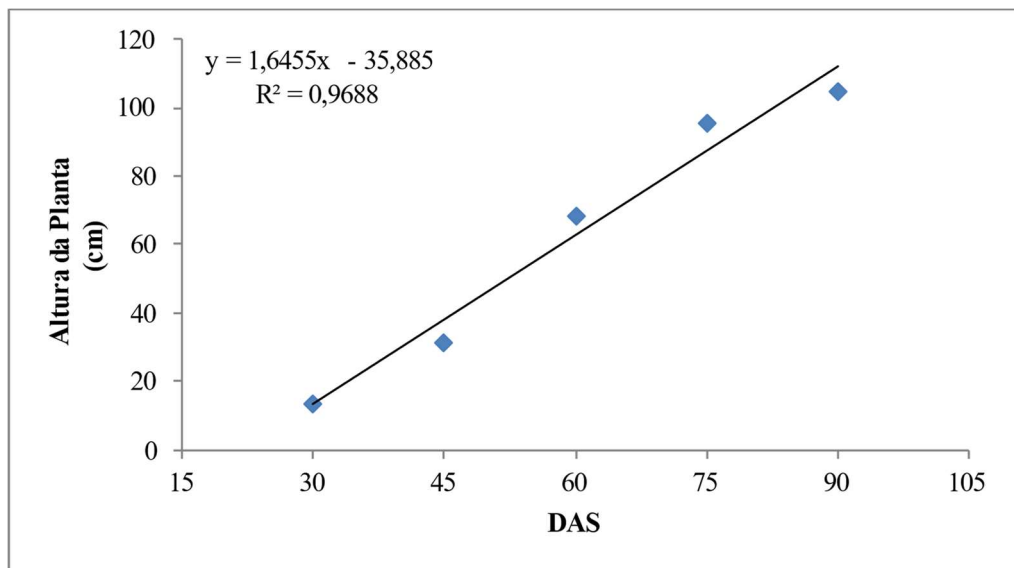
Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade. Em seguida, a análise de variância foi realizada separadamente e, sempre que significativa ( $p < 0,05$ ), os dados foram submetidos à análise de regressão, utilizando o software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019). Os gráficos foram plotados utilizando o Microsoft Excel®.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise de Crescimento

A altura das plantas não variou em função das densidades de plantio avaliadas, mas houve diferença significativa no que diz respeito as diferentes épocas avaliadas, seguiu uma curva de crescimento linear durante o período experimental de 60 dias, indo de 14 cm a 105 cm de altura (Figura 9). De acordo com Spehar et al. (2003) o *A. cruentus* BRS Alegria pode atingir entre 180 e 200 cm de altura em um ciclo de 120 dias.

Figura 9 - Curva de crescimento do amaranto BRS Alegria durante o período experimental



O número de folhas do amaranto BRS Alegria variou em função das densidades de plantio avaliadas e após seu ponto máximo na densidade de 83.333 plantas ha<sup>-1</sup>, seguiu um tendência negativa em que o número de folhas decresceu linearmente à medida que a densidade de plantio aumentou (Figura 10). Esse feito está relacionado com o aumento da competitividade por água, luz e nutrientes entre plantas dentro das parcelas, o que pode acabar prejudicando os processos fisiológicos naturais da planta. Ainda assim, observou-se também uma tendência ao aumento no número de folhas ao longo do período experimental, passando de 6 a 34 folhas por planta em média (Figura 11).

Figura 10 - Número de folhas do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo e durante o período experimental

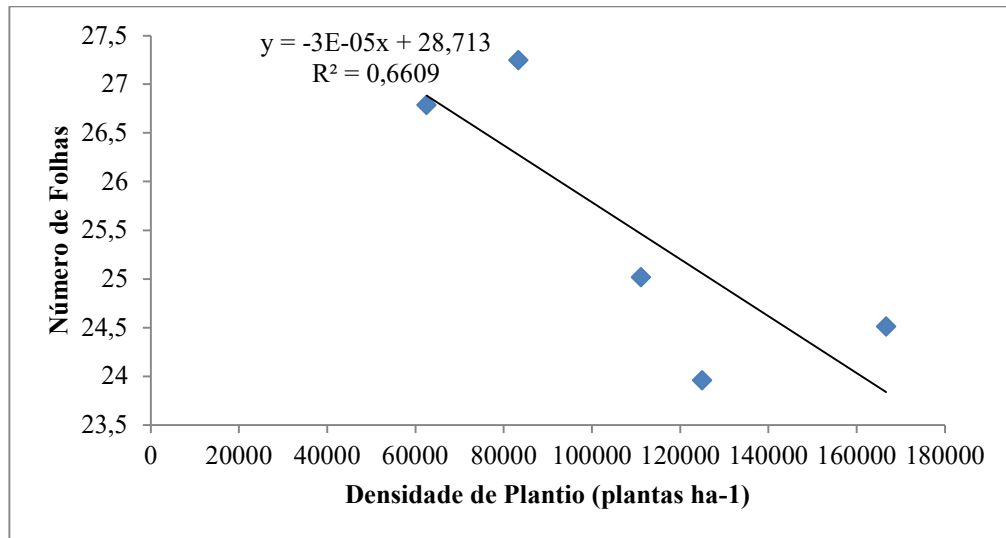
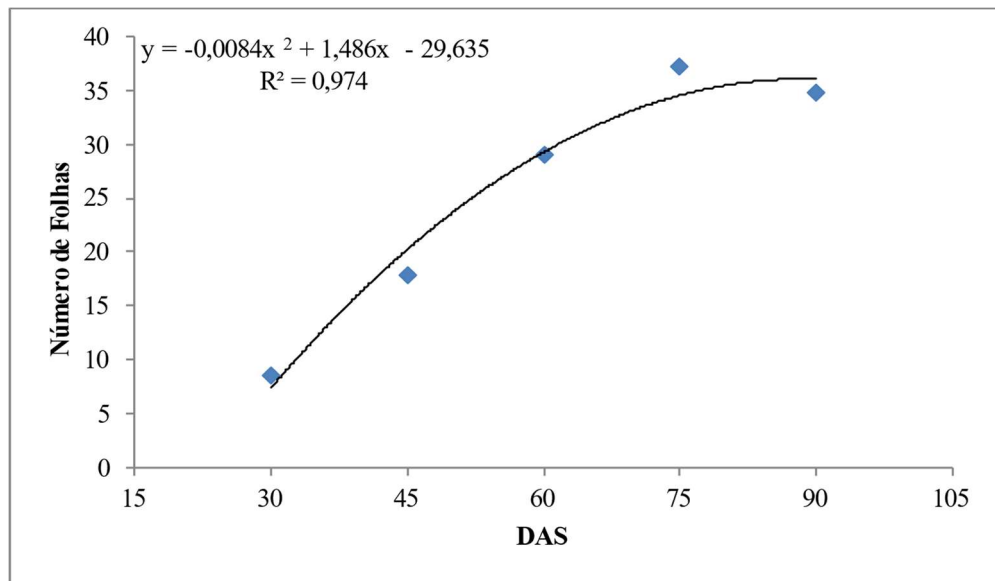


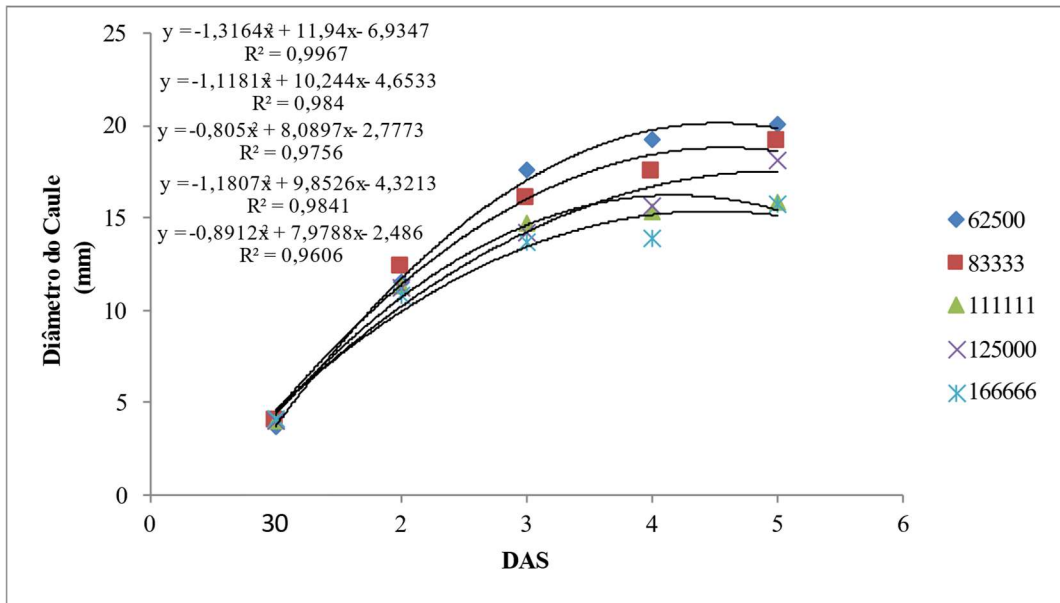
Figura 11 - Número de folhas do amaranto BRS Alegria em função do tempo, durante o período experimental



O diâmetro do caule do amaranto BRS Alegria variou em função da interação entre as densidades de plantio e os períodos de avaliação (Figura 12). De forma geral, observou-se que os plantios menos adensados favoreceram maiores diâmetros de caule, o que possivelmente esteja relacionado com a menor competição por recursos entre as plantas dentro do *stand*. Em estudo semelhante, Fiterer (1996) relatou que em densidades mais baixas as plantas tinham caules mais fortes e em densidades mais altas as plantas tinham menos ramos e os caules eram mais finos.



Figura 12 - Diâmetro do caule do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental



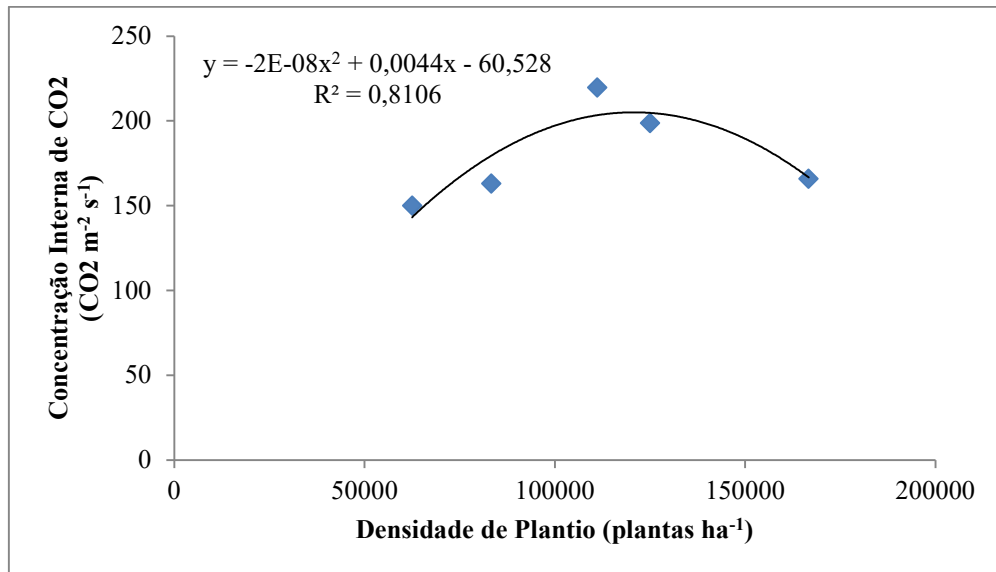
As variáveis teor de matéria seca do caule (MSC), das folhas (MSF), da raiz (MSR), das inflorescências (MSI) e total ((MST) não variaram significativamente em relação as diferentes densidades investigadas. Em experimento semelhante conduzido por Henderson (2000), a biomassa da parte aérea para 7,17 e 27 plantas por metro quadrado também não obteve efeito significativo.

## 5.2 Análise fisiológica

### 5.2.1 30 dias – Estádio vegetativo

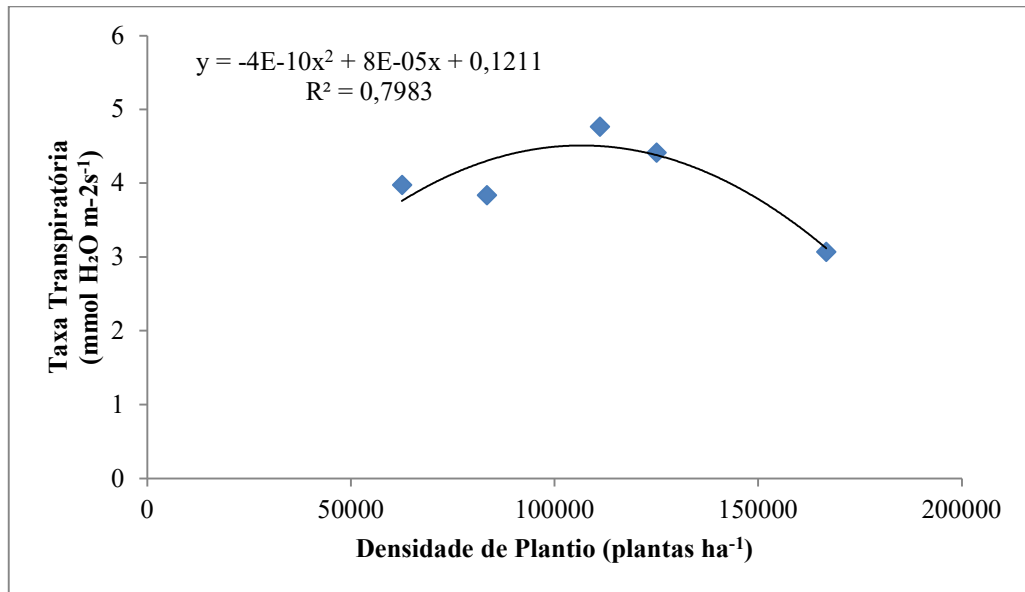
A concentração interna de CO<sup>2</sup> (C<sub>i</sub>) do amaranto BRS Alegria variou em função das densidades de plantio com ajuste polinomial de segundo grau da curva de regressão (Figura 13). Observa-se que a maior concentração interna de CO<sup>2</sup> foi no espaçamento de 111.111 plantas ha<sup>-1</sup>. Em densidades de plantio maiores, onde a demanda por CO<sup>2</sup> é maior devido ao maior número de plantas, espera-se que a concentração interna de CO<sup>2</sup> seja menor.

Figura 13 - Concentração interna de CO<sup>2</sup> do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental



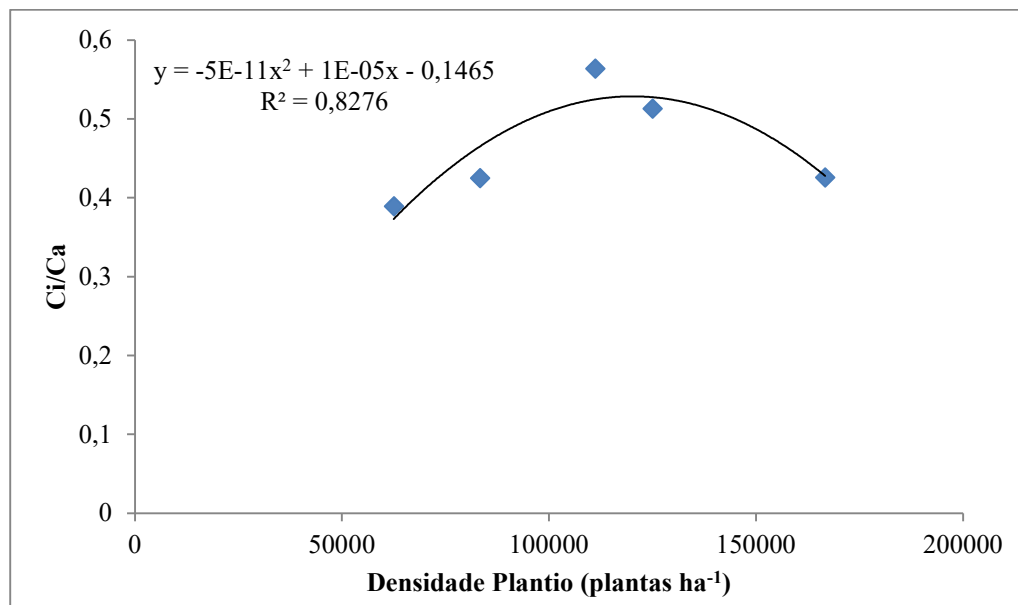
A taxa transpiratória do amaranto BRS Alegria variou em função das densidades de plantio (Figura 14). Observa-se que a maior taxa transpiratória foi no espaçamento de 111.111 plantas ha<sup>-1</sup>. A linha de tendencia não é linear, é mais próxima do formato de uma parábola com a concavidade para baixo, mas após atingir o ponto máximo observa-se uma tendencia decrescente à medida que aumenta a densidade de plantio. Uma maior densidade de plantio pode levar a uma maior competição por água no solo. Como resultado, a taxa de transpiração por planta pode ser reduzida em densidades de plantio mais altas, pois as plantas compartilham o suprimento limitado de água disponível.

Figura 14 - Taxa transpiratória do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental



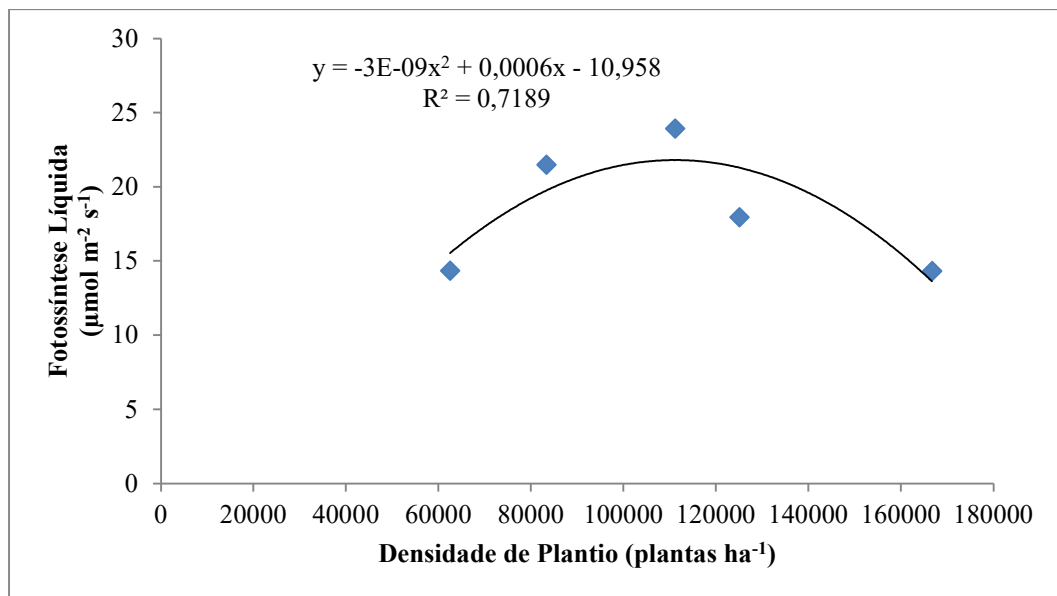
A razão  $C_i/C_a$  do amaranto *BRS Alegria* variou em função das densidades de plantio (Figura 15). Assim como na concentração interna de  $CO_2$ , observa-se que a maior concentração interna de  $CO_2$  foi no espaçamento de 111.111 plantas  $ha^{-1}$ , mas percebe-se que existe uma tendência para que a curva perca amplitude conforme aumentam-se as densidades de plantio.

Figura 15 -  $C_i/C_a$  do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental



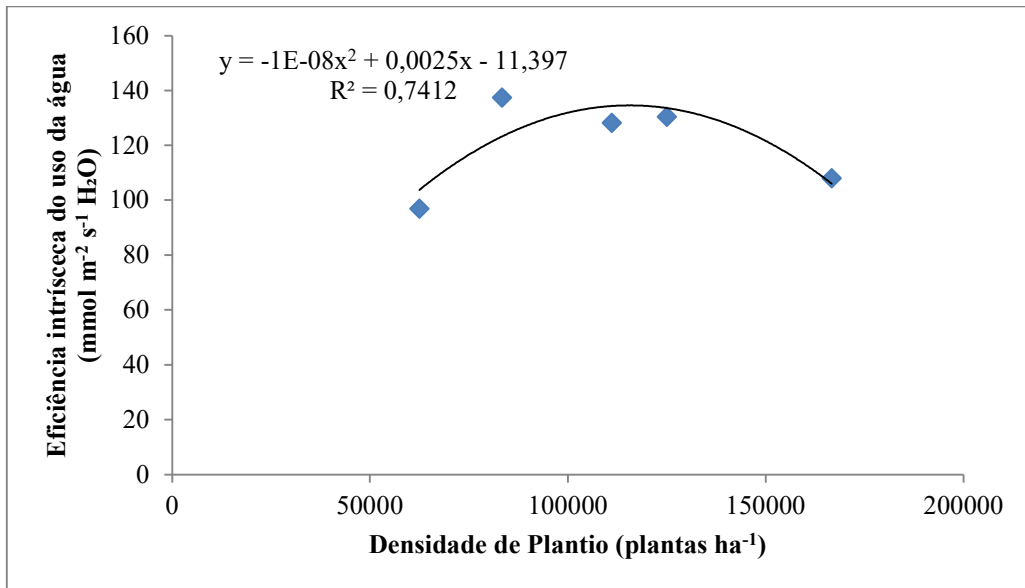
A fotossíntese líquida do amaranto BRS Alegria variou em função das densidades de plantio (Figura 16), verificando uma maior taxa e, conseqüentemente o ponto máximo, no espaçamento de 111.111 plantas ha<sup>-1</sup>. A linha de tendencia não é linear, tem um formato de onda polinomial de segundo grau, mas pela linha de tendencia percebe-se que a taxa ao atingir o maior valor está decrescendo conforme maior a densidade de plantio. Podemos supor que existe uma perda de eficiência fotossintética conforme maior a densidade, visto que aumenta a competição por espaço e conseqüentemente por luz e nutrientes.

Figura 16 - Fotossíntese Líquida do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental



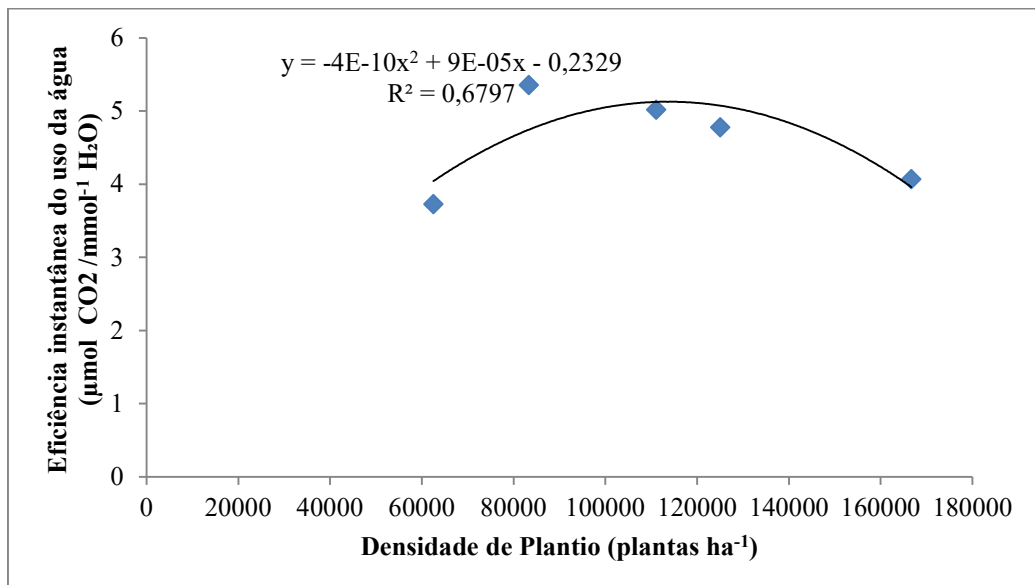
A eficiência intrínseca do uso da água do amaranto BRS Alegria variou em função das densidades de plantio (Figura 17). Observa-se que a maior eficiência foi no espaçamento de 83.333 plantas ha<sup>-1</sup>, com tendencia a queda na eficiência a medida em que se aumentam as densidades de plantio. Observa-se que a menor densidade de plantio (62.500 plantas ha<sup>-1</sup>) e a maior densidade de plantio (166.000 plantas ha<sup>-1</sup>) ambas obtiveram baixa eficiência intrínseca do uso da água. Espera-se que em densidades de plantio mais altas, onde as plantas competem por recursos hídricos limitados, a eficiência intrínseca no uso da água seja reduzida.

Figura 17 - Eficiência intrínseca do uso da água do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental



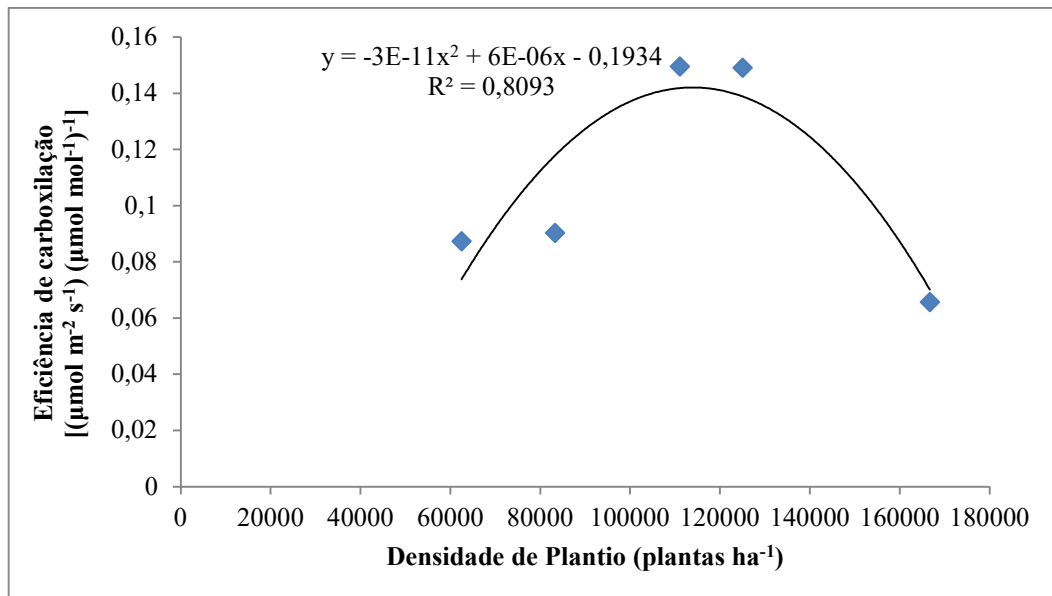
A eficiência instantânea do uso da água do amaranto BRS Alegria variou em função das densidades de plantio (Figura 18). Observa-se, assim como na eficiência intrínseca, que a maior eficiência foi no espaçamento de 83.333 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . A EUA aumenta até a população de 83.333 plantas  $\text{ha}^{-1}$  a partir daí, há uma queda na variável a medida em que a população aumenta.

Figura 18 - Eficiência instantânea do uso da água do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental



A eficiência de carboxilação do amaranto BRS Alegria variou em função das densidades de plantio (Figura 19). Observa-se que a maior eficiência de carboxilação ocorreu nas densidades de plantio 111.111 e 125.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . A curva é do tipo polinomial de segundo grau e inicialmente percebe-se um aumento na eficiência de carboxilação, até atingir um platô, seguido de uma queda na eficiência de carboxilação na densidade de plantio mais alta (166.666 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ). Em densidades de plantio mais altas, devido ao maior sombreamento e competitividade entre as plantas, espera-se que a eficiência de carboxilação seja reduzida.

Figura 19 - Eficiência de carboxilação do amaranto BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental

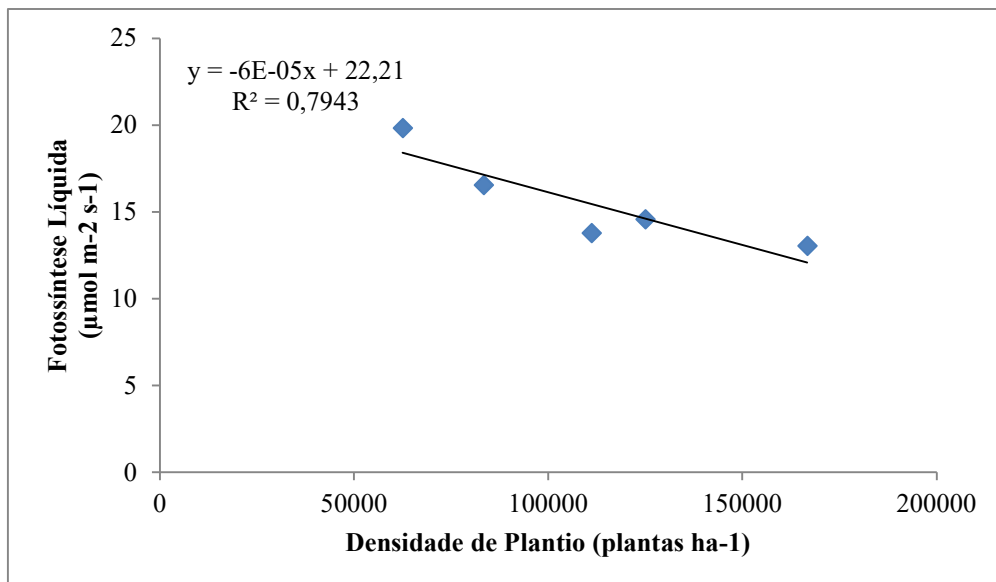


Aos 30 dias não variaram significativamente em função das densidades de plantio investigadas: a eficiência quântica do transporte fotossintético de elétrons por meio do Fotossistema 2 (PSII) onde seus valores variaram de 0,20 a 0,26; quenching fotoquímico (qP) onde seus valores variaram de 0,66 a 0,75; quenching não fotoquímico (qN) onde seus valores variaram de 1,42 a 1,54; e a taxa de transporte de elétrons (ETR) onde seus valores variaram de 129,06 a 171,28.

### 5.2.2 45 dias – Estádio reprodutivo

Durante o período de avaliação de 45 dias após o transplante, somente a fotossíntese líquida das plantas de amarantho foi significativamente afetada pelas densidades de plantio estudadas (Figura 20). Observou-se uma tendência decrescente em que a taxa fotossintética das plantas de amarantho decresceu linearmente com o aumento da densidade de plantio. Esse efeito aponta para uma perda da eficiência fotossintética das plantas submetidas a espaçamentos mais adensados, provavelmente relacionado a um maior sombreamento das plantas.

Figura 20 - Fotossíntese líquida do amarantho BRS Alegria em função da densidade de cultivo durante o período experimental



Aos 45 dias não variaram significativamente em função das densidades de plantio investigadas: a condutância estomática ( $g_s$ ), onde seus valores variaram entre 0,13 e 0,18  $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ; concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ) onde seus valores variaram entre 192,17 e 222,53  $CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ; transpiração foliar ( $E$ ) onde valores variaram entre 2,78 e 3,56  $mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$ ; razão entre a concentração interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_a$ ) onde seus valores variaram entre 0,50 e 0,57; a eficiência de carboxilação ( $EC$ ) seus valores variaram entre 96,88 e 112,82; eficiência instantânea do uso da água ( $EUA$ ) onde seus valores variaram entre 4,65 e 5,60  $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}\ H_2O$ ; eficiência instantânea do uso da água ( $EIUA$ ) onde seus valores variaram entre 0,06 e 0,10  $\mu mol\ CO_2 / mmol\ H_2O$ ; eficiência quântica do transporte

fotossintético de elétrons por meio do Fotossistema 2 (PSII) onde seus valores ficaram entre 0,17 e 0,22; ; quenching fotoquímico (qP) onde seus valores variaram entre 0,55 e 0,60; quenching não fotoquímico (qN) onde seus valores variaram entre 1,45 e 1,58; e a taxa de transporte de elétrons (ETR) onde seus valores variaram entre 112,70 e 145,85.



## 6 CONCLUSÃO

As densidades de 83.333 e 62.500 plantas ha<sup>-1</sup> proporcionaram maior número de folhas e melhor desenvolvimento do diâmetro do caule do Amarantho BRS Alegria, respectivamente.

As trocas gasosas do Amarantho BRS Alegria foram beneficiadas quando as plantas foram cultivadas na densidade de 111.111 plantas ha<sup>-1</sup>.

É importante ressaltar que pesquisas sobre o amarantho BRS Alegria, principalmente em relação a interação da densidade e fisiologia da planta, são necessárias para aprofundamento das características da espécie na região Nordeste.

## REFERÊNCIAS

- ALEJANDRE, I. G.; VALDÉS, L. C. G. S. Y GARCÍA, P. J. 2012. Selección y adaptación de variedades criollas de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en el Noreste de México. En: Espitia Rangel (ed.), **Amaranto: Ciencia y tecnología**. Libro científico No. 2. INIFAP/SINAREFI. México. p 249-256, 2012.
- ALVAREZ-JUBETE, L., ARENDT, E. K., GALLAGHER, E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. **Trends in Food Science & Technology**.; p. 106–113, 2010.
- AMAYA-FARFAN, J.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C. R. Deveria o Brasil investir em novos grãos para a sua alimentação? A proposta do amaranto (*Amaranthus* SP). **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, SP, v. 12, n. 1, p. 47–56, 2015.
- ANDRADE, F. P.; FREIRE, E. C.; COSTA, J. N.; PEDROSA, M. B. **Melhoramento do algodoeiro de fibras longas para cultivo sob condições irrigadas no Nordeste do Brasil**. In: **II Congresso Brasileiro de Algodão, Ribeirão Preto**. Anais. Ribeirão Preto: EMBRAPA/CNPA. p. 566-568, 1999.
- BANZATTO DA; KRONKA SN. Experimentação agrícola. 4. ed. **Jaboticabal: FUNEP**, p 237, 2006.
- BARNI, N.A.; GOMES, J.E.S.; GONÇALVES, J.C. Efeito da época de semeadura, espaçamento e população de plantas sobre o desempenho da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em solo hidromórfico. **Agronomia Sulriograndense**, Porto alegre, v. 21, n. 2, p. 245-296, 1985.
- BIANCHINI, M. G. A., BELEIA, A. D. P., BIACHINI, A. Modificação da composição química de farinhas integrais de grãos de amaranto após a aplicação de diferentes tratamentos térmicos. **Ciência Rural**, v.44, n.1, 2014.
- BOARD, J.E.; HARVILLE, B.G. Explanations for greater light interception in narrow vs. wide-row soybean. **Crop Science, Madison**, v. 32, n. 1, p. 198-202, 1992.
- BRAMBILLA, T, R.; CONSTANTINO, A, P.; OLIVEIRA, P, S. Efeito da adubação nitrogenada na produção de amaranto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.4, p. 761- 768, 2008.
- Brasil. **Lei nº 11.346**, de 15 set. 2006. Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências. Diário Oficial da União. 18 set 2006.
- BRENNER, D. Genetic resources and breeding of amaranthus. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 19, p. 227-286, 2000.
- BRENNER, D. M, D. D., BALTENSBERGER, P. A., KULAKOW, J. W., LEHMANN, R. L., MYERS, M. M., SLABBERT., SLEUGH, B. B. Genetic resources and breeding of Amaranthus. **Plant Breeding Reviews**, v. 19, p. 227–285, 2000.

- BRENNER, D.; WILLIAMS, J. T. **Grain amaranth (Amaranthus species)**. In: WILLIAMS, J. T. (Ed.). *Underutilized crops: cereals and pseudocereals*. London: Chapman & Hall, p. 128-186, 1995.
- CASTRILLÓN-ARBELÁEZ, P. A., MARTÍNEZGALLARDO, N., ARNAUT, H. A., TIESSEN, A., DÉLANO-FRIER, J. P. Metabolic and enzymatic changes associated with carbon mobilization, utilization and replenishment triggered in grain amaranth (*Amaranthus cruentus*) in response to partial defoliation by mechanical injury or insect herbivory. **BMC plant biology**, v. 12, n.1, p. 1-22, 2012.
- CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, v. 89, p. 907-916, 2002.
- COTA, F. I. P., FRIER, J. P. D., *Uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal para aumentar la productividad de amaranto de grano*. Amaranto: ciencia y tecnología, Ed. **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias**, México, p. 113-127, 2012.
- DE LA O OLÁN, M., ESPITIA, R. E., GARAY, A. A. V., HERNÁNDEZ, C. J. M., ARELLANO, V. J. L., RUIZ, H. V. C. **Caracterización morfológica en germoplasma para grano de amaranto (Amaranthus spp.)**. Amaranto: Ciencia y Tecnología, 2012.
- DE LA ROSA, A. P. B, GUEGUEN, J. O., PAREDESL. O., VIROBEN, G. Fractionation procedures, electrophoretic characterization, and amino acid composition of amaranth seed proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v. 40, n. 6, p. 931- 936, 1992.
- DOMINGOS, V. D.; ERASMO, E. A. L.; SILVA, J. I. C.; CAVALCANTE, G. D.; SPEHAR, C. R. Crescimento, produção de grãos e biomassa de cultivares de amaranto (*Amaranthus cruentus*) em função de adubação com NPK. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 29-39, 2005.
- EARLEY, G.S.; KAUL, H.P. KRUSE, M; AUFHAMMER, W. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differinf nitrogen fertilization. **European Journal of Agronomy**, n.22, p. 95-100, 2005.
- EMIRE, S. A.; AREGA, M. Value added product development and quality characterization of amaranth (*Amaranthus caudatus* L) grown in East Africa. **Afr. J. Food Sci. Technol.** 3, p. 129–141, 2012.
- ESPITIA, R. E., MAPES, S. C., ESCOBEDO, L. D., DE LA O OLÁN, M., RIVAS, V. P., MARTÍNEZ, T. G., CORTÉS, E. L., HERNÁNDEZ, C. J. M. **Conservación y uso de los recursos genéticos de los recursos genéticos de Amaranto en México**. INIFAP, Centro de Investigación Regional Centro, Celaya, Guanajuato, México, 2010.
- FAO. *Necesidades de Energía y Proteínas: Relatório da Reunião Consultiva Conjunta de Especialistas FAO-OMS-UNU*, **Food and Agricultural Organization of the United Nations**. Genebra, 1985.
- FERREIRA, D. F. SISVAR. A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

- FITTERER, S. A., Johnson, B. L., Schneiter, A. A., **Grain amaranth harvest timeliness in eastern North Dakota**. In: **Janick, J.** (Ed.), *Progress in New Crops*. ASHS Press, Alexandria, VA, p. 220–223, 1996.
- FUENTES-REYES, M.; CHÁVEZ-SERVÍN, J.L.; GONZÁLEZ-CORIA, C. Comparative account of phenolics, antioxidant capacity,  $\alpha$ -tocopherol and anti-nutritional factors of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) grown in the greenhouse and open field. **International Journal of Agriculture and Biology**, 2018.
- GARAY, A. V. A., ESCOBEDO LÓPEZ, D., CORTÉS ESPINOSA, L. El cultivo de amaranto en México, descripción de la cadena, implicaciones y retos. Situación Actual, rentabilidad y comercialización. **Amaranto: Ciencia y Tecnología**, 2012.
- GAUDÊNCIO, C.A.A.; GAZZIERO, D.L.P.; JASTER, F.; GARCIA, A.; WOBETO, C. **População de plantas de soja no sistema de semeadura direta para o Centro-Sul do Estado do Paraná**. Londrina: Embrapa, CNPSo, p. 47, 1990.
- GIMPLINGER, D.M.; DOBOS, G.; SCHÖNLECHNER, R.; KAUL, H.P. Yield and quality of grain amaranth (*Amaranthus* sp.) in Eastern Austria. **Plant Soil Environment**, v.53, n.3, p.105-112, 2007.
- GOMES, V. E. V., **Agronomic performance of amaranth under planting arrangements and the effect of the environment on its emergence and early growth**. 2023. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.
- GUILLEN PORTAL, F.R., BALTENSPERGER D.D, NELSON L.A. **Plant population influence on yield and agronomic traits in Plainsman grain amaranth**. In: **Janick J.** (Ed.): *Perspectives on New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria: p. 190 – 193, 1999.
- HAUPTLI, H. e JAIN, S. **Amaranth and meadowfoam: two new crops?** *California Agriculture*, Berkeley, v. 31, n. 9, p. 6-7, 1997.
- HENDERSON, T.L., SCHNEITER, A.A., RIVELAND, N. **Row spacing and population effects on yield of grain amaranth in North Dakota**. In: **Janick, V., Simon, J.E.** (Eds.), *New crops*. Wiley, New York, 219 -221 p. 1993.
- HUERTA, O. J. A., MALDONADO, C. E., DE LA ROSA, A. P. B. Amaranto: propiedades benéficas para la salud. **Amaranto; Ciencia y Tecnología**. México: INIFAP/SINAREFI, p. 303-312, 2012.
- JACOBSEN, S. E., SHEWOOD. **Cultivo de granos andinos en Ecuador**: informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto. Quito, Ecuador, FAO-Centro Internacional de la Papa-Catholic Relief Service, p.14, 2002.
- JOHNSON, B. L., HENDERSON, T. L. Water use patterns of grain amaranth in the northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 6, p. 1437-1443, 2002.
- MARCÍLIO, R.; AMAYA-FARFAN, J.; SILVA, M. A. A. P. Performance da farinha de amaranto na elaboração de biscoito tipo "cookie" para celíacos. **Brazilian Journal of Food Technology**, 2005.
- MAXIMILIAN, C., DĂNĂILĂ GUIDEA, S. M., RĂDUCAN, C., BĂBEANU, N. E. **Research on protein content of *Amaranthus cruentus* CALLUS**. Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii. Tom. 32, 2016.

- MBURU, M.W. et al. Properties of a complementary food based on amaranth grain (*Amaranthus cruentus*) grown in Kenya. *J. Agr. Food Technol.*, v.1, n.9, p.153-178, 2011.
- MÜLLER, L.; MIYASAKA, S.; MEDINA, J.L. **A soja no Brasil**. Campinas, p. 109 – 129, 1981.
- MYERS, R. L. **Amaranth**: New crop opportunity. In: JANICK, J., ed. *Progress in new crops*. Alexandria, ASHS Press, p.207-220, 1996
- MYERS, R. L. **Regional amaranth variety test**. *Legacy* 7:5-8 1994.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Amaranth: modern prospects for an ancient crop**. **Washington: National Academy Press**, p. 81, 1984
- O'BRIEN, K; PRICE, M. L. Amaranth – grains and vegetable types. **Echo Technical Note**, Flórida, USA, n. 33917, p. 15, 2008.
- OMAMI, E. N., HAMMES, P. S., ROBBERTSE, P. J. Differences in salinity tolerance for growth and wateruse efficiency in some amaranth (*Amaranthus* spp.) genotypes. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 34, n. 1, p. 11-22, 2006.
- PAREDES, L. O. **Amaranth: Biology, Chemistry and Technology**. CRC Press. Boca Raton, p. 234, 1994.
- PAREDES, O., DE LA ROSA, A. P. B, Lópes, D. H, TREJO, A. C. Características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial del Amarantho. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. **Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico**. Washington, DC, 2002.
- PEIRETTI, E.G., GESUMARIA, J.J., Influencia de la distancia entre líneas sobre el crecimiento y rendimiento de amaranto granífero (*Amaranthus* spp.) *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales* 13, p. 139–151, 1998.
- PEIXOTO, C.P.; CÂMARA, G. M.S.; MARTINS, M.C.; MARCHIORI, L.F.S.; GUERZONI, R.A.; MATTIAZZI, P. Épocas de sementeira e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimentos de grãos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89 - 96, 2000.
- PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L. Rendimiento de grãos de soja influenciado pelo arranjo de plantas e níveis de adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.4, n. 2, p. 89-92, 1998.
- PORRAS, C.A.; CAYÓN, D.G.; DELGADO, O.A. **Comportamento fisiológico de genótipos de soja en diferentes arreglos de siembra**. **Acta Agronômica**. Palmira, v. 47, n. 1, p. 9-15, 1997.
- RASTOGI A., SHUKLA S., Amaranth: a new millennium crop of nutraceutical values. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 53, n 3, p. 109-25, 2013.
- RIVERO, J. L. L. **Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos Puno**: Proyecto Irrigación Waru-Waru, 1994. 459 p.
- SÁNCHEZ-MARROQUÍN, A. **Dos cultivos olvidados de importancia agroindustrial**: el amaranto y la quinoa. *Archivos latinoamericanos de Nutrición*, Guatemala City, v.23, n. 1,p. 11-32, 1983.

- SAUER, J.D. The grain amaranthus; a survey of their history and classification. **Annals of Missouri Botanic Garden**, St Louis, v. 37, p.561-618, 1950.
- SCHNETZLER, K. A., BREENE, W. M. **Food uses and amaranth product research: a comprehensive review**. In: Peredes-López O (ed), *Amaranth Biology Chemistry and Technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 155-184, 1994.
- SCOTT, W.O.; ALDRICH, S.R. **Producción moderna de la soja**. Buenos Aires: Hemisferio Sur, p. 192, 1975.
- SHAW, R.H.; WEBER, C.R. Effects of canopy arrangements on light interception and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 59, n. 2, p. 155-159, 1967
- SIZER, F.S; WHITNEY, E .N.; **Nutrição: Conceitos e Controvérsias**. 8 ed. Barueri: Manole, 2003.
- SPEHAR, C. R. **Amaranto: opção para diversificar a agricultura e os alimentos**. Planaltina - DF: Embrapa Cerrados, 136 p. 2007.
- SPEHAR, C. R. **Production systems in the savannas of Brazil: key factors to sustainability**. In: LAL, R. (Ed.). *Soil quality and agricultural sustainability*. Chelsea: Ann Arbor Press, 1998. p. 301-318, 1998.
- SPEHAR, C. R., TEIXEIRA, D. L.; SANTOS, R. L.; LARA CABEZAS, W. A. R.; ERASMO, E. A. L. **Amaranto BRS Alegria – alternativa para diversificar os sistemas de produção**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.1, 85 -91p. 2003.
- STANDAGE, T. **História do mundo em seis copos**, Rio de Janeiro. 2005, 240 p.
- TEIXEIRA, D.L.; SPEHAR, C.R.; SOUZA, L.A.C. Caracterização agrônômica de amaranto para cultivo na entressafra no Cerrado. **ha**, Brasília, v. 38, n. 1, 45 -51 p. 2003.
- WARD, S. M. et al. **Palmer amaranth (Amaranthus palmeri): a review**. Weed Technol., v.27, n.1, p.12-27, 2013.
- WELLS, R. Dynamics of soybean growth in variable planting patterns. **Agronomy Journal**, Madison, v. 1, n. 81, p. 44-48, 1993.
- WELLS, R. Soybean growth response to plant density: relationships among photosynthesis, leaf area, and light interception. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 3, p. 755- 756, 1991.
- YÁNEZ, E. et al. **Caracterización química y nutricional del amaranto (Amaranthus cruentus)**. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, Caracas, v. 44, n.1, p.57-62, 1994.

**APÊNDICE A - ANOVA SOBRE OS DADOS DE CRESCIMENTO DA PLANTA**

F.V.	G.L.	Altura da planta	Diâmetro	Número de folhas
Densidade de plantio	4	0,146	0,000	0,023
Dias após o transplântio (DAT)	4	0,000	0,000	0,000
Densidade x DAT	16	0,964	0,005	0,764
Bloco	3	0,002	0,001	0,011
CV (%)		16,26	8,62	12,32

**APÊNDICE B - ANOVA SOBRE OS DADOS DE MASSA SECA DA PLANTA**

F.V.	G.L.	Peso seco folha	Peso seco caule	Peso seco raiz	Peso seco inflo- rescência
Densidade de plantio	4	0,154	0,331	0,072	0,457
Bloco	2	0,474	0,850	0,465	0,331
CV (%)		38,2	53,12	33,97	65,22

F.V.	G.L.	Peso seco total	R/Pa	Razão de massa foliar	Razão de massa caulinar
Densidade de plantio	4	0,334	0,073	0,641	0,361
Bloco	2	0,518	0,705	0,731	0,229
CV (%)		46,52	46,57	16,41	12,55

F.V.	G.L.	Razão de massa radicular	Razão de massa de inflorescências
Densidade de plantio	4	0,077	0,605
Bloco	2	0,789	0,141
CV (%)		38,74	26,43



**APÊNDICE C - ANOVA SOBRE OS DADOS FISIOLÓGICOS DA PLANTA AOS 30 DIAS**

F.V.	G.L.	A	gs	Ci	E	Ci/Ca	A/gs
Densidade de plantio	4	0,019	0,064	0,001	0,020	0,001	0,002
Bloco	2	0,408	0,964	0,009	0,569	0,010	0,011
CV (%)		17,00	16,4	7,42	11,85	7,33	7,15

F.V.	G.L.	A/E	A/Ci	PhiPS2	Qp	Teor de clorofila
Densidade de plantio	4	0,007	0,012	0,181	0,307	0,328
Bloco	2	0,015	0,104	0,108	0,889	0,029
CV (%)		9,02	23,89	14,93	9,16	9,25

**APÊNDICE D - ANOVA SOBRE OS DADOS FISIOLÓGICOS DA PLANTA AOS 45 DIAS**

F.V.	G.L.	A	gs	Ci	E	Ci/Ca	A/gs
Densidade de plantio	4	0,014	0,290	0,469	0,349	0,548	0,633
Bloco	2	0,522	0,772	0,281	0,986	0,297	0,322
CV (%)		12,22	17,28	9,6	15,21	9,66	12,46

F.V.	G.L.	A/E	A/Ci	PhiPS2	Qp	Teor de clorofila
Densidade de plantio	4	0,392	0,014	0,880	0,924	0,995
Bloco	2	0,431	0,268	0,192	0,089	0,461
CV (%)		12,12	16,62	29,68	13,26	16,19