

**ECOFISIOLOGIA E ALTERAÇÃO BIOQUÍMICA DO ARROZ  
VERMELHO SOB NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO E CULTIVO  
ORGAMINERAL**

**KÁTIA OTÍLIA GOMES DUTRA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**MARÇO DE 2014**

**ECOFISIOLOGIA E ALTERAÇÃO BIOQUÍMICA DO ARROZ  
VERMELHO SOB NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO E CULTIVO  
ORGAMINERAL**

**KÁTIA OTÍLIA GOMES DUTRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre (M.Sc.) em Ciências Agrárias/Área de concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

**Orientador: Prof. Dr. Raimundo Andrade**

**Coorientador: Prof. Dr. Carlos Henrique S. GadêlhaMeneses**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**MARÇO DE 2014**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

D978e Dutra, Kátia Otília Gomes.  
Ecofisiologia e alteração bioquímica do arroz vermelho sob níveis de água no solo e cultivo orgânico [manuscrito] / Kátia Otília Gomes Dutra. - 2014.  
72 p. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Raimundo Andrade, Departamento de Agrárias e Exatas".

"Co-Orientação: Prof. Me. Carlos Henrique Meneses S. G. Meneses, Departamento de Agroecologia".

1. Cultivo de arroz. 2. Arroz da terra. 3. Arroz vermelho. 4. Avaliação nutricional. I. Título.

21. ed. CDD 633.18

**ECOFISIOLOGIA E ALTERAÇÃO BIOQUÍMICA DO ARROZ  
VERMELHO SOB NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO E CULTIVO  
ORGAMINERAL**


**KÁTIA OTÍLIA GOMES DUTRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre (M.Sc.) em Ciências Agrárias/Área de concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

**Aprovada em 14 de Março de 2014**

**Banca Examinadora**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. RAIMUNDO ANDRADE – CCHA – UEPB**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Carlos Henrique S. Gadêlha Meneses (Orientador)**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. JOSÉ GERALDO RODRIGUES DOS SANTOS – CCHA – UEPB**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. JOAQUIM ODILON PEREIRA – UFERSA**

*A Deus, razão do meu viver,  
a minha mãe e minha irmã pelo  
amor e apoio a conclusão de mais  
uma batalha no meu trajeto acadêmico.*

## **OFEREÇO**

*A meu orientador Raimundo Andrade  
pelo grande apoio,  
incentivo e dedicação.*

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência, saúde, alegria, esperança e por tudo que tenho conquistado.

Ao grande amor de minha vida “mainha”, meu profundo agradecimento pelo apoio, incentivo, exemplo de determinação e por todo amor a mim dado em toda minha vida.

À minha irmã a ter me incentivado a nunca desistir de meus objetivos, meu sonho em crescer profissionalmente.

A todos os familiares e amigos pelo incentivo, força e carinho, em especial, Tia Amanda, a minha avó Maria “Badê” (*in memorian*) minha prima Cíntia, meus amigos do meu coração Ianne, Izabel Cristina, Laudefânia, Keuliane, Anne, Jussara, Járede Ruth, Maria de Fátima, Beto Tangará, Francimar (Mar) entre outros.

Ao meu orientador e amigo Dr. Raimundo Andrade, pelo seu esforço, dedicação, valorização de seus orientados, paciência, conhecimentos adquiridos, pela oportunidade de trabalharmos juntos e pela sua amizade; que Deus te abençoe a cada dia de sua vida.

Ao meu Coorientador Carlos Henrique pelo apoio, dedicação e pela amizade, mesmo pelo pouco tempo que nos conhecíamos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade oferecida em realizar um curso de Mestrado.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a realização deste trabalho.

A todos os professores do curso, Pedro Dantas, Raimundo Andrade, Carlos Henrique, Germano, José Geraldo e Napoleão Beltrão (*in memoriam*) no qual tiveram grande importância para o meu crescimento profissional.

Aos colegas do Mestrado em Ciências Agrárias Alisson Rafael, Géssica, Angélica, Alexandre, Ewerton (Bronzeado), Vandeir, Demétrius, Yuri, Talyta, por todos os momentos compartilhados durante as aulas, aos trabalhos apresentados e pela amizade nesse curto espaço de tempo.

Aos meus amigos, Josimar Nogueira, Joselma Nogueira, Tonny Oliveira, Jaiane Alves, Julierme Andrade, pela grande ajuda em todo o período de minha pesquisa e dizer que sem vocês não seria possível a realização da mesma.

À Embrapa Algodão, por ajudar na realização do estágio da disciplina do Dr. Napoleão Esberad de Macêdo Beltrão, em especial a Dr<sup>a</sup> Maria, a Jussara, a Josa, a Genelício, a Bruna, a Zé Carlos, entre outros.

Ao meu amigo Genelício, a todas as vezes que tirou minhas dúvidas ao escrever meu artigo e até mesmo na dissertação, pela sua paciência e atenção.

A todos os secretários da Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela disponibilidade em ajudar e tirar dúvidas sempre que requisitei em especial a Danilo.

Por fim a todos que contribuíram de forma direta e indireta em mais uma etapa da minha vida acadêmica, meu muito obrigado de coração.

*“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.” (Walter S. Landor)*

## SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| LISTA DE TABELAS.....   | vii  |
| LISTA DE FIGURAS.....   | viii |
| RESUMO.....   | x    |
| ABSTRACT.....   | xii  |
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 1    |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....   | 2    |
| 2.1. A Cultura do Arroz.....  | 4    |
| 2.2. Arroz Vermelho e sua Importância Socioeconômica.....                     | 4    |
| 2.3. Clima e Solo.....  | 6    |
| 2.4. Manejo do Solo Agrícola.....   | 7    |
| 2.5. Uso de Biofertilizante Líquido na Agricultura.....                       | 7    |
| 2.6. Aplicação de Silício.....  | 8    |
| 2.7. Cultivo Orgânico na Agricultura Familiar.....                            | 9    |
| 2.8. Déficit Hídrico em Plantas.....  | 9    |
| 2.9. Mecanismos de Tolerância ao Estresse Hídrico.....                        | 10   |
| 2.10. Acúmulo de Açúcares ou Solutos Compatíveis no Ajustamento Osmótico..... | 11   |
| 2.10.1. Trealose.....   | 11   |
| 2.10.2. Prolina livre.....  | 12   |
| 2.10.3. Glicina betaína.....  | 13   |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS.....  | 14   |
| 3.1. Localização da Área Experimental.....                                    | 14   |
| 3.2. Clima e vegetação.....   | 14   |
| 3.3. Delineamento Experimental.....   | 15   |
| 3.4. Atributos Físicos e Químicos do Solo.....                                | 16   |
| 3.5. Atributos Químicos da Água de Irrigação.....                             | 18   |
| 3.6. Preparo e Aplicação de Biofertilizante e Silício.....                    | 18   |
| 3.7. Condução do Experimento.....   | 19   |
| 3.7.1. Preparo do substrato, adubação e semeadura.....                        | 19   |
| 3.7.2. Controle de irrigação.....   | 20   |
| 3.7.3. Consumo de água.....   | 21   |
| 3.7.4. Tratos culturais.....  | 22   |



|  |    |
|--|----|
| 3.7.5. Colheita.....                             | 22 |
| 3.8.Variáveis Analisadas.....                    | 22 |
| 3.8.1.Componentes de crescimento e produção..... | 22 |
| 3.8.2. Fitomassa.....                            | 22 |
| 3.8.3. Caracterização Bioquímica do Arroz.....   | 23 |
| 3.8.3.1. Trealose.....                           | 23 |
| 3.8.3.2. Teor de prolina.....                    | 23 |
| 3.8.3.3. Glicina betaína.....                    | 24 |
| 3.9.Análise Estatística.....                     | 24 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                   | 25 |
| 4.1.Desenvolvimento do Arroz.....                | 25 |
| 4.2.Crescimento Vegetativo.....                  | 27 |
| 4.2.1.Altura do arroz vermelho.....              | 27 |
| 4.3.Produção do Arroz Vermelho.....              | 28 |
| 4.3.1.Número de panículas por touceiras.....     | 28 |
| 4.3.2.Número de espaguetes.....                  | 30 |
| 4.3.3.Número de Grãos por espaguetes.....        | 31 |
| 4.3.4.Número de grãos por touceira.....          | 32 |
| 4.4. Fitomassa.....                              | 34 |
| 4.4.1.Fitomassa seca das folhas.....             | 34 |
| 4.4.2.Fitomassa seca do colmo.....               | 35 |
| 4.4.3.Fitomassa seca da parte aérea.....         | 37 |
| 4.4.4.Fitomassa seca da raiz.....                | 38 |
| 4.4.5.Fitomassa seca total.....                  | 40 |
| 4.4.6.Relação raiz parte aérea (R/PA).....       | 41 |
| 4.5.Análise Bioquímica do Arroz vermelho.....    | 42 |
| 4.5.1.Prolina.....                               | 43 |
| 4.5.2.Glicina Betaína.....                       | 44 |
| 4.5.3.Trealose.....                              | 45 |
| 5. CONCLUSÕES.....                               | 47 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....               | 48 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Atributos físico-químicos do solo experimental, antes do plantio da cultura do arroz vermelho.....   | 17 |
| Tabela 2. Atributos químicos da água de poço amazonas (cacimbão) utilizada para o manejo de irrigação na cultura do arroz vermelho. ....                                     | 18 |
| Tabela 3. Características químicas do biofertilizante enriquecido utilizado na pesquisa* .....   | 19 |
| Tabela 4. Atributos químicos do húmus de minhoca vermelha da Califórnia utilizado para adubação, na proporção de 1:1 de substrato para cada vaso. *.....                     |    |
| Tabela 5. Resumo da análise de variância do crescimento, produção e fitomassa da cultura do arroz vermelho dos fatores envolvidos no experimento em ambiente protegido. .... | 27 |
| Tabela 6. Resumo da análise de variância das análises bioquímica da cultura do arroz vermelho dos fatores envolvidos no experimento em ambiente protegido.....               | 44 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Localização política do município de Catolé do Rocha/PB. ....   | 14 |
| Figura 2. Temperatura máxima, média e mínima às 12:00 e 16:00 horas e umidade relativa máxima e mínima às 12:00 e 16:00 horas com médias mensais do município de Catolé do Rocha/PB. ....   | 15 |
| Figura 3. Distribuição das unidades experimentais em estufa, localizada na estação experimental agroecológica, Escola Agropecuária do Cajueiro em Catolé do Rocha-PB. ....  | 16 |
| Figura 4. Esquematização da cápsula de 1 m inserida no vaso de 40 cm, onde as leituras foram feitas com sonda de perfil do solo (PR2/6), sendo usado apenas os 4 primeiros sensores (A) e leitura com o medidor de umidade HH2 Moisture Meter (B). .... | 21 |
| Figura 5. Altura de planta de arroz vermelho em função das lâminas de água (A), silício (B) e biofertilizante (C). ....   | 29 |
| Figura 6. Número de panículas/touceira em função as lâminas de água (A), sob aplicação de silício (B) e aplicação de biofertilizante (C). ....  | 30 |
| Figura 7. Número de espaguets para cada lâmina de irrigação (A) para aplicação de silício (B) e biofertilizante (C). ....   | 32 |
| Figura 8. Número de grãos/espaguets para lâmina de água aplicada (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C). ....  | 33 |
| Figura 9. Número de grãos por touceira em resposta a lâminas de água (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C). ....  | 35 |
| Figura 10. Fitomassa seca da folha sob diferentes lâminas de água (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C). ....   | 36 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 11. Fitomassa seca do colmo, considerando a quantidade água utilizada (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C)..... | 37 |
| Figura 12. Fitomassa seca da parte aérea em função das lâminas de água (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C). .....     | 39 |
| Figura 13. Fitomassa seca da raiz para cada lâmina de irrigação (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).....              | 40 |
| Figura 14. Fitomassa seca total sob lâminas de água (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).....                          | 41 |
| Figura 15. Relação raiz/parte aérea em função das lâminas de irrigação (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C). .....     | 43 |
| Figura 16. Prolina em função dos níveis de água disponível no solo (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).....           | 45 |
| Figura 17. Glicina betaina em função dos níveis de água disponível no solo (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).....   | 46 |
| Figura 18. Trealose em função dos níveis de água disponível no solo (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).....          | 47 |

## RESUMO

DUTRA, KÁTIAOTÍLIA GOMES. M.Sc., Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, fevereiro de 2014. **Ecofisiologia e alteração bioquímica do arroz vermelho sob níveis de água no solo e cultivo orgamineral.** Campina Grande, PB. 72p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias). Orientador: Prof. Dr. Raimundo Andrade. Coorientador: Prof. Dr. Carlos Henrique G. Menezes.

O arroz vermelho é cultivado principalmente por pequenos agricultores da região Nordeste do Brasil, onde a região é caracterizada pela escassez de água, necessitando de estudos que visem à economia de água sem prejudicar o cultivo da cultura. Nesse contexto o presente estudo buscou avaliar aspectos agronômicos, tais como crescimento e fenologia, produção e parâmetros bioquímicos da cultura do arroz vermelho var. 405 Embrapa Meio Norte cultivado sob níveis água no solo, aplicação de silício e biofertilizante. O experimento foi conduzido em ambiente protegido no Centro de Ciências Humanas e Agrárias - CCHA, pertencente à Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, Campus - IV Catolé do Rocha-PB. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), no arranjo fatorial 4 x 2 x 2, com quatro repetições, sendo 16 tratamentos e 64 plantas experimentais, onde foram estudados diferentes níveis de água no solo ( $N_1 = 70$ ;  $N_2 = 80$ ;  $N_3 = 90$  e  $N_4 = 100\%$ ), aplicação de silício ( $S_1 = \text{com}$  e  $S_0 = \text{sem}$ ) e de biofertilizante ( $B_1 = \text{com}$  e  $B_0 = \text{sem}$ ). A irrigação foi realizada de forma manual, com água fornecida através de um regador, de acordo com monitoramento de Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR) uma vez ao dia. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, confrontando as médias obtidas com o fator qualitativo (silício e biofertilizante), pelo teste de Tukey, e realizando análises de regressão das médias obtidas com o fator quantitativo (níveis de

água disponível no solo). O arroz respondeu significativamente as lâminas de irrigação, para todas as variáveis estudadas, o silício e o biofertilizante contribuíram para uma melhor tolerância do arroz ao estresse hídrico. A adubação orgamineral aumentou as concentrações dos osmólitos prolina, glicina-betaína e trealose. O déficit hídrico no arroz vermelho aumenta a concentração dos osmoreguladores ativando a proteção contra danos celulares.

**Palavras-chave:** *Oryza Sativa*, desenvolvimento, silicato de cálcio, avaliação nutricional, Arroz da terra.

## ABSTRACT

Dutra, KÁTIA Otilia GOMES. M.Sc., State University of Paraíba / Embrapa Cotton, January 2014. **Ecophysiology and biochemical alteration of red rice in water levels in the soil and cultivation organineral.**Campina Grande, PB, 2014. 72p. Dissertation (Postgraduate Program in Agricultural Sciences).SciVerse. Dr. Raymond Andrade. Coorientador: Prof. Dr. Carlos Henrique G. Menezes.

Red rice is mainly grown by small farmers in the Northeast of Brazil, where the region is characterized by water scarcity region requires further studies aimed at saving water without harming the cultivation of the crop. In this context the present study sought to evaluate agronomic aspects such as growth and phenology, production and biochemical parameters of the culture of red rice var. 405 EmbrapaMeio Norte grown under water levels in the soil, application of silicon and fertilizer. The experiment was conducted in a protected environment at the Centro de CiênciasHumanas e Agrárias - CCHA, belonging to the UniversidadeEstadual da Paraíba - UEPB Campus - IV Catolé do rocha-PB. The experimental design was completely randomized (DIC) in factorial 4 x 2 x 2 design with four replications, with 16 treatments and 64 experimental plants, which were studied different levels of soil water ( $N_1 = 70$ ;  $N_2 = 80$ ;  $N_3 = 90$  and  $N_4 = 100\%$  of AD), application of silicon ( $S_1 =$  with and  $S_0 =$  without) and biofertilizers ( $B_1 =$  with and  $B_0 =$  without). Irrigation was done manually, with water supplied via a watering can, according to Monitoring Frequency Domain Reflectometry (FDR) once daily. Data were subjected to analysis of variance, comparing the means obtained with the qualitative factor (silicon and fertilizer), by Tukey test, and performing regression analysis of measurements obtained with the quantitative factors (levels of available soil water). Rice responded significantly to irrigation, for all variables studied, silicon and biofertilizer contributed to a better tolerance of rice to water stress. The organineral fertilization increased the concentrations of the

osmolytes proline, glycine betaine and trehalose. Drought in red rice increases the concentration of osmo activating protection against cell damage.

**Keywords:** *Oryza Sativa*, development, calcium silicate, nutritional assessment, rice earth.



## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento da população mundial tem elevado a demanda pela produção de alimentos, principalmente de arroz que é considerado, entre os demais, o alimento mais consumido e importante na dieta do ser humano. Sua produção mundial, nos últimos seis anos, aumentou cerca de 1,09% ao ano, enquanto a população cresceu 1,32% e o consumo 1,27%, o que representa uma preocupação em relação a estabilização da produção mundial (SANTOS e RABELO, 2008), indicando a necessidade de buscar novas tecnologias de produção que possibilitem maior produtividade desta cultura de forma sustentável.

O arroz (*Oryza Sativa*) é um alimento de grande importância no fornecimento de energia e na dieta alimentar da população brasileira, que prefere o tipo agulhinha, com aspecto translúcido, uniforme e de cor branca (PEREIRA et al., 2007). Porém, há consumidores que preferem tipos especiais, como o arroz-moti, o arroz-aromático, o arroz-cateto e o arroz-vermelho, os quais são uma iguaria gastronômica na dieta alimentar dos habitantes do sertão nordestino. Ressalte-se que esse grão é um cereal, componente da cesta básica, que fornece cerca de 20% das calorias e 14% das proteínas necessárias ao ser humano (STRECK et al., 2006).

No Brasil, destaca-se a produção de arroz branco, sendo o maior produtor desse grão na América Latina, onde se cultiva, em média, por ano, 4 milhões de hectares (FERREIRA et al., 2005). No entanto, outras espécies, como o arroz vermelho, também são cultivadas pelos produtores brasileiros, porém sem uso de grandes tecnologias e em pequenas propriedades. Este tipo de arroz foi o primeiro a ser introduzido no Brasil pelos colonizadores, sendo atualmente cultivado principalmente no Semiárido nordestino nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Ceará, Bahia e Alagoas (PEREIRA, 2004).

O método de produção convencional, que se utiliza alto nível tecnológico com muitos agrotóxicos e adubos sintéticos, o qual é usado na produção de arroz vermelho em Apodi-RN, dá sinais de exaustão em alguns países e locais de produção, o que demonstra sua insustentabilidade dentro da cadeia produtiva denotando em redução tanto da área produzida como na produtividade das plantas. Nesse contexto, a agricultura ecológica, agroecológica, orgânica ou

viável, vem ganhando espaço na produção de alimentos, de modo que atualmente é “um agente para as mudanças sociais e ecológicas complexas que tenham necessidade de ocorrer no futuro a fim de levar a agricultura para uma base verdadeiramente sustentável” (GLIESSMAN, 2000).

Assim, o uso de biofertilizantes na agricultura funciona como uma fonte suplementar de micronutrientes, contribuindo para a melhoria de alguns atributos físicos do solo, tais como, a velocidade de infiltração, atuando também no controle de pragas e agentes de doenças, através de substâncias com ação fungicida, bactericida e/ou inseticida presentes em sua composição (EMBRAPA, 2006).

Apesar de ser necessário o uso da irrigação na cultura do arroz nos cultivos da região Nordeste, seu manejo e a distribuição da água pelos métodos de irrigação são muitas vezes realizados de forma inadequada, ineficiente e baseados unicamente na aplicação da água. Nesse sentido, surge a necessidade do uso racional dos recursos hídricos, que, aliado ao avanço da eletrônica, tem contribuído para a intensificação dos estudos do monitoramento da água no solo. Destaque-se que o conhecimento do conteúdo de água no solo é importante na dinâmica de solutos, calor, gases e da própria água no solo, onde em escala global, sua importância está relacionada com o sistema solo/água/planta/atmosfera.

A otimização do uso da irrigação, baseado na melhoria de informações sobre o conteúdo de água do solo, evitará o desperdício do recurso água observado em diversas situações. Para isto, a determinação *in situ* do conteúdo de água no solo é de grande interesse.

A nutrição é um fator de elevada importância para a planta, onde tanto o excesso como a deficiência nutricional causa redução no crescimento e desenvolvimento vegetativo, prejudicando a produção do vegetal. Nesse contexto, a adubação mineral com a presença de macro e micronutrientes é fundamental para o pleno cultivo das plantas. Entre os elementos que estão despertando interesse entre os técnicos e agricultores se encontram o silício, por possuir inúmeros benefícios às culturas, incluindo aumentos na produtividade, na resistência a estresses e ao acamamento, melhorando a eficiência fotossintética e amenizando a toxidez de metais pesados (Fe, Mn, Al e Na) além de estimular a produção de fitoalexinas (fenóis) (KORNDÖRFER et al., 2004).

Ressalta-se que o silício possui funções físicas de regulação da evapotranspiração e é capaz de formar uma barreira de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias para o interior da planta, dificultando, assim, o ataque de insetos praga (FREITAS, 2011). Quando adiciona-se um nutriente ao solo, via adubação, ocorrem reações químicas que podem modificar, para mais ou para menos, os teores disponíveis de outros elementos, sendo que no caso do silício esse fato é interessante, pois ocorrem interações com vários elementos que favorecem a nutrição da planta (LIMA FILHO, 2006).

O uso da instrumentação voltada para a obtenção de informações sobre o sistema água-solo é muito importante para a amenização do efeito do estresse hídrico. Um método de quantificação ideal da água do solo deve basear-se numa propriedade física dependente apenas do seu conteúdo, produzindo uma resposta direta, rápida e confiável.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar aspectos agronômicos, tais como crescimento e fenologia (desenvolvimento), produção e parâmetros bioquímicos da cultura do arroz vermelho cultivado sob estresse hídrico, aplicação de silício e biofertilizante no semiárido brasileiro.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1.A Cultura do Arroz

O arroz é uma das plantas cultivadas mais antigas do mundo. Sua história se confunde com a trajetória da própria humanidade, sendo impossível determinar com precisão a época em que o homem começou a cultivá-lo. A importância do arroz é tão marcante que alguns povos orientais chegaram a elegê-lo como símbolo da fartura e a lhe atribuir uma alma à qual tributavam honras e cerimônias (PEREIRA, 2002).

É um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Sua importância é destacada, principalmente, em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde desempenha papel estratégico em níveis econômico e social (WALTER et al., 2008).

O arroz apresenta papel social importante, por se tratar de uma cultura de subsistência e de tradição na alimentação humana. Na dieta básica do brasileiro, o consumo per capita vai além de 70 kg/habitante/ano e o consumo absoluto, segundo estimativas da Conab, é superior a 11,5 milhões de toneladas. Esses números colocam o Brasil entre os seis maiores consumidores mundiais de arroz (HECKLER e FIETZ, 1999).

### 2.2.Arroz Vermelho e sua Importância Socioeconômica

Postula-se que o arroz asiático (*Oryza sativa*) seja originário da Ásia, no entanto, não se sabe com precisão o país onde foi domesticada esta espécie, embora existam fortes evidências de que seu centro de origem seja o sudeste asiático, mais precisamente na região compreendida entre a Índia e Myanmar (antiga Birmânia), devido à rica diversidade de formas cultivadas deste arroz ali encontradas (GRIST, 1978; PEREIRA, 2002).

O arroz vermelho, também conhecido como arroz-de-Veneza e arroz-da-terra, foi o primeiro arroz introduzido pelos colonizadores portugueses no Brasil e o seu cultivo no País atualmente está restrito a pequenas áreas do semiárido nordestino, com destaque para os estados

da Paraíba, Rio Grande do Norte e Pernambuco. Por ser cultivado predominantemente por agricultores de base familiar, esse arroz é considerado um verdadeiro patrimônio genético, cultural e alimentar do povo nordestino, mas estima-se que a sua área plantada atualmente não atinja 10 mil hectares (PEREIRA, 2002, 2004).

Cordeiro e Medeiros (2010) afirmam que o arroz vermelho possui características que contribuem para a sua sobrevivência e multiplicação, como: intensa degradação ou debulha natural que impossibilita a colheita total do produto e resulta no aumento do banco de sementes no solo e dormência nas sementes, mantendo-as viáveis por longos períodos. Apresenta, ainda, plantas geralmente mais altas que a maioria das cultivares de porte baixo, ciclo precoce e grãos de comprimento médio e espessos e suas panículas apresentam baixa quantidade de grãos. Vale ressaltar, no entanto, que o arroz-vermelho quando cruzado com o arroz cultivado (arroz branco), apresenta características de planta muito semelhante a este último, sendo assim, de difícil identificação.

Botanicamente, o arroz vermelho (*Oryza sativa* L.) pertence à mesma espécie do arroz cultivado e, segundo Pedroso (1985), a denominação “arroz vermelho” é por ser proveniente de um par de genes (Rd e Rc) com dominância simples. Por outro lado, Ogawa (1992) afirma que esse nome deve-se à coloração avermelhada do pericarpo dos grãos devido ao acúmulo de tanino de antocianina (PANTONE e BEKER, 1991).

As características predominantes de planta e de semente dos biótipos de arroz vermelho que os distinguem das cultivares de arroz são: ciclo mais longo e plantas de porte mais alto do que as cultivares modernas, colmos finos, folhas de cor verde-claro e decumbentes, alto vigor e alta capacidade de afilamento com emissão de afilhos ontogenicamente atrasados, pericarpo de cor avermelhada, álea e lema com variação de cor, pilosidade e aderência da pálea e lema no pericarpo, presença ou não de arista, deiscência precoce das espiguetas e sementes com dormência (DIARRA et al., 1985; NOLDIN et al., 1999).

A importância econômica e social do arroz vermelho no sertão nordestino se deve a ser componente importante da dieta (PEREIRA, 2004) e por ser cultivado por pequenos agricultores com sementes nativas ou variedades tradicionais, com ampla base genética e adaptabilidade (PORTO et al., 2007). No estado da Paraíba, o arroz vermelho é o tipo de arroz mais cultivado. De acordo com Pereira (2004), a Paraíba é o maior estado produtor de arroz vermelho no Brasil, essa produção concentra-se na região do sertão paraibano.

### 2.3.Clima e Solo

O arroz é uma cultura que apresenta grande capacidade de adaptação a diferentes condições de solo e clima. No entanto, o cultivo de arroz irrigado é realizado preferencialmente em solos com relevo plano a suave-ondulado que ocorrem em baixadas, geralmente mal drenados, chamados solos de várzeas, em razão da facilidade de manejo da irrigação por inundação para a cultura (PEREIRA et al., 2005a).

A temperatura é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do arroz. Assim, cada fase fenológica tem as suas temperaturas críticas ótima, mínima e máxima (STEINMETZ et al., 2005). A temperatura ótima para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 20 e 35°C, sendo esta faixa a ideal para a germinação, de 30 a 33°C para a floração e 20 a 25°C para a maturação. O arroz não tolera temperaturas excessivamente baixas nem excessivamente altas, mas pode variar, tanto para uma como para a outra, em função da fase fenológica (PEREIRA et al., 2005b).

A exigência de radiação solar pela cultura do arroz varia de uma fase fenológica para a outra, sendo que, na fase vegetativa, a radiação tem relativamente pouca influência sobre a produtividade e os seus componentes. Entretanto, a produtividade é fortemente influenciada pela radiação solar durante as fases reprodutiva e de maturação. Vários estudos mostram que, nessas fases, há uma relação linear positiva entre essa variável e a produção de grãos, ocorrendo entre três semanas antes a três semanas após o início da floração (PEREIRA et al., 2005).

A continuidade de cultivo do arroz em uma determinada área leva à autolimitação da cultura, ou seja, acaba impedindo a continuidade do cultivo, devido ao aumento da infestação por plantas daninhas e a intensificação do uso de implementos agrícolas pesados e veículos, utilizados para o preparo convencional dos solos de várzea, intensificando a compactação em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo que varia com o tipo e aprofundidade de atuação dos implementos agrícolas utilizados (PEDROTTI et al., 2001). Tudo isso associado as ações repetitivas de preparo durante vários ciclos podem trazer sérios problemas de drenagem, assim como promover a compactação subsuperficial, dificultando a movimentação da água e a aeração nesses solos (PAULETTO et al., 1993).

Para Pereira et al. (2005), as principais classes em que estão incluídos os solos cultivados com arroz na Região subtropical, de acordo com o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, são: Planossolos, Gleissolos, Chernossolos, Plintossolos, Vertissolos, NeossolosFlúvicos e NeossolosQuartzarênicosHidromórficos, Organossolos e Espodossolos.

## **2.4. Manejo do Solo Agrícola**

As mobilizações intensivas do solo, no sistema convencional, sob condições inadequadas de umidade e de cobertura vegetal, modificam adversamente a estrutura do solo, afetando basicamente as relações entre as fases sólidas, líquida e gasosa (KAMIMURA et al., 2009a).

Considerando-se as etapas do manejo, o preparo do solo pode ser a atividade que mais modifica o comportamento físico, pois tem ação sobre a estrutura do solo. Além das alterações na porosidade e na drenagem, o preparo provoca alterações na estrutura do solo que modificam a retenção de água e a resistência mecânica (SILVA et al., 1994; SUZUKI, 2005).

Não se deve esperar que solos sob cultivo mantenham as suas características físicas originais, mas deve-se procurar manejá-los de modo que altere o mínimo possível estas características, especialmente as que afetam a infiltração e retenção de água, como a porosidade e a agregação, para manter a sustentabilidade do sistema (KAMIMURA et al., 2009b).

## **2.5. Uso de Biofertilizante Líquido na Agricultura**

Biofertilizantes líquidos são produtos naturais obtidos da fermentação de materiais orgânicos com água, na presença ou ausência de ar (processos aeróbicos ou anaeróbicos). Podem possuir composição altamente complexa e variável, dependendo do material empregado, contendo quase todos os macro e micro elementos necessário à nutrição vegetal (SILVA et al., 2007a).

Os efeitos do biofertilizante no controle de pragas e doenças de plantas têm sido bem evidenciados, como também efeitos fungistático, bacteriostático e repelente sobre insetos (MEDEIROS e LOPES, 2006). Os biofertilizantes líquidos podem ser aplicados sobre a folha (adubo foliar), sobre as sementes, no solo via fertirrigação ou em hidroponia, em dosagens diluídas em água (SILVA et al., 2007b).

Pode-se dizer que o biofertilizante por ser um produto fermentado por microorganismos e ter como base a matéria orgânica, possui em sua composição quase todos os nutrientes, variando em suas concentrações, dependendo muito diretamente da matéria-prima a ser fermentada. Por isso, a concentração da solução, a mistura da matéria-prima e dos minerais e o pH deverão estar compatibilizados, para que quimicamente o produto final seja benéfico à planta e não cause injúrias (TESSEROLI NETO, 2006).

## 2.6. Aplicação de Silício

A nutrição mineral é um dos fatores ambientais de fácil manipulação pelo homem visando ao controle de doenças em plantas cultivadas (PEREIRA et al., 2009). Os silicatos são aplicados no solo principalmente na forma sólida (pó ou granulado), mas também podem ser aplicados na forma líquida (via solo ou foliar). O uso de Si aumenta a resistência de várias espécies às pragas e doenças, bem como a diversos tipos de estresses abióticos tais como altas temperaturas, déficit hídrico e toxidez (PEREIRA et al., 2009), tal como o fortalecimento da estrutura das plantas mantendo a estabilidade e a integridade da membrana celular, incluindo aumentos na produtividade e resistência ao estresse salino, hídrica e ao acamamento de plantas e da eficiências fotossintética, ameniza toxidez de metais pesados (Fe, Mn, Al e Na) e estimula a produção de fitoalexinas (fenóis) (RODRIGUES et al., 2011; ZUCCAINI, 2008; KORNDÖRFER et al., 2004).

O silício (Si) não é elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, porém sua absorção pode trazer inúmeros benefícios para culturas acumuladoras de Si, como o arroz. (MAUAD et al., 2003). Contudo, entre os elementos minerais, o silício tem proporcionado resultados promissores no controle de doenças em plantas, embora não atenda aos critérios de essencialidade (BOTELHO et al., 2005).

O silício é o segundo elemento mais disponível na crosta terrestre, sendo o maior componente de minerais do grupo dos silicatos. Ocorre em altos teores em solos minerais, principalmente na forma de silicatos e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) (VIDAL et al., 2011). Sua utilização proporciona aumentos significativos no desenvolvimento e rendimento de grãos em muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, aveia, trigo, milho, grama kikuyu, grama bermuda) e em espécies não gramíneas (alface, feijão, alfafa, tomate, pepino e repolho), bem como aumento da disponibilidade de silício no solo (VIDAL et al., 2011).

Existem, na literatura, resultados promissores com a utilização de silício na agricultura, para a cultura do arroz, tais como aumento do número de folhas, massa seca de plantas e número de espaguetes por panícula, melhor formação e qualidade da casca dos grãos, maior altura de plantas e maior teor e acúmulo na parte aérea da planta (LOPES 1997; KORNDÖRFER et al., 1999; GONG et al., 2003; BITTENCOURT et al., 2004; TOKURA et al., 2007), entretanto, outros autores (BARBOSA FILHO et al., 1998; CARVALHO 2000; MAUAD et al., 2003) encontraram resultados diferentes, dependendo das doses de silício aplicadas, tipo de cultivar de arroz e solo, bem como condições ambientais.



## **2.7.Cultivo Orgânico na Agricultura Familiar**

Conforme argumentos de Santos e Santos (2008), a agricultura orgânica é um sistema de produção que pressupõe conservar os recursos naturais e melhorar a qualidade dos produtos, buscando a produção econômica de alimentos sem resíduos tóxicos. O uso inadequado dos recursos naturais promove intensa degradação ambiental a partir da destruição de habitats e de espécies potencialmente úteis para a sobrevivência do planeta. Na década de 1990, a taxa de desmatamento nas áreas de agricultura tradicional foi mais elevada do que a esperada juntamente com as queimadas nas áreas de cultivo da monocultura (WORLD BANK, 2004).

Atualmente, o novo modelo agrícola, que surge em meio às preocupações ambientais, traz a busca por uma agricultura sustentável. A necessidade de conciliar o crescimento econômico do país com a conservação dos recursos naturais é uma tarefa que impõe grande desafio, uma vez, que os superávits na balança comercial dependem da exportação de produtos agrícolas cultivados em grande escala (IBGE, 2004).

A agricultura orgânica familiar é considerada como uma alternativa para melhorar a qualidade de vida dos pequenos produtores, onde as condições climáticas geram desafios para a relação sociedade-natureza, além disso, a procura por produtos orgânicos tem aumentado em torno de 10% ano no mercado interno e 20 e 30% no mercado externo (SEAGRI, 2004). Assim, a agricultura ou o cultivo orgânico surge como uma busca pela melhor qualidade de vida, ou uma das alternativas para essa busca, procurando-se manter a estrutura e a produtividade do solo, trabalhando em harmonia com a natureza, através de práticas ecológicas.

## **2.8.Déficit Hídrico em Plantas**

A ocorrência de déficit hídrico em plantas cultivadas afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas em todo o mundo. Desde os antigos povos sumérios, o homem tem procurado uma alternativa mais efetiva do aproveitamento da água para superar os efeitos do déficit hídrico às plantas (SANTOS e CARLESSO, 1998).As respostas das plantas às condições de estresse hídrico variam de acordo com a espécie, cultivar, tempo de exposição e fatores edáficos, entre outros. Não existe uma única variável fisiológica que, por si só, seja indicativa de tolerância à seca (NASCIMENTO et al., 2011).

A água em excesso ou escassez limita o crescimento radicular, podendo reduzir o espaço poroso, causando deficiência de O<sub>2</sub> (quando em excesso) e causando redução ou inibição completa do crescimento radicular, quando submetido à deficiência severa,prejudicando a absorção de água e nutrientes (KRAMER e BOYER, 1995).

O conceito do estresse hídrico está intimamente ligado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável. Nesse sentido, Assad (2002) afirma que é necessário entender como são ativados e como ocorrem essas respostas adaptativas, que é o ponto principal para o desenvolvimento de novas cultivares comerciais que sejam tolerantes à seca. A tolerância a seca é uma característica de plantas capazes de resistirem melhor à seca, de exibirem maior capacidade de obtenção da água, ou de apresentarem maior eficiência no uso da água disponível (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Segundo Jalaluddin e Price (1994), as plantas de arroz, quando submetidas à deficiência hídrica, acabam exibindo diferenças na eficiência do uso da água, no mecanismo de abertura estomática e na produção de fitomassa. Para Souza e Beltrão (1999), quanto à eficiência do uso da água, existe diferença entre as espécies para produção da biomassa, o que demonstra diferenças de economia de água das plantas. Essas diversidades nas respostas à deficiência hídrica constituem material adequado a ser utilizado nos programas de melhoramento, sendo importante que se conheça os mecanismos que conferem respostas diferenciais (GOMES, 1997).

A cultura do arroz sob condições de deficiência hídrica durante as fases vegetativa e reprodutiva promovem a redução na produção de matéria seca, teores de nutrientes da parte aérea e na extração de nutrientes até o florescimento (CRUSCIOL et al., 2003), reduz o perfilhamento, diminuindo o número de colmos (FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993).

## **2.9.Mecanismos de Tolerância ao Estresse Hídrico**

A adaptabilidade das plantas em condições de estresse é influenciada pela duração e magnitude do estresse, além da variabilidade genética. A concentração de princípios ativos nas plantas depende do controle genético e também das interações genótipo e ambiente, que podem ser desencadeadas em condições de estresse, ou seja, excesso ou deficiência de algum fator do meio ambiente, como água, luz, temperatura, nutrientes, dentre outros (ANDRADE e CASALI, 1999).

O estresse é geralmente definido como um fator externo que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta (TAIZ e ZEIGER, 2010). Já a tolerância à seca é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável. Se a tolerância aumenta como consequência da exposição anterior ao estresse, diz-se que a planta está aclimatada (TAIZ e ZEIGER, 2010).

O estresse desempenha importante função na determinação de como o solo e o clima limitam a distribuição de espécies vegetais. O estresse é medido em relação à sobrevivência da planta, produtividade agrícola, crescimento (acúmulo de massa seca), processo primário de

assimilação (absorção de CO<sub>2</sub> e de minerais), que estão relacionados ao crescimento e desenvolvimento vegetal (TAIZ e ZEIGER, 2009).

A identificação e compreensão dos mecanismos de tolerância à seca são de suma importância no desenvolvimento de novas cultivares comerciais tolerantes ao déficit hídrico (NEPOMUCENO et al., 2001). A expressão de genes (ainda não caracterizados) em genótipos tolerantes a esse fator pode ser usada no estudo de mecanismos de tolerância à seca e para identificar outros genótipos com características similares. Tolerância das plantas à seca, claramente, não é uma característica simples, mas uma característica onde mecanismos trabalham isoladamente ou em conjunto para evitar ou tolerar períodos de déficit hídrico.

## **2.10. Acúmulo de Açúcares ou Solutos Compatíveis no Ajustamento Osmótico**

O ajustamento osmótico é um processo pelo qual o potencial hídrico pode ser diminuído sem que haja decréscimo da turgescência ou do volume celular e resulta do aumento líquido no conteúdo de solutos na célula (TAIZ e ZEIGER, 2009), tornando possível a manutenção da absorção de água e da pressão de turgescência da célula, o que contribui para a manutenção de processos fisiológicos, tais como: abertura estomática, fotossíntese, alongamento e divisão celular (SERRAJ e SINCLAIR, 2002), representando assim um importante mecanismo de aclimação das plantas as condições de baixa disponibilidade hídrica (TAIZ e ZEIGER, 2009).

A capacidade das plantas de se ajustar osmoticamente para suportar situação de deficiência hídrica é muito variável tanto entre espécies, como entre cultivares de uma mesma espécie. Oosterhuis e Wullscheleger (1988) observaram alta capacidade de ajuste osmótico em sorgo e algodão sob condições de estresse hídrico.

Vários trabalhos evidenciam que o acúmulo da trealose e da prolina livre constitui-se em um critério para estudos de tolerância à seca, sendo estes osmoprotetores utilizados como indicadores bioquímico-fisiológicos de estresse hídrico (GARG et al., 2002; El-BASHITI et al., 2005; YAMADA et al., 2005; BIDOIA et al., 2006; HONGBO et al., 2006; MARIN et al., 2006).

### **2.10.1. Trealose**

O estresse pela baixa disponibilidade hídrica é um dos principais problemas da agricultura e a habilidade das plantas para resistirem a tal estresse é de grande importância para o desenvolvimento do agronegócio de qualquer país. O acúmulo de trealose e prolina livre nos tecidos vegetais é descrito em muitos estudos como um mecanismo de osmoproteção ou osmoregulação de genótipos tolerantes à seca (QUEIROZ, 2006).

A trealose é um dissacarídeo não redutor (-D-glicose-[1,1]-D-glicose), quimicamente estável que, sob condições de estresse hídrico, interage com os grupos polares das cadeias fosfolipídicas existentes na membrana, substituindo a água que foi removida, mantendo estruturas hidrofílicas da membrana plasmática e, conseqüentemente, a estabilidade celular (PATIST e ZOERB, 2005; ALMEIDA et al., 2007).

Para explicar as propriedades protetoras da molécula de trealose, há modelos que elucidam o efeito de proteção da trealose na membrana da célula durante os processos de desidratação-hidratação (QUEIROZ, 2006). O modelo mais aceito é o proposto por Crowe et al. (1984), pelo qual a trealose interage com os grupos polares das cadeias fosfolipídicas existentes na membrana. Assim, a trealose substituiria a água que está ligada às cabeças polares dos fosfolipídios quando em condições favoráveis e seria perdida no processo de estresse. Com a ligação da trealose à membrana não há alteração do espaçamento entre os fosfolipídios, evitando assim as separações laterais dos componentes da membrana. Com a substituição das moléculas de água pela trealose não há passagem da fase fluida para a fase gel da membrana, mantendo-se a integridade e a fluidez da membrana e, assim, a viabilidade celular (ALCARDE e BASSO, 1997; WINGLER, 2002; PATIST e ZOERB, 2005).

A trealose é catabolizada nos vegetais através da enzima trealase [EC 3.2.1.28] que hidrolisa a ligação glicosídica (1-1) produzindo duas moléculas de glicose (GODDIJN e DUN, 1999).

### **2.10.2. Prolina livre**

O estresse hídrico é considerado um dos fatores limitantes para o desenvolvimento das plantas, com isso os vegetais desenvolvem mecanismos para tolerar a deficiência hídrica no solo. (ALVARENGA, et al., 2011). Um outro composto citado na literatura para auxiliar na tolerância aos efeitos oxidativos dos estresses abióticos, tanto hídricos como da salinidade nas plantas, é a prolina, estabilizando a estrutura das macromoléculas e organelas, apesar de ser um aminoácido (GIRIJA et al., 2002).

O acúmulo de prolina, quando as plantas entram em déficit de água associado com a tolerância das plantas a essa condição desfavorável, pode representar um mecanismo regulador da perda de água, mediante aumento do potencial hídrico. Isso tem sido relatado e estudado desde 1954 por vários autores, já que uma das mais bem estudadas respostas das plantas a deficiência hídrica é a acumulação de prolina nas células (GIRIJA et al., 2002).

A prolina livre é um “ $\alpha$  – iminoácido”, que possui um grupo amino ligado a dois átomos de carbono, conferindo características de neutralidade à molécula. O acúmulo deste aminoácido

pode ocorrer por duas vias paralelas nas plantas, uma direta, dependente do glutamato, e outra indireta, dependente da ornitina (KAVI KISHOR et al., 2005).

A prolina é acumulada durante estresses ambientais e nessas situações atua como mediador do ajustamento osmótico, estabilizador de proteínas (VAN RENSBURG et al., 1993) e removedor de espécies reativas de oxigênio (ROS) (SMIRNOFF e CUMBES, 1989), entre diversas outras funções. KaviKishoret al.(2005) relatam que a prolina desempenha um importante papel adaptativo na tolerância das plantas ao estresse, principalmente devido à sua propriedade osmoprotetora. Durante situações de seca e alta salinidade, o seu acúmulo resulta em aumento na osmolaridade da célula, que leva ao influxo de água ou redução no efluxo e promove a manutenção do turgor necessária para a expansão celular.

### **2.10.3. Glicina betaína**

A glicina betaína, também conhecida como betaína, é um composto de amina quaternária. Seu acúmulo ocorre nos cloroplastos e sua concentração é correlacionada com o nível de tolerância da planta (BRAY et al., 2000). Conforme Sakamoto e Murata(2000), algumas plantas acumulam quantidades significativas de glicina betaína em resposta à alta salinidade, frio e a seca. As plantas quando submetidas às condições de estresse salino ou hídrico necessitam diminuir o potencial osmótico intracelular para tolerar tal condição. Esse osmólito participa como osmoprotetor, estabilizando a estrutura das proteínas e da membrana celular.

Esse osmorregulador é considerado um composto eletricamente neutro sobre uma gama enorme de valores de pH fisiológicos, além de ser extremamente solúvel em água (SAKAMOTO e MURATA, 2002). As características moleculares da glicina permitem interagir com domínios hidrófilos e hidrofóbicos de macromoléculas, assim como enzimas e proteínas complexas. O principal papel da glicina betaína seria, provavelmente, o de proteção das células vegetais por meio da preservação do balanço osmótico; da estabilização da estrutura de proteínas-chave, tal como a Rubisco; da proteção do aparato fotossintético e de sua atuação como eliminadora de espécies reativas de oxigênio (ROS) (CHA-UM et al., 2006).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização da Área Experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (estufa agrícola) no período compreendido entre os meses de julho de 2012 a janeiro de 2013 no Centro de Ciências Humanas e Agrárias-CCHA, pertencente à Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, CampusIV, Catolé do Rocha-PB, situado na região semiárida do Nordeste brasileiro, no Noroeste do Estado da Paraíba (Figura 1).



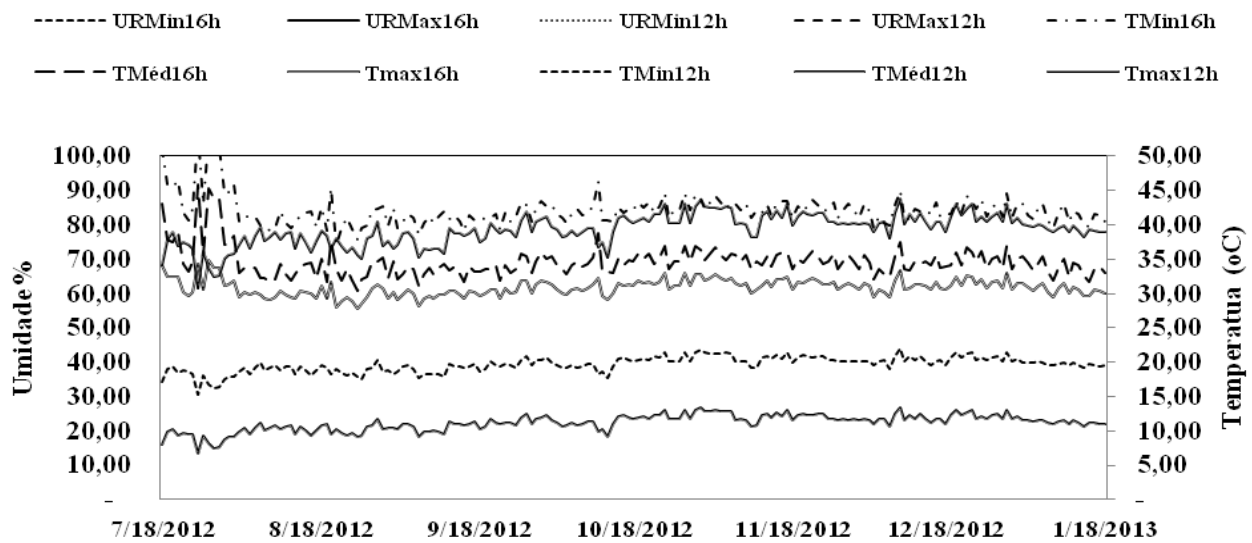
**Figura 1.** Localização do município de Catolé do Rocha/PB.

#### 3.2. Clima e Vegetação

De acordo com a classificação de KÖPPEN, o clima do município é do tipo BSW<sub>h</sub>ou seja, quente e seco do tipo estepe, com temperatura média mensal superior a 18°C, durante todo o ano. A temperatura média anual do referido município é de 26,9 °C e evaporação média anual

de 1707,0 mm. A precipitação média anual é de 849,1 mm, com período chuvoso concentrado entre os meses de fevereiro a maio, considerando os dados observados de 1911 a 1985 (CEINFO, 2013).

A vegetação nativa do município é do tipo caatinga hiperxerófila, com predominância de plantas espinhosas, sendo rica em cactáceas e bromeliáceas. Os dados climatológicos de temperatura e umidade relativa do ar durante o período de estudo foi registrado às 12 e 16 horas utilizando um medidor dentro da casa de vegetação (Figura 2).



**Figura 2.** Temperatura máxima, média e mínima às 12:00 e 16:00 horas e umidade relativa máxima e mínima às 12:00 e 16:00 horas com médias mensais do município de Catolé do Rocha/PB.

### 3.3.Delineamento Experimental

O estudo compreendeu a combinação de três fatores, sendo: quatro níveis de água disponível no solo ( $N_1 = 70$ ;  $N_2 = 80$ ;  $N_3 = 90$  e  $N_4 = 100\%$  AD), dois níveis de silício ( $S_1 =$  com e  $S_0 =$  sem) e dois níveis de biofertilizante ( $B_1 =$  com e  $B_0 =$  sem), utilizando delineamento inteiramente casualizado (DIC), no esquema fatorial  $4 \times 2 \times 2$ , com 16 tratamentos e quatro repetições, totalizando 64 plantas parcelas experimentais. A unidade experimental foi constituída de um vaso de material polimérico sintético com volume de 30L de substrato (Figura 3).



**Figura 3.** Distribuição das unidades experimentais em estufa, localizada na estação experimental agroecológica, Escola Agropecuária do Cajueiro em Catolé do Rocha-PB.

### **3.4. Atributos Físicos e Químicos do Solo**

O solo utilizado como substrato para o enchimento dos vasos foi classificado como NeossoloFlúvico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS) (EMBRAPA, 2006). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo simples em campo, na camada de 0-30 cm, sendo homogeneizadas e transformadas em amostras compostas, onde foram enviadas e analisadas em laboratório para determinação dos atributos físico-químicos (Tabela 1).



**Tabela 1.** Atributos físico-químicos do solo experimental, antes do plantio da cultura do arroz vermelho.

| <b>ATRIBUTOS QUÍMICOS</b>                          | <b>VALORES (0-30 cm)</b> |
|--|--------------------------|
| Cálcio (cmolc kg <sup>-1</sup> )                   | 4,44                     |
| Magnésio (cmolc kg <sup>-1</sup> )                 | 2,81                     |
| Sódio (cmolc kg <sup>-1</sup> )                    | 0,26                     |
| Potássio (cmolc kg <sup>-1</sup> )                 | 0,56                     |
| S (cmolc kg <sup>-1</sup> )                        | 8,07                     |
| Hidrogênio (cmolc kg <sup>-1</sup> )               | 0,00                     |
| Alumínio (cmolc kg <sup>-1</sup> )                 | 0,00                     |
| T (cmolc kg <sup>-1</sup> )                        | 8,07                     |
| Carbonato de cálcio Qualitativo                    | Presença                 |
| Carbono Orgânico (g/kg <sup>-1</sup> )             | 4,0                      |
| Matéria Orgânica (g/kg <sup>-1</sup> )             | 6,9                      |
| Nitrogênio (g/kg <sup>-1</sup> )                   | 0,4                      |
| Fósforo Assimilável (mg/100g)                      | 5,33                     |
| pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)                        | 7,45                     |
| Condutividade Elétrica (dS/m)                      | 0,20                     |
| <b>ATRIBUTOS FÍSICOS</b>                           | <b>VALORES</b>           |
| Granulometria (g/kg <sup>-1</sup> )                |                          |
| Areia(g/kg <sup>-1</sup> )                         | 820,6                    |
| Silte(g/kg <sup>-1</sup> )                         | 124,8                    |
| Argila(g/kg <sup>-1</sup> )                        | 54,6                     |
| Classificação Textural                             | Areia Franca             |
| Densidade do solo (g cm <sup>3</sup> )             | 1,39                     |
| Densidade de partículas (g cm <sup>3</sup> )       | 2,65                     |
| Porosidade (%)                                     | 47,45                    |
| Umidade de C.C.. 33,4 k pa (g/kg <sup>-1</sup> )   | 164,5                    |
| Umidade de P.M.P.1519,9 k pa (g/kg <sup>-1</sup> ) | 47,1                     |
| Umidade disponível (g/kg <sup>-1</sup> )           | 117,4                    |

Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

### 3.5. Atributos Químicos da Água de Irrigação

A água utilizada na irrigação foi captada de um aquífero próximo ao local do experimento (poço amazonas). Antes da instalação do experimento, foi coletada amostras de água e enviada para análise em laboratório (Tabela 2).

**Tabela 2.** Atributos químicos da água de poço amazonas (cacimbão) utilizada para o manejo de irrigação na cultura do arroz vermelho.

| ATRIBUTOS QUÍMICOS                           | VALORES                       |
|--|-------------------------------|
| PH   | 7,3                           |
| Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> ) | 0,75                          |
| Cátions (mmolc L <sup>-1</sup> )             | -                             |
| Cálcio                                       | 23,0                          |
| Magnésio                                     | 15,6                          |
| Sódio  | 40,0                          |
| Potássio                                     | 0,02                          |
| Ânions (mmolc L <sup>-1</sup> )              | -                             |
| Cloreto                                      | 39,0                          |
| Carbonato                                    | 05,7                          |
| Bicarbonato                                  | 38,5                          |
| Sulfato                                      | Ausente                       |
| RAS (mmolc L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>  | 2,88                          |
| Classificação Richards (1954)                | C <sub>2</sub> S <sub>1</sub> |

Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

### 3.6. Preparo e Aplicação de Biofertilizante e Silício

O biofertilizante enriquecido à base de esterco bovino foi produzido de forma anaeróbica, em recipiente plástico, com capacidade para 240 litros, mantido hermeticamente fechada durante 35 (trinta e cinco) dias. Ao recipiente, conectou-se uma mangueira ligada a uma garrafa peti com água, para retirada do gás metano produzido no interior do recipiente pela fermentação das bactérias anaeróbicas.

O material utilizado na produção do fertilizante orgânico constou de 70 kg de esterco verde de vacas em lactação, 120 litros de água, farinha de rocha, leguminosas e 3 kg cinza de madeira, além de 5 litros de leite e 5 kg de açúcar para aceleração do metabolismo das bactérias.

Na aplicação do silício nas plantas de arroz vermelho, utilizou-se o SIFOL como fonte de silício, as dosagens de 1,0 L do produto foi diluído em 100 L de calda, conforme rótulo do produto. Tendo seu início de aplicação aos 15 dias, após o perfilhamento, até o endurecimento da panícula. A aplicação foi feita de forma manual, com uma seringa descartável, sendo adicionado via solo.

**Tabela 3.** Atributos químicos do biofertilizante enriquecido utilizado na pesquisa\*

| <b>Especificação</b>                       | <b>Biofertilizante (B5)</b> |
|--|-----------------------------|
| pH   | 5,25                        |
| CE-dS/m                                    | 7,10                        |
| Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ )            | 403, 40                     |
| Sódio ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ )    | 1,22                        |
| Potássio ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) | 1,78                        |
| Cálcio ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ )   | 6,00                        |
| Magnésio ( $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) | 5,40                        |
| Nitrogênio ( $\text{g kg}^{-1}$ )          | 0,80                        |
| Enxofre ( $\text{mg dm}^{-3}$ )            | 57,42                       |

Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2012.

### **3.7. Condução do Experimento**

#### **3.7.1. Preparo do substrato, adubação e semeadura**

O preparo do substrato para o cultivo do arroz vermelho foi realizado de forma manual, utilizando-se o solo Neossolo Flúvico e húmus de minhocas vermelha da Califórnia, numa proporção de 1:1, deixando o substrato em condições de receber as sementes de arroz vermelho acondicionados em vasos com capacidade para 30 kg. As sementes utilizadas na semeadura eram certificadas e tratadas para garantia de emergência de plântulas mais vigorosas. O semeio foi realizado diretamente no vaso no dia 18/07/2012, utilizando 10 sementes/vazo, com início da germinação em 23/07/2012.

**Tabela 4.** Atributos químicos do húmus de minhoca vermelha da Califórnia utilizado para adubação, na proporção de 1:1 de substrato para cada vaso. \*

| <b>Atributos Químicos</b>                                | <b>Valores</b> |
|--|----------------|
| Ph H <sub>2</sub> O (1:25)                               | 7,38           |
| Condutividade Elétrica (ds/m)                            | 2,11           |
| Cálcio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )              | 354            |
| Magnésio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )            | 193,2          |
| Sódio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )               | 18,2           |
| Potássio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )            | 14,1           |
| S (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )                   | 579,5          |
| Hidrogênio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )          | 0,00           |
| Alumínio (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )            | 0,00           |
| T (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )                   | 559,5          |
| Carbonato de Cálcio (Qualitativo)                        | Presença       |
| Carbono Orgânico   | –              |
| Matéria Orgânica   | –              |
| Nitrogênio   | –              |
| Fósforo Assimilável (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) | 551,4          |

\*Laboratório de Irrigação e Salinidade (Lis) do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG/PB.

### 3.7.2. Controle de irrigação

O conteúdo de água do solo foi monitorado, diariamente, pelo método indireto utilizando um medidor de umidade (modelo HH2 Moisture Meter de marca Delta-TDevicesLtd.) com sonda multisensor de capacitância inserida no solo através de um tubo de policarbonato (Reflectometria no Domínio de Frequência- FDR), com aproximadamente 2,5 cm de diâmetro externo e pouco mais de um metro de comprimento, devidamente configurado para medir a umidade do solo nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 60 e 100 cm, exatamente onde se encontram instalados os sensores eletrônicos na sonda, visualizados na forma de pares de anéis de aço inoxidável, por causa de o equipamento possuir um tamanho maior que o vaso utilizado no experimento, foi feita uma adaptação no vaso, regulando assim o tubo para poder medir só as camadas determinada que compreende 10 a 40 cm (Figura 4 A e B).

A leitura dos dados foi feita com equipamento portátil, com visor eletrônico, denominado HH2, onde grava os resultados das leituras do teor de umidade em porcentagem (%). Os valores foram lançados e processados em uma planilha computacional do Microsoft® Excel®. O

balanço do conteúdo total de água no solo foi calculado conforme a equação 1, onde o volume de água a ser aplicado em cada vaso foi apenas para manter a umidade correspondente aos níveis de 70, 80, 90 e 100% de água disponível (ALBUQUERQUE, 2010).

$$AD = (C_c - PMP) - (C_a - PMP) \times V/100 \text{ (eq. 1)}$$

Onde:

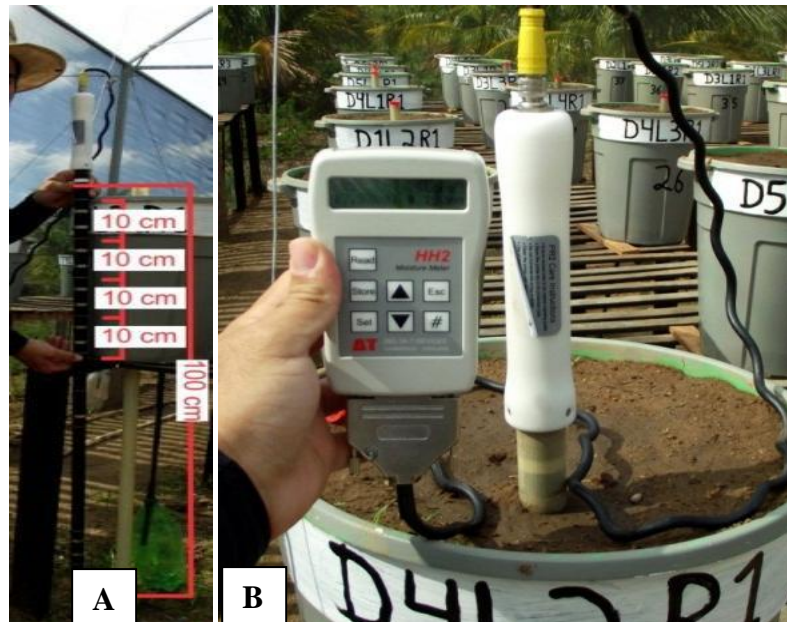
AD - Água disponível em volume;

C<sub>c</sub> - Umidade à capacidade de campo;

PMP - Umidade correspondente ao ponto de murcha permanente;

C<sub>a</sub> - Umidade à Capacidade atual do solo;

V - Volume do solo (cm<sup>3</sup>)



**Figura 4.** Esquematização da cápsula de 1 m inserida no vaso de 40 cm, onde as leituras foram feitas com sonda de perfil do solo (PR2/6), sendo usado apenas os 4 primeiros sensores (A) e leitura com o medidor de umidade HH2 Moisture Meter (B).

### 3.7.3. Consumo de água

Diariamente foram computadas as quantidades de água consumidas pelas plantas, em volume, obtidas em função das leituras realizadas através do FDR. A necessidade hídrica da cultura foi suprida de forma manual, com água fornecida através de um regador, de acordo com monitoramento da FDR (Reflectometria no Domínio de Frequência).

#### **3.7.4. Tratos culturais**

Os tratos culturais constaram de controle dos inços (ervas daninhas) manualmente, à medida em que surgia no interior dos vasos às plantas invasoras, já o raleamento foi realizado no dia 01/08/2012. Não foram observados a ocorrência de pragas e doenças em todo o período do experimento, portanto não foi necessário fazer uso da aplicação de inseticidas.

#### **3.7.5. Colheita**

A colheita foi realizada de forma manual aos 180 dias (18/01/2013) após a semeadura (DAS), realizando as operações de corte, enleiramento e recolhimento quando os grãos de arroz vermelho encontravam-se entre 18 a 23% de umidade.

### **3.8. Variáveis Analisadas**

#### **3.8.1. Componentes de crescimento e produção**

As avaliações referentes aos componentes de crescimento e produção da cultura do arroz vermelho foram analisadas conforme resultados obtidos através da altura da planta, número de panículas por touceira, número de espaguetes por panículas, número de grãos por espaguetes e número de grãos por touceira.

A altura de planta foi realizada semanalmente com auxílio de uma fita métrica, onde se media do colmo rente ao solo até o meristema apical.

#### **3.8.2. Fitomassa**

Foram coletados materiais da cultura do arroz vermelho pelo método destrutivo para determinação da fitomassa seca da folha, fitomassa seca do colmo, fitomassa seca da parte aérea, fitomassa seca da raiz, fitomassa seca total e relação raiz parte aérea (R/PA). Para avaliação da fitomassa, as plantas foram cortadas ao nível da superfície do solo e separou-se as folhas do colmo. As raízes foram devidamente separadas do substrato através de lavagens com água corrente.

Após a coleta do material, a fitomassa seca foi obtida após secagem em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 65°C até peso constante, sendo o material seco pesado em balança de precisão de 0,01 mg. A relação raiz/parte aérea (R/PA) foi encontrada pelo quociente entre fitomassa seca das raízes e a fitomassa seca da parte aérea da planta (MAGALHÃES, 1979).

$$R/PA = \frac{FSR}{FSPA} \text{-----(eq. 2)}$$

onde:

FSR – Fitomassa seca do sistema radicular no t;

FSPA – fitomassa seca da parte aérea no t.

### 3.8.3. Caracterização bioquímica do arroz

#### 3.8.3.1. Trealose

A quantificação de Trealose foi realizada segundo método enzimático descrito por Neves et al. (1994). A mistura (6mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> mais tecido foliar) foi fervida por 20 minutos a 100°C, centrifugado a 3000x g<sup>-1</sup> durante 3 minutos. Foram adicionados a 200 µL do extrato (sobrenadante), 100 µL de ácido acético (1 mol dm<sup>-3</sup>, pH: 5,5) e 100 µL da solução tampão (acetado de sódio 300 mmol dm<sup>-3</sup> + CaCl<sub>2</sub> 30 mmol dm<sup>-3</sup>), os quais foram homogeneizados em agitador por 15 segundos. Desta mistura, foram retirados 100 µL e colocados em outro tubo eppendorff imerso em gelo, ao qual foram acrescentados 100 µL de trealaseconidial (atividade ótima em pH 5,5 a 60 °C).

Os tubos foram mantidos no gelo, e destes, retirados 50 µL da solução para confecção do branco da reação (tempo zero), sendo adicionados a outro tubo eppendorff, contendo 150 µL de água destilada, também imerso em gelo. Estes tubos foram fervidos a 100°C por 10 minutos para que a reação de hidrólise da trealose não ocorresse. Foi confeccionado um branco para cada parcela experimental. Os tubos que continham o material a ser analisado foram incubados em banho-maria durante 1 h a 60°C, subsequentemente, fervidos a 100°C por 10 minutos para cessar a reação. Após as amostras atingirem temperatura ambiente, adicionou-se 1mL de glicose-oxidase (GOD, EC 1.1.3.4), sendo a reação incubada em banho-maria por 15 minutos a 37°C. Após incubação, houve a formação de um cromógeno vermelho. A análise do equilíbrio da reação foi realizada através de espectrofotometria a 505 nm, onde a intensidade da cor do cromógeno foi proporcional à concentração de glicose presente na solução em análise.

#### 3.8.3.2. Teor de prolina

O teor de prolina foi determinado utilizando-se o método de Bates et al. (1973). Para a realização do teste colorimétrico, pipetaram-se alíquotas de 1,0 mL do extrato bruto; 1,0 mL de ninhidrina ácida; 1,0 mL de ácido acético glacial. Após banho-maria fervente por 60 min.,

resfriaram-se os frascos e efetuou-se leitura do composto colorido a 520 nm. Como referência, será utilizado uma reta padrão com L-prolina.

### **3.8.3.3. Glicinabetaina**

Foi determinada segundo o método de Grieve e Grattan (1983). As amostras foram maceradas em 2mL de água destilada sob agitação constante, à temperatura ambiente, por um período de 4 horas, seguindo de centrifugação a 3.500 g por 10 minutos, a 25 °C. O sobrenadante foi coletado e dele retirado uma alíquota de 250 µL para a quantificação de glicinabetaina. Para isso, 250 µL de ácido sulfúrico concentrado foram adicionados a cada amostra, seguindo de incubação em banho de gelo por 1 hora. Após esse tempo, 200 µL de iodeto de potássio (a aproximadamente 8°C) foram adicionados e a mistura incubada por 16 horas a 0°C. As amostras foram centrifugadas a 3.500 g, por 15 minutos a 0°C, e o resíduo coletado. Este foi lavado por duas vezes em 2mL de ácido sulfúrico 1 N (a aproximadamente 8°C) e após centrifugação a 3.500 g, por 5 minutos a 0 °C, o precipitado foi dissolvido em 3 mL de 1,2-dicloroetano, por meio de agitação vigorosa. Após 2,5 horas de repouso, a ABS das amostras foi obtida a 365 nm e para os cálculos foi utilizada uma curva padrão de glicina - betaína. Os resultados foram expressos em mg glicina – betaína g<sup>-1</sup> MS.

### **3.9. Análise Estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, confrontando as médias obtidas com o fator qualitativo (silício e biofertilizante) pelo teste de Tukey e realizando análises de regressão para o fator quantitativo (lâminas de irrigação). Foi utilizado o software estatístico SISVAR 5.1 para a realização das análises e dos modelos de regressão (FERREIRA, 2000).



## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1.Desenvolvimento do Arroz**

A análise estatística das variáveis de crescimento, produção e fitomassa da cultura do arroz vermelho aos 180 dias após a semeadura (DAS), revelou efeito significativo das lâminas de água disponível no solo (L) ( $p < 0,01$ ) para todas as variáveis analisadas. A aplicação de silício provocou diferença estatística apenas para número de espaguetes (NE) e número de grãos por espaguetes (NGE). Já o biofertilizante foi significativo apenas para número de grãos por espaguetes (NGE) e número de grãos por touceira (NGT). Por outro lado, as interações entre os fatores de estudo não causaram diferença significativa nas características do arroz vermelho avaliadas (Tabela 5).



**Tabela 5.** Resumo da análise de variância do crescimento, produção e fitomassa da cultura do arroz vermelho dos fatores envolvidos no experimento em ambiente protegido.

| F.V.                | G.L. | QUADRADOS MÉDIOS     |                      |                      |                     |                           |
|---------------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|
|                     |      | AP                   | NPT                  | NE                   | NGE                 | NGT                       |
| Lâminas (L)         | 3    | 1169,20**            | 5614,68**            | 332,39**             | 332,39**            | 174456296,30**            |
| Regr.de 1º Grau     | 1    | 3038,11**            | 16588,80**           | 935,02**             | 935,02**            | 508619329,65**            |
| Regr.de 2º Grau     | 1    | 203,06 <sup>ns</sup> | 248,06 <sup>ns</sup> | 0,01 <sup>ns</sup>   | 0,01 <sup>ns</sup>  | 8641395,14 <sup>ns</sup>  |
| Desvio de Regr.     | 1    | 266,45               | 7,20                 | 62,12                | 62,12               | 6108164,12                |
| Silício (Si)        | 1    | 18,06 <sup>ns</sup>  | 105,06 <sup>ns</sup> | 313,89*              | 206,64*             | 739385,01 <sup>ns</sup>   |
| Biofertilizante (B) | 1    | 206,64 <sup>ns</sup> | 855,56 <sup>ns</sup> | 118,26 <sup>ns</sup> | 118,26*             | 51135013,26**             |
| Inter. (L x Si)     | 3    | 298,35 <sup>ns</sup> | 310,43 <sup>ns</sup> | 89,34 <sup>ns</sup>  | 89,76 <sup>ns</sup> | 24144235,18 <sup>ns</sup> |
| Inter. (L x B)      | 3    | 156,05 <sup>ns</sup> | 141,43 <sup>ns</sup> | 96,30 <sup>ns</sup>  | 96,30 <sup>ns</sup> | 17460808,18 <sup>ns</sup> |
| Inter. (Si x B)     | 1    | 328,51 <sup>ns</sup> | 217,56 <sup>ns</sup> | 1,26 <sup>ns</sup>   | 0,76 <sup>ns</sup>  | 4079895,01 <sup>ns</sup>  |
| Inter. (L x Si x B) | 3    | 79,01 <sup>ns</sup>  | 82,52 <sup>ns</sup>  | 74,30 <sup>ns</sup>  | 75,30 <sup>ns</sup> | 1847789,34 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo             | 48   | 71,78                | 127,17               | 25,59                | 25,58               | 5101947,47                |
| CV (%)              |      | 30,19                | 31,91                | 30,87                | 30,86               | 41,30                     |

| F.V                 | G.L. | QUADRADOS MÉDIOS    |                      |                       |                      |                      |                    |
|---------------------|------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
|                     |      | FSF                 | FC                   | FSPA                  | FSR                  | FST                  | R/PA               |
| Lâminas (L)         | 3    | 28,96**             | 1643,02**            | 1235,74**             | 176,74**             | 763,31**             | 0,01**             |
| Regr.de 1º Grau     | 1    | 62,15**             | 2698,33**            | 3579,55**             | 348,00**             | 1695,33**            | 0,02**             |
| Regr.de 2º Grau     | 1    | 22,17 <sup>ns</sup> | 895,73 <sup>ns</sup> | 1199,75 <sup>ns</sup> | 126,25 <sup>ns</sup> | 547,61 <sup>ns</sup> | 0,00 <sup>ns</sup> |
| Desvio de Regr.     | 1    | 2,55                | 113,51               | 149,76                | 28,96                | 47,00                | 0,00               |
| Silício (Si)        | 1    | 3,84 <sup>ns</sup>  | 1,55 <sup>ns</sup>   | 0,51 <sup>ns</sup>    | 0,59 <sup>ns</sup>   | 0,00 <sup>ns</sup>   | 0,00 <sup>ns</sup> |
| Biofertilizante (B) | 1    | 4,63 <sup>ns</sup>  | 9,85 <sup>ns</sup>   | 26,49 <sup>ns</sup>   | 4,02 <sup>ns</sup>   | 51,17 <sup>ns</sup>  | 0,00 <sup>ns</sup> |
| Inter. (L x Si)     | 3    | 6,83 <sup>ns</sup>  | 5,80 <sup>ns</sup>   | 25,20 <sup>ns</sup>   | 2,85 <sup>ns</sup>   | 44,92 <sup>ns</sup>  | 0,00 <sup>ns</sup> |
| Inter. (L x B)      | 3    | 2,07 <sup>ns</sup>  | 15,41 <sup>ns</sup>  | 18,22 <sup>ns</sup>   | 4,05 <sup>ns</sup>   | 21,56 <sup>ns</sup>  | 0,00 <sup>ns</sup> |
| Inter. (Si x B)     | 1    | 3,17 <sup>ns</sup>  | 22,03 <sup>ns</sup>  | 8,48 <sup>ns</sup>    | 5,28 <sup>ns</sup>   | 27,15 <sup>ns</sup>  | 0,00 <sup>ns</sup> |
| Inter. (L x Si x B) | 3    | 9,46 <sup>ns</sup>  | 17,19 <sup>ns</sup>  | 41,97 <sup>ns</sup>   | 0,97 <sup>ns</sup>   | 55,50 <sup>ns</sup>  | 0,00 <sup>ns</sup> |
| Resíduo             | 48   | 6,42                | 10,51                | 24,06                 | 2,28                 | 25,59                | 0,00               |
| C.V (%)             |      | 3,84                | 2,37                 | 2,42                  | 3,86                 | 2,09                 | 4,88               |

\*\* e \* significados aos níveis de 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente. AP=altura da planta, NPT= número de panícula por touceira, NE= número de espaguetes, NGE= número de grãos por espaguetes, NGT= número de grãos por touceira, FSF= fitomassa seca da folha, FC= fitomassa seca do colmo, FSPA= fitomassa seca da parte aérea, FSR= fitomassa seca da raiz, FST= fitomassa seca total e R/PA= relação raiz parte aérea, GL=grau de liberdade, NS=não significativo e CV= coeficiente de variação.

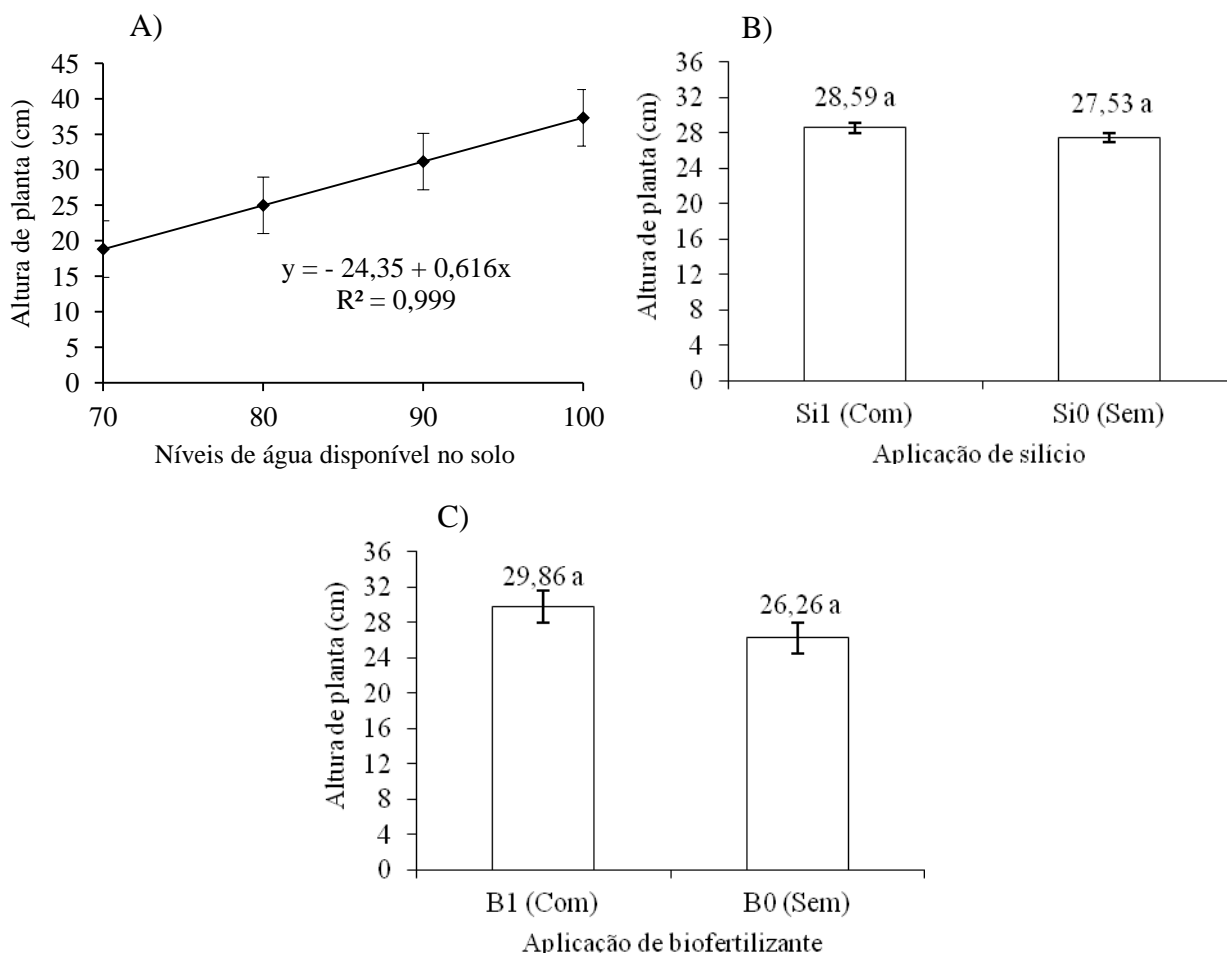
## **4.2.Crescimento Vegetativo**

### **4.2.1. Altura do arroz vermelho**

Ao analisar a altura de plantas de arroz vermelho percebe-se comportamento linear crescente com o aumento da disponibilidade hídrica no solo, onde ao incrementar o nível da água disponível no solo, houve acréscimo na altura de 0,62 cm por aumento unitário da lâmina de irrigação, sendo que na aplicação da lâmina máxima possibilitou um incremento de 98% em relação aos valores encontrados na menor lâmina (Figura 5A). Vale ressaltar que a reposição de água e nutrientes é essencial para o desenvolvimento adequado da planta e obtenção de produtividade satisfatória, na quantidade ideal e no momento oportuno (NANETTI et al., 2000).

Com relação à aplicação de silício na cultura do arroz vermelho, nota-se que não houve diferença significativa entre as médias de altura de planta.(Figura 5B). Para Gomes et al. (2011), estudando a disponibilidade de silício para a cultura do arroz em função de fontes, tempo de incubação e classes de solo, obtiveram resultados semelhantes aos obtidos na pesquisa em evidência. Esse ligeiro aumento em relação ao crescimento da planta, possivelmente, tenha ocorrido devido à concentração do silício na epiderme das folhas formando uma barreira física à invasão de fungos nas células, dificultando também o ataque de insetos sugadores e mastigadores e diminuindo desta forma, os danos causados às plantas.

Observa-se que o crescimento da planta de arroz em altura teve um ligeiro aumento de 13,71% quando aplicou-se a dose de biofertilizante via solo em relação aos tratamentos que não foram submetidos a aplicação (Figura 5C). O aumento verificado, provavelmente, foi devido à melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, ao longo da aplicação do biofertilizante. Para Dosani et al. (1999), o potencial de fertilização do solo é elevado pelo efeito da quelação do complexo de moléculas orgânicas dos fertilizantes, possibilitando uma grande solubilização de nutrientes e mobilização para os sistemas condutores das plantas, resultando em plantas nutricionalmente mais equilibradas (OLIVEIRA e ESTRELA, 1984; SANTOS e SAMPAIO, 1993; SANTOS e AKIBA, 1996).



**Figura 5.** Altura de planta de arroz vermelho em função das lâminas de água (A), silício (B) e biofertilizante (C).

### 4.3. Produção do Arroz Vermelho

#### 4.3.1. Número de panículas por touceiras

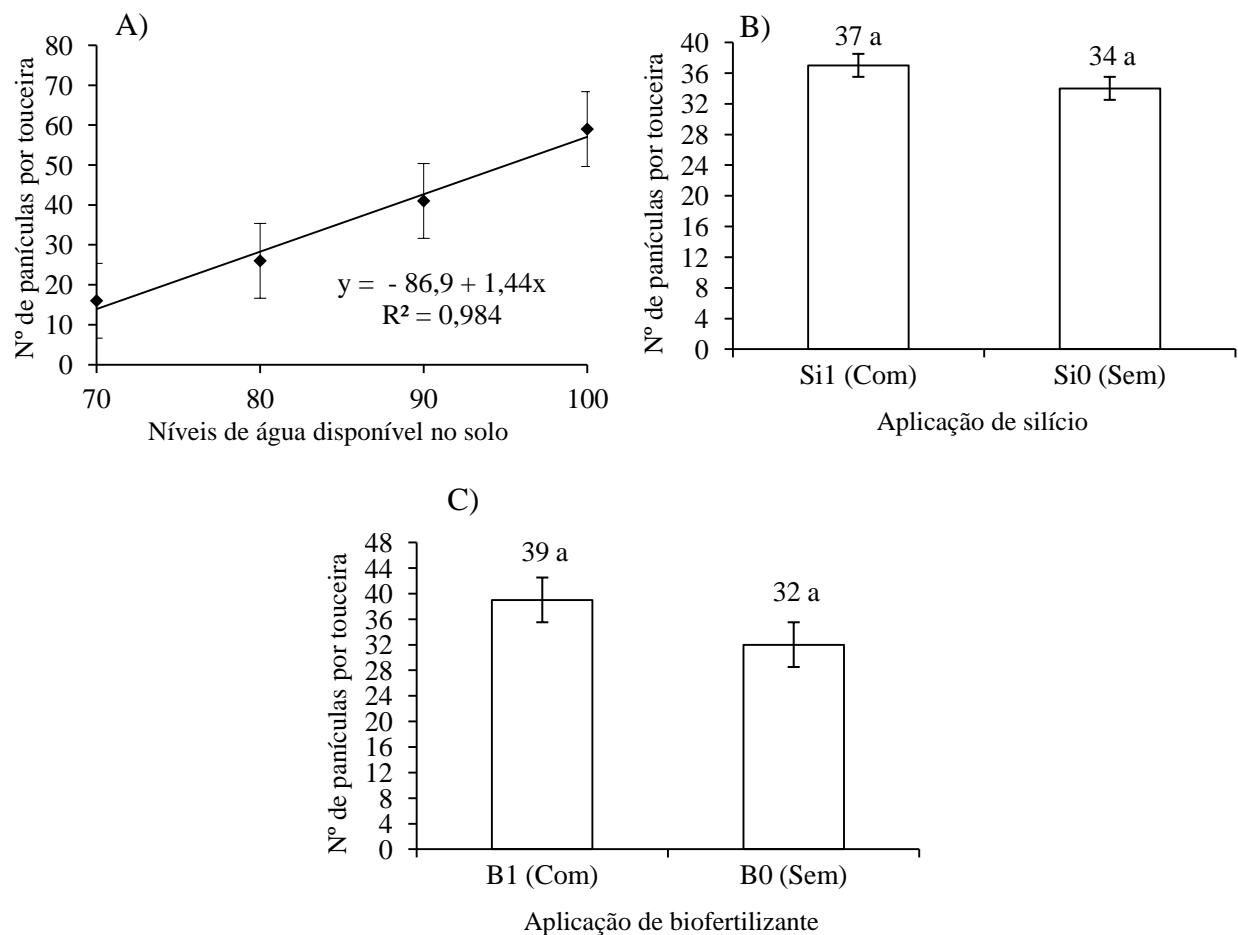
Observa-se tendência linear crescente no número de panículas por touceira (NPT) com aumento da lâmina de irrigação (Figura 6A), constatando-se acréscimo de 1,44 de panículas por touceira, por aumento unitário da lâmina de irrigação, obtendo-se na lâmina máxima (100%) 59 panículas por touceira, superando em 270% o valor obtido da lâmina mínima (70%). Provavelmente esse aumento do número de panículas por touceira se deva aos benefícios potenciais da irrigação com déficit que advém de fatores como, aumento da eficiência de irrigação, redução dos custos da irrigação e redução dos riscos associados aos impactos ambientais adversos da irrigação plena.

Pode-se constatar que o elevado número de panículas por touceira tenha ocorrido, possivelmente pela alta capacidade de perfilamento e de produção de espaguetes, comprovada,

respectivamente, pelos valores do componente da produção do número de panículas, observado neste experimento.

Na Figura 6B, não há diferença entre as plantas com e sem silício. A aplicação de silício às plantas pode ter dado à cultura melhores condições para suportar adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado final um aumento no número de panículas. Estresses causados por temperaturas extremas, por exemplo, podem ter seus efeitos reduzidos com o uso do silício.

Em relação ao uso do biofertilizante aplicado via solo, o número de panículas por touceira não foi influenciado significativamente. (Figura 6C). A superioridade dos valores obtidos com o número de panículas por touceira quando aplicado o fertilizante orgânico, provavelmente pode ser devido à melhoria da nutrição das plantas (SANTOS e AKIBA, 1996) em consequência do aumento da fertilização do solo, em decorrência do uso de biofertilizante no solo (SANTOS, 1992) ou a fatores genéticos (SILVA et al., 2003).



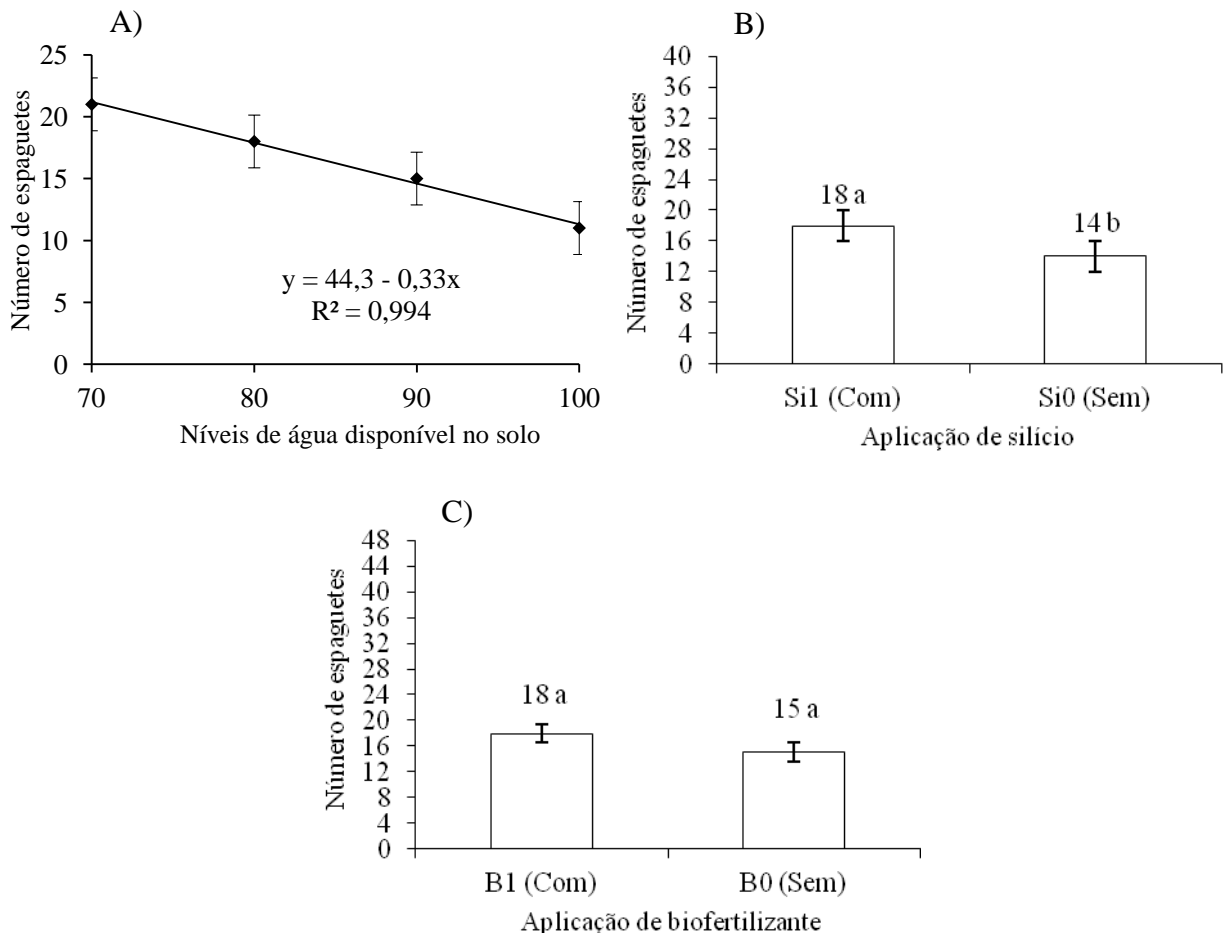
**Figura 6.** Número de panículas/touceira em função as lâminas de água (A), sob aplicação de silício (B) e aplicação de biofertilizante (C).

### 4.3.2. Número de espaguetes

O número de espaguetes (NE) foi influenciado pelas lâminas de água no solo, sendo que os valores máximos foram encontrados na menor disponibilidade hídrica (70%) com 21 espaguetes contra 11 espaguetes na maior lâmina (100%), verificando-se redução de 47,6% quando elevou a lâmina de irrigação e decréscimo de 0,33 espaguetes por aumento unitário da lâmina (Figura 7A). Os resultados obtidos por Marcolin e Macedo (2001) e Machado (2003) também evidenciam que é possível atingir altos rendimentos de grãos com volumes de água inferiores aos comumente aplicados, reforçando os valores da presente pesquisa.

A aplicação de silício afetou o número de espaguetes por planta, com aumento significativo de 28%, o que correspondeu ao incremento de quatro espaguetes por panícula (Figura 7B). Destaque-se que o arroz é acumulador de Si, embora não seja considerado elemento essencial, beneficia o crescimento e desenvolvimento da cultura, bem como reduz a transpiração cuticular e aumenta tolerância das plantas ao ataque de pragas e patógenos (LIMA FILHO 2005). Tal elemento também reduz a taxa de transpiração, influenciando na redução de água perdida no processo transpiratório, o que pode aumentar no ganho de produção.

Em relação ao uso de biofertilizante, o número de espaguetes não foi afetado de forma significativa (Figura 7C). Possivelmente o biofertilizante, produto final da fermentação da matéria orgânica, atuou nutricionalmente sobre o metabolismo vegetal, por possuir alta atividade microbiana e bioativa, sendo capaz de proporcionar maior proteção e resistência à planta contra agentes externos, além de atuar na ciclagem de nutrientes no solo (MEDEIROS et al., 2003; MEDEIROS, 2002 e ALVES et al., 2009).



**Figura 7.** Número de espaguetes para cada lâmina de irrigação (A) para aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

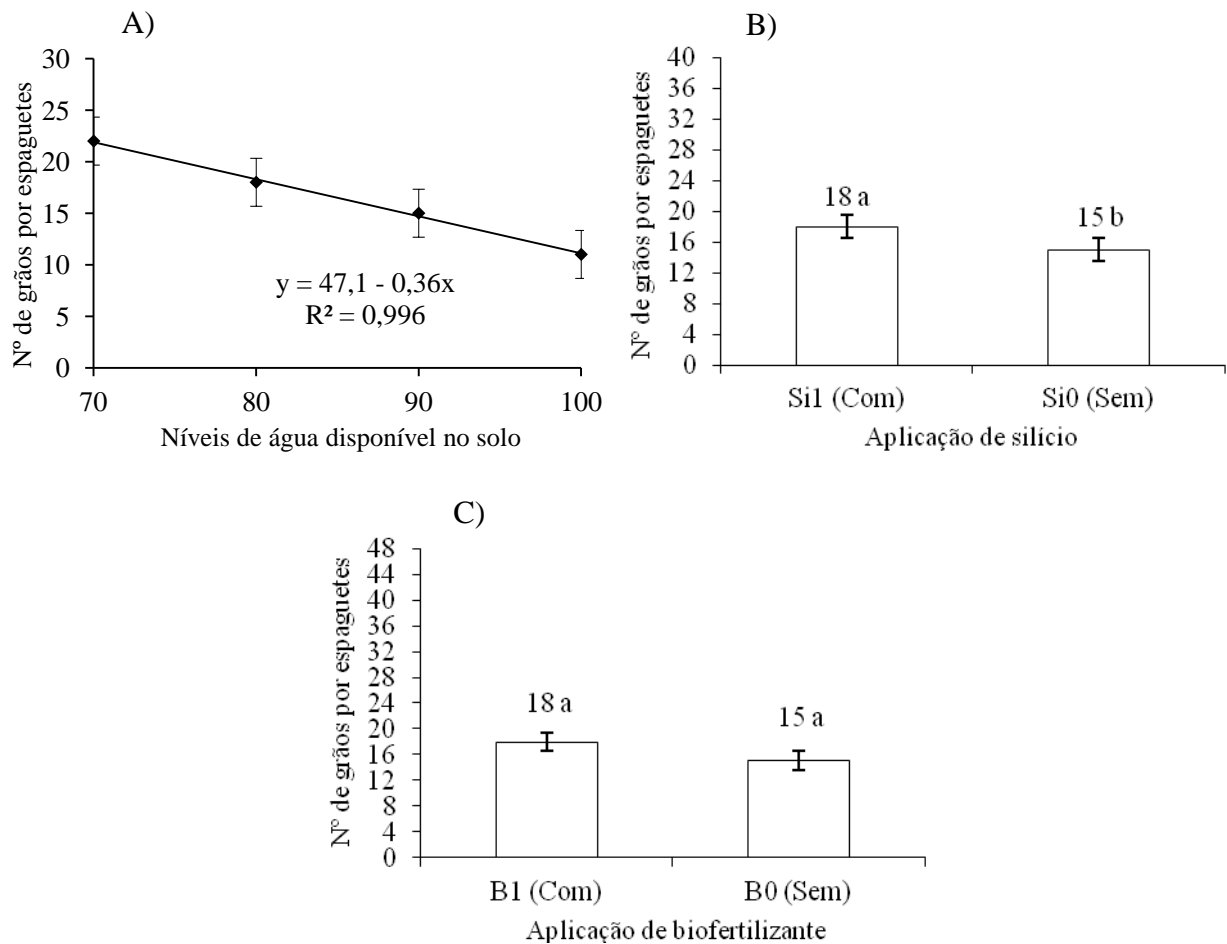
#### 4.3.3. Número de grãos por espaguetes

O número de grãos por espaguetes foi reduzido linearmente com o acréscimo da lâmina de irrigação, com redução de 0,36 grãos por aumento unitário da lâmina de irrigação aplicada, correspondendo na maior lâmina redução de 100% na quantidade de grãos (Figura 8A). Essa diminuição verificada em plantas de arroz, mediante aumento da umidade do solo, possivelmente tenha ocorrido devido às alterações na porosidade e drenagem, pois o preparo do solo poderá provocar modificações na estrutura do solo que deverá modificar a retenção de água e a resistência mecânica (SILVA et al., 1994; SUZUKI, 2005).

Quanto a aplicação de silício, houve aumento significativo, quando se aplicou este elemento, verificando que entre as plantas com silício e a testemunha houve uma similaridade nos valores, com destaque nas plantas com o uso do elemento químico o que possibilitou incremento de 20% em relação aos tratamentos que não receberam a aplicação de silício (Figura 8B). Ressalte-se que a aplicação de silício na cultura do arroz vermelho pode propiciar aumentos



significativos no desenvolvimento e rendimento de grãos em gramíneas, além de possibilitar acúmulo na disponibilidade de silício no solo (VIDAL et al., 2011). Já nas plantas de arroz com e sem aplicação de biofertilizante, não foram observados efeitos significativamente (Figura 8C), sendo que esses resultados podem ter relação direta com a melhoria das características do solo com o decorrer dos dias (SANTOS, 1992; DAMATTO JÚNIOR, NOMURA e SAES, 2009).



**Figura 8.** Número de grãos/espaguetes para lâmina de água aplicada (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

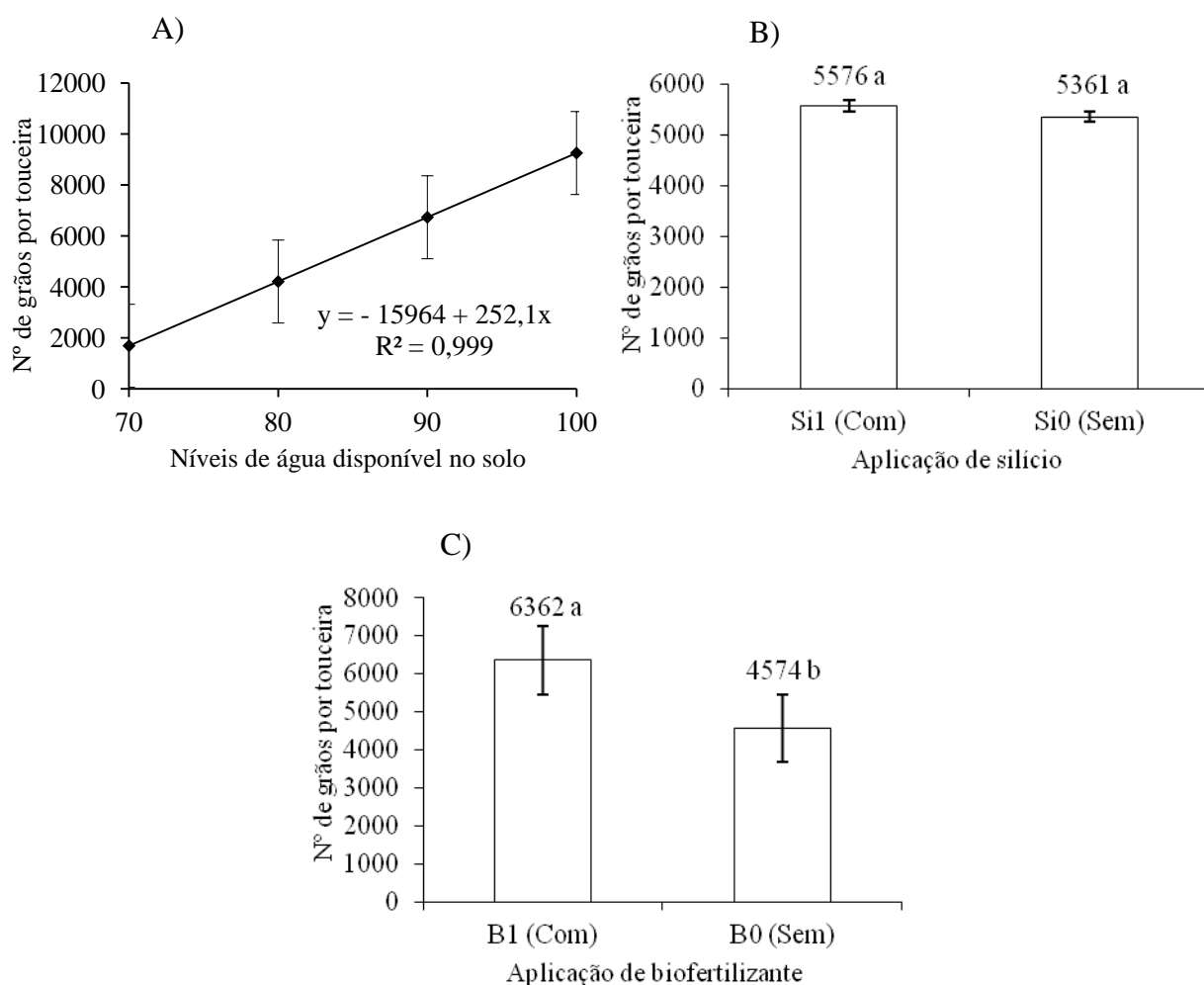
#### 4.3.4. Número de grãos por touceira

A equação de regressão ajustada aos dados experimentais do número de grãos por touceira em relação os níveis de água no solo foi afetado significativamente (Tabela 1). Nota-se que o número de grãos por touceira aumentou linearmente com o incremento da disponibilidade hídrica no solo, evidenciando acréscimo de 252,14 grãos em cada aumento unitário da lâmina de irrigação, onde na lâmina máxima (100% AD) foi encontrado 9250 grãos por touceira e na menor (70% AD) 1686 grãos, com diferença de 448% entre os valores observados (Figura 9A). Vale

ressaltar que a reposição de água e nutrientes é essencial para o desenvolvimento adequado da planta e obtenção de produtividade satisfatória, na quantidade ideal e no momento oportuno (NANETTI et al., 2000).

Vê-se na Figura 9B, que as plantas de arroz vermelho submetidas à aplicação de silício não diferiram estatisticamente das plantas que não receberam a aplicação do mesmo. O silício por amenizar o efeito do déficit hídrico nas plantas é considerado por alguns pesquisadores um nutriente que possibilita à cultura do arroz aumento no número de folhas, massa seca de plantas e número de espaguetes por panícula, melhor formação e qualidade da casca de grãos, maior altura de plantas e maior teor de acúmulo na parte aérea da planta (LOPES 1997; KORNDÖRFER et al., 1999; GONG et al., 2003; BITTENCOURT et al., 2004; TOKURA et al., 2007).

Quanto ao uso do biofertilizante, verificou-se um acréscimo de 39,09% no número de grãos por touceira com sua aplicação, resultando assim em efeito significativo (Figura 9C). Ressalte-se, que o manejo sustentável do fertilizante orgânico aplicado em plantas de arroz vermelho pode está associado ao teor de fósforo e de nitrogênio presentes no produto (Tabela 3), melhorando as características do solo, que possibilitará melhoria na produção da cultura do arroz, com bases nas teorias de Santos (1992), Mielniczuk (1999) e Damatto Júnior et al. (2000).



**Figura 9.** Número de grãos por touceira em resposta a lâminas de água (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

#### 4.4. Fitomassa

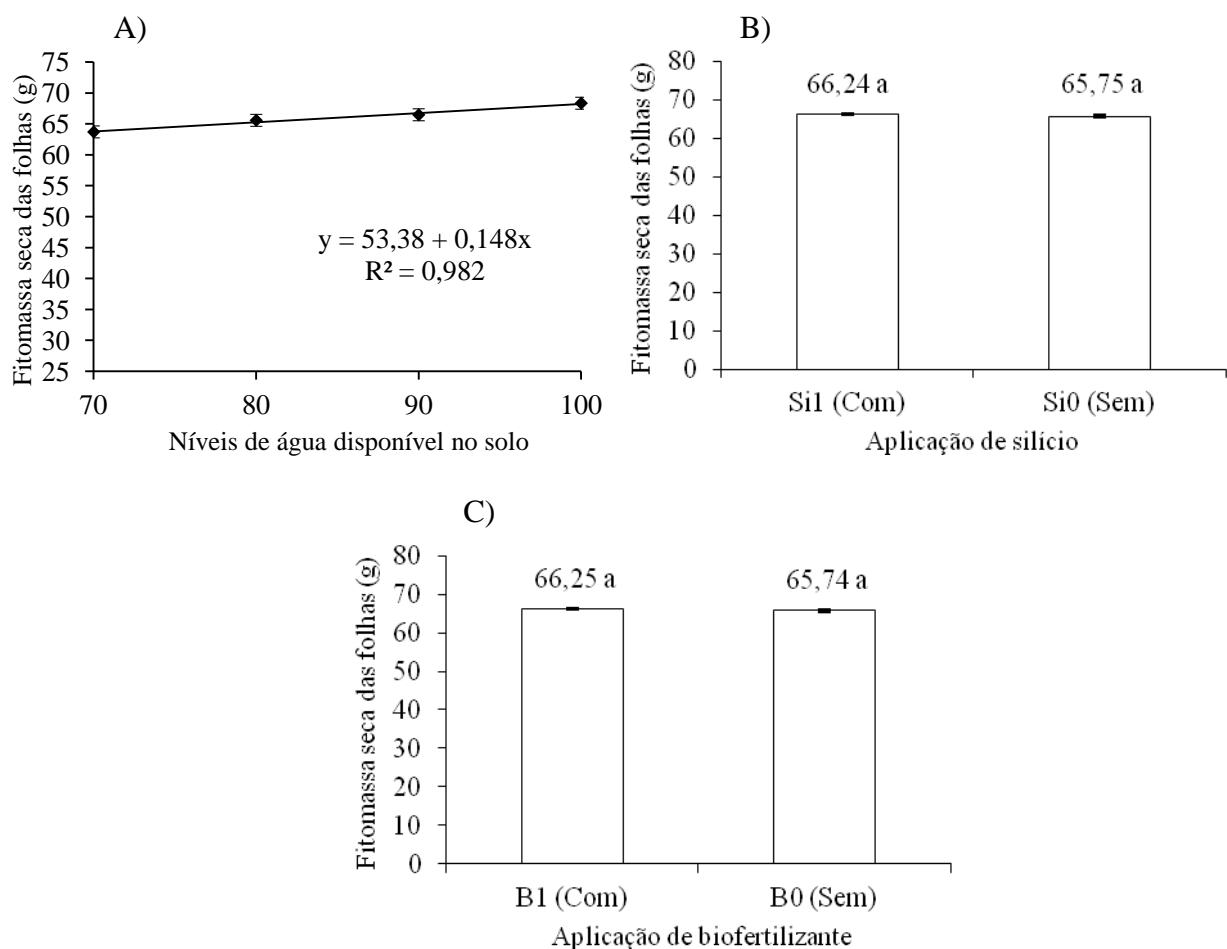
##### 4.4.1. Fitomassa seca das folhas

A variável fitomassa seca das folhas teve comportamento linear crescente quando aumentou a lâmina de irrigação aplicada, encontrando-se valor máximo de matéria seca de 67,32 g planta<sup>-1</sup> na lâmina de 100% da disponibilidade de água, verificando-se um incremento de 7,3%, onde esse acréscimo foi de 0,148 por aumento unitário da lâmina de irrigação (Figura 10A). Tais resultados não corroboram os resultados encontrados por Poustiniet al. (2007), onde revelaram diminuição de matéria seca de folhas e colmo em plantas de trigo, com a imposição de déficit hídrico.

A dose de silício aplicada nos tratamentos de arroz vermelho não aumentou significativamente a produção de fitomassa seca das folhas, mas proporcionou aumento de 0,74% em relação aos tratamentos de plantas que não receberam aplicação de silício (Figura 10B). A fitomassa seca da parte aérea do arroz vermelho cultivado com e sem silício foi

semelhante à obtida por Carvalho et al. (2009). Ainda, Lima et al. (2011) ao realizar aplicação foliar de silicato de sódio nas culturas do feijoeiro e do milho também não proporcionaram alterações significativas na matéria seca das folhas e do caule. Por outro lado, Gunaset al. (2008) e Zanão Júnior et al. (2009) verificaram aumento da produção de matéria seca da parte aérea com o fornecimento de silício em girassol e em arroz, respectivamente.

Quanto à aplicação de biofertilizante, não houve diferença na fitomassa das folhas entre as plantas com ou sem (Figura 10C). Valores semelhantes aos descritos foram encontrados por Diniz (2011) ao estudar doses e tipos de biofertilizante sobre o crescimento vegetativo do consórcio milho x feijão Macassar.



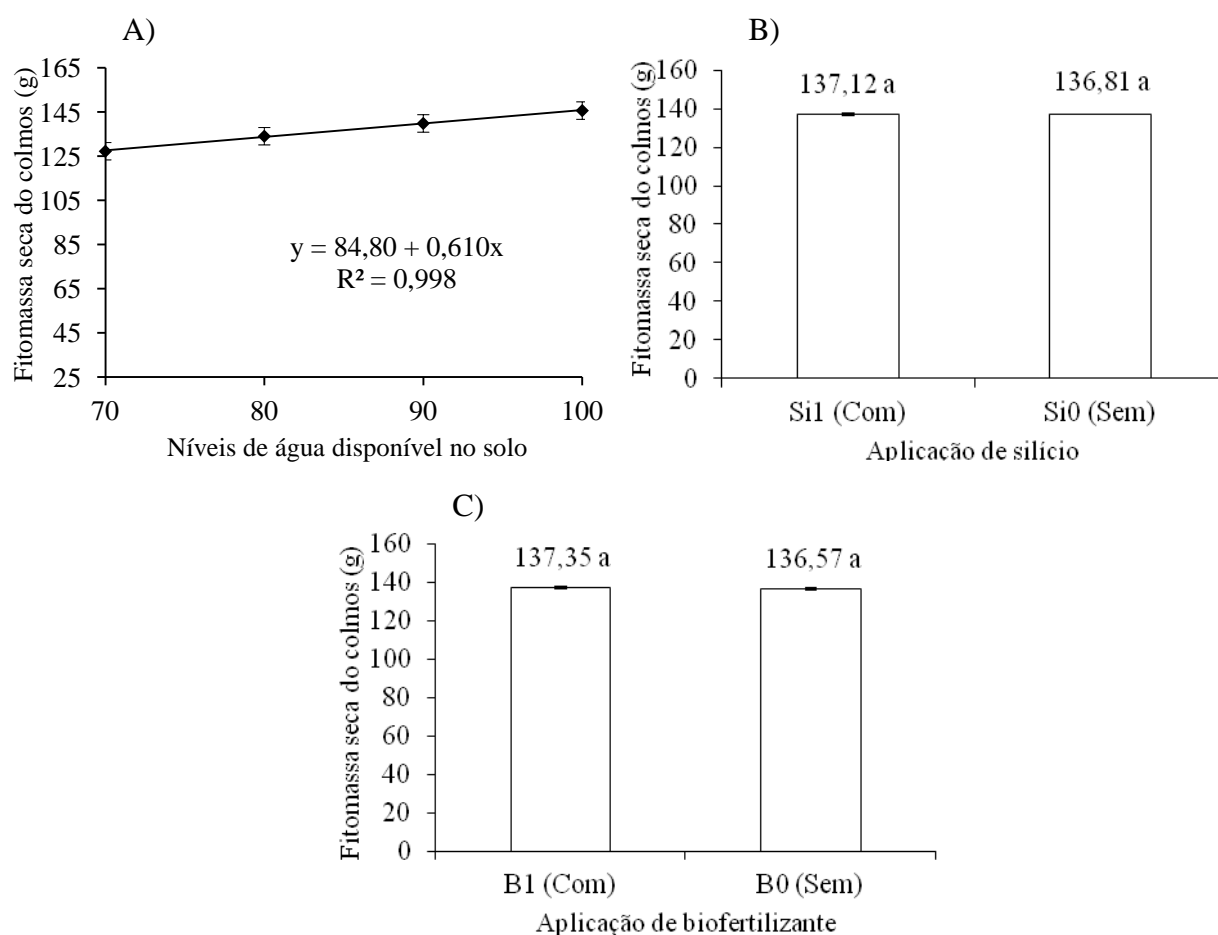
**Figura 10.** Fitomassa seca da folha sob diferentes lâminas de água (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

#### 4.4.2. Fitomassa seca do colmo

Observa-se na Figura 11A, tendência linear para a fitomassa seca do colmo do arroz vermelho sob os níveis crescentes de água no solo, constatando-se valores superiores na lâmina

de 100% AD com  $145,67 \text{ g planta}^{-1}$ , verificando-se incremento de 14,4% em relação à menor disponibilidade hídrica (Figura 11A). Valores inferiores aos encontrados foram observados por Cerqueira (2009), avaliando cultivares de arroz (Jatobá e Catetão) sob condição de estresse hídrico, onde notaram decréscimo no acúmulo de massa seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSR) e total (MST) das cultivares estudadas.

Em relação a aplicação de silício e biofertilizante nota-se comportamento semelhante tanto nas plantas com os tratamentos como nas testemunhas (Figura 11 B e C). Valores divergentes foram encontrados por Moreira et al. (2010), constatando-se acréscimo na fitomassa seca da soja ao realizar aplicação de silício foliar. Por outro lado, destaque-se que os biofertilizantes contribuem para melhoria da estrutura e aeração do solo, elevando o potencial de fertilidade, que resulta em plantas nutricionalmente mais equilibradas (SANTOS e SAMPAIO, 1993; SANTOS e AKIBA, 1996).



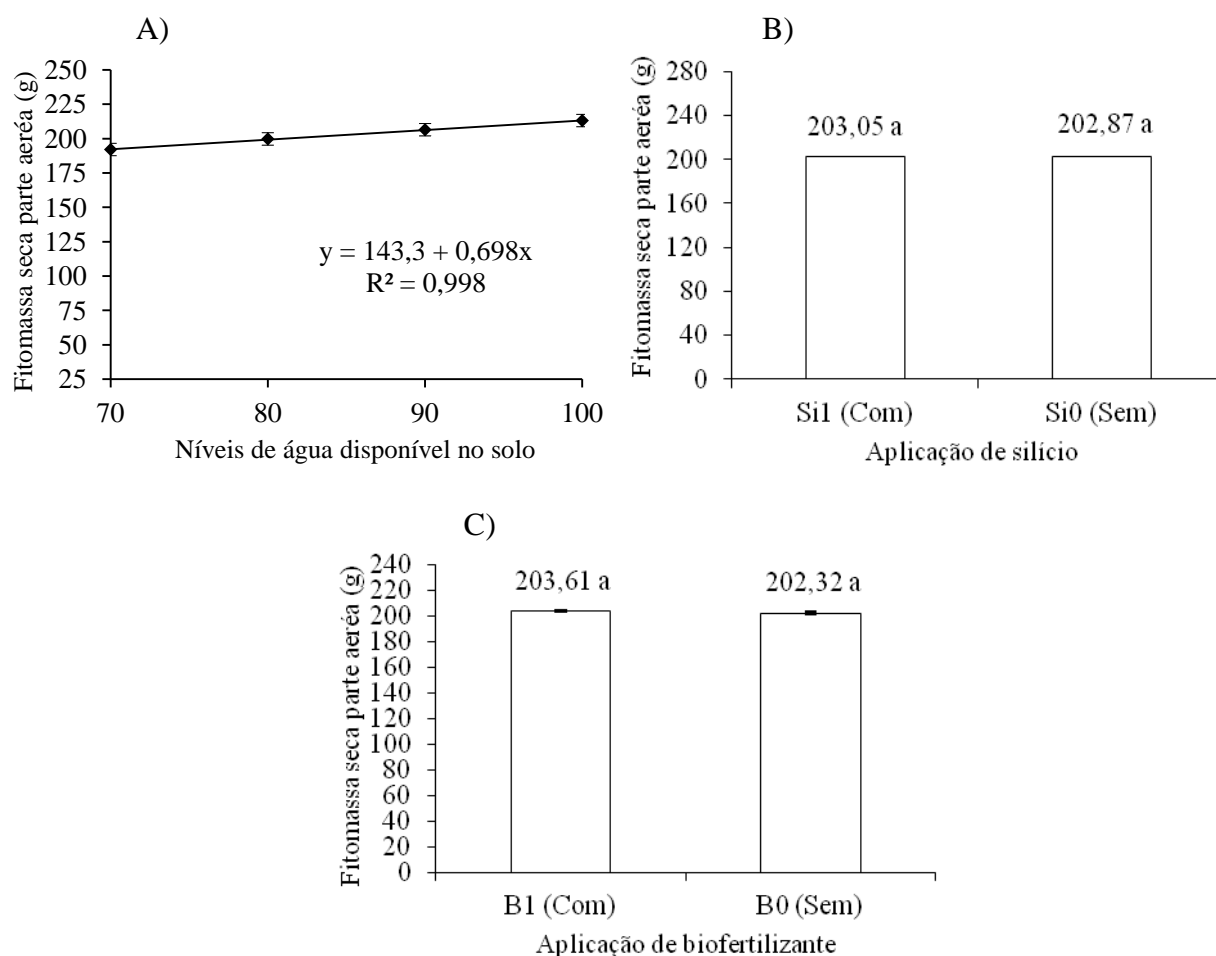
**Figura 11.** Fitomassa seca do colmo, considerando a quantidade água utilizada (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

#### 4.4.3. Fitomassa seca da parte aérea

A fitomassa seca da parte aérea (FSPA) do arroz vermelho foi significativamente influenciada pelos níveis de água no solo, com comportamento linear crescente e valores superiores na lâmina máxima (100% AD), verificando-se incremento de 11% em relação aos resultados observados na menor lâmina (Figura 12A). Balbinot et al. (2001) encontraram valores inferiores aos destacados ao analisar cultivares de arroz por irrigação e competitividade com as plantas daninhas. Da mesma forma, Andreset et al. (2007) encontraram resultados semelhantes ao pesquisar o desempenho do arroz BRS pelota e controle de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) a quatro épocas de reposição de água.

O tratamento com a aplicação de silício (S<sub>1</sub>) não influenciou significativamente a fitomassa seca da parte aérea do arroz (Figura 12B). Comportamento semelhante do silício foi obtido com a aplicação do biofertilizante.

A perda de água através dos estômatos é inevitável para a absorção de CO<sub>2</sub> pelas plantas, sendo o controle estomático das trocas gasosas essencial em condição de baixa disponibilidade hídrica. A aplicação de Si tem causado aumento da tolerância ao déficit hídrico (MA et al., 2004). Assim, a suplementação com Si reduziu a depressão do potencial hídrico ao meio-dia, impedindo a transpiração excessiva devido ao acúmulo de sílica na epiderme das folhas. Como consequência, houve maior produção de fitomassa seca (MATOH et al., 1991). No entanto, Agarie et al. (1998) verificaram que a redução da transpiração pelo Si foi atribuída a uma diminuição da transpiração pelo fechamento estomático e concluíram que o Si afetou a condutância estomática em arroz por prevenir fisicamente a perda de água em torno dos estômatos, alterando as propriedades físicas das paredes das guarda células. No entanto, Moreira et al. (2010) verificaram que a aplicação de silício proporcionou um incremento da fitomassa seca da parte aérea, analisando a resposta da cultura de soja aplicando silício foliar.



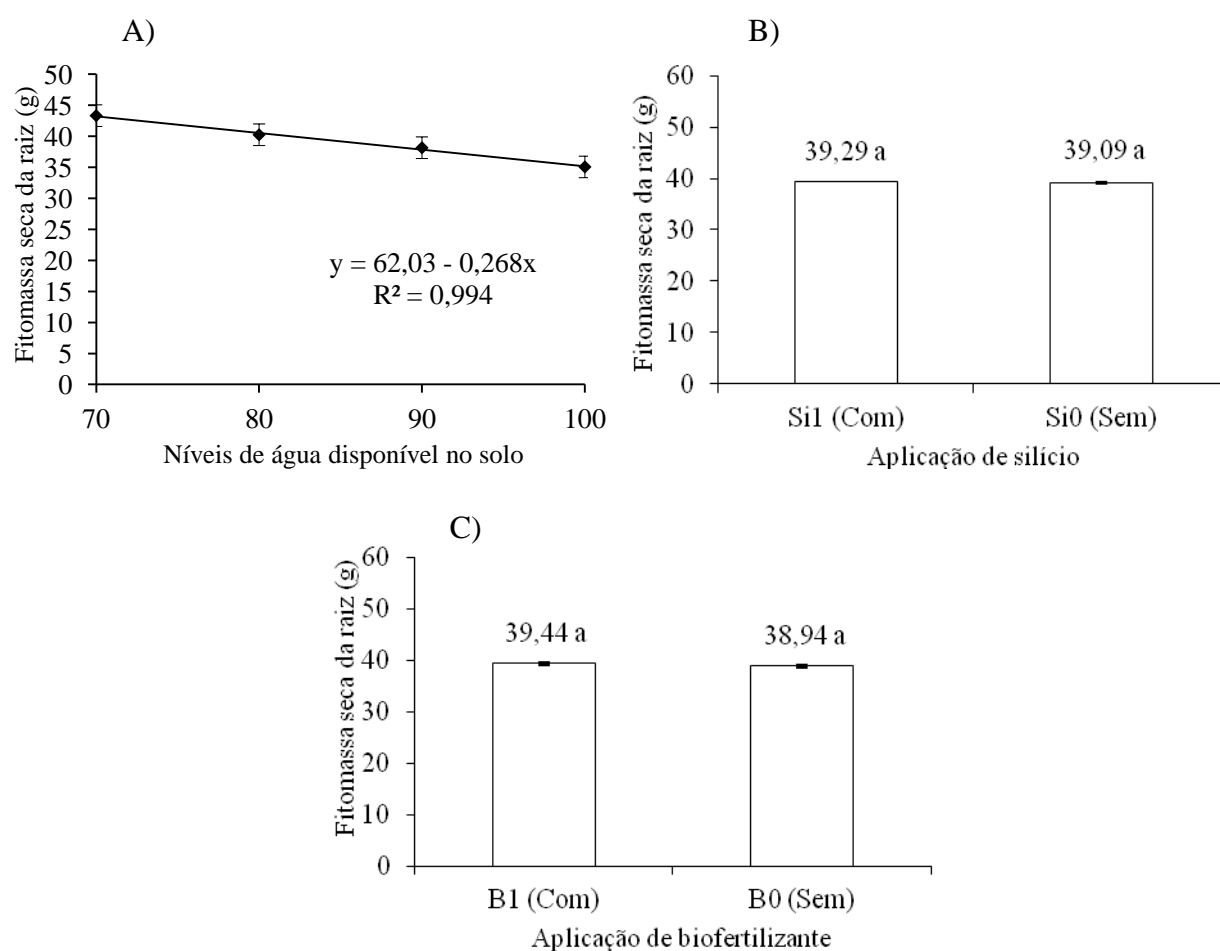
**Figura 12.** Fitomassa seca da parte aérea em função das lâminas de água (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

#### 4.4.4. Fitomassa seca da raiz

Pode-se observar, na Figura 13A, que, na medida em que se aumentou os níveis de água no solo ocorreu um decréscimo na fitomassa seca da raiz do arroz vermelho, chegando a ter redução de 23,5% na maior quantidade de água aplicada no solo. Destaque-se que plantas sob condições inadequadas de fornecimento de água apresentam menor produção de massa seca quando comparadas com aquelas mantidas a elevados potenciais de água no solo. Assim, com o déficit hídrico há fechamento dos estômatos e consequente diminuição da fotossíntese. Como a redução da fotossíntese é mais rápida que a redução da taxa respiratória, há uma consequente diminuição na produção de massa seca (ENDRES et al., 2010). De maneira geral e segundo Rodrigues e Urchei (1994) para que o desenvolvimento das espécies vegetais ocorra de modo satisfatório, ou seja, para que a acumulação de massa seca decorrente da síntese de carboidratos se processe de maneira eficiente, os fatores água e luz são essenciais, evidenciando a importância da irrigação como mecanismo de suprir prováveis deficiências hídricas, durante o ciclo

fenológico das culturas. Os resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2012), estudando cultivares do trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, onde observaram redução da matéria seca em função do déficit de água.

Quanto aos fatores de estudo silício e biofertilizante, nota-se que não houve efeito significativo dos fatores na variável (Figura 13B). Silva e Bohnen (2001), estudando a aplicação de silício no alface e no arroz, respectivamente. Marchner (1995) corrobora os resultados encontrados na presente pesquisa, pois concluiu que a absorção e distribuição radial de silício por meio das raízes da soja para os vasos do xilema são mais restritas a altas concentrações de silício, indicando um mecanismo efetivo de exclusão. Pereira Junior et al. (2010), complementam que no caso da soja, sendo considerada uma planta intermediária de acúmulo de silício, as respostas à aplicação desse elemento são também mais difíceis de serem observada, como também é o caso do arroz.



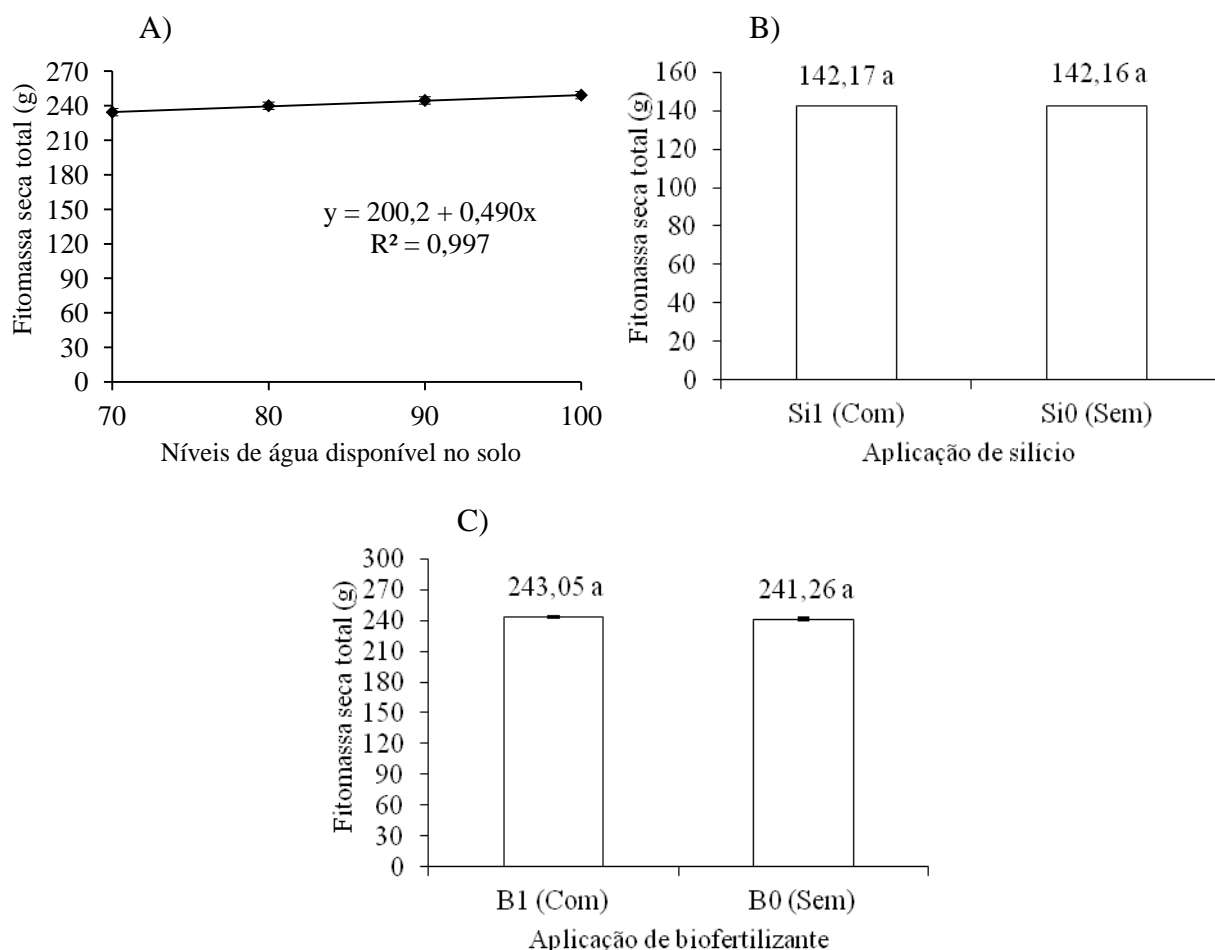
**Figura 13.** Fitomassa seca da raiz para cada lâmina de irrigação (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).



#### 4.4.5. Fitomassa seca total

Na Figura 14A observa-se tendência linear para a fitomassa seca total (FST) sob a aplicação crescente de lâminas de irrigação no arroz vermelho, percebendo-se melhores valores na maior reposição hídrica, evidenciando acréscimo de 0,490g de fitomassa seca total por aumento dos níveis de água no solo (Figura 14A). Estes resultados corroboram os observados por Andreset al. (2007). No entanto, em condições de estresse hídrico o maior acúmulo de fitomassa seca foliar e caulinar são fatores importantes, pois este incremento de carboidratos e energia serão disponibilizados para o desenvolvimento da cultura. (CAIXETA et al., 2010).

Para a aplicação de silício e biofertilizante não foi observado diferença significativa, (Figura 14 B e C). A ausência de resposta significativa na cultura do arroz vermelho pode ter sido causada pela baixa dose de silicato de sódio utilizada.



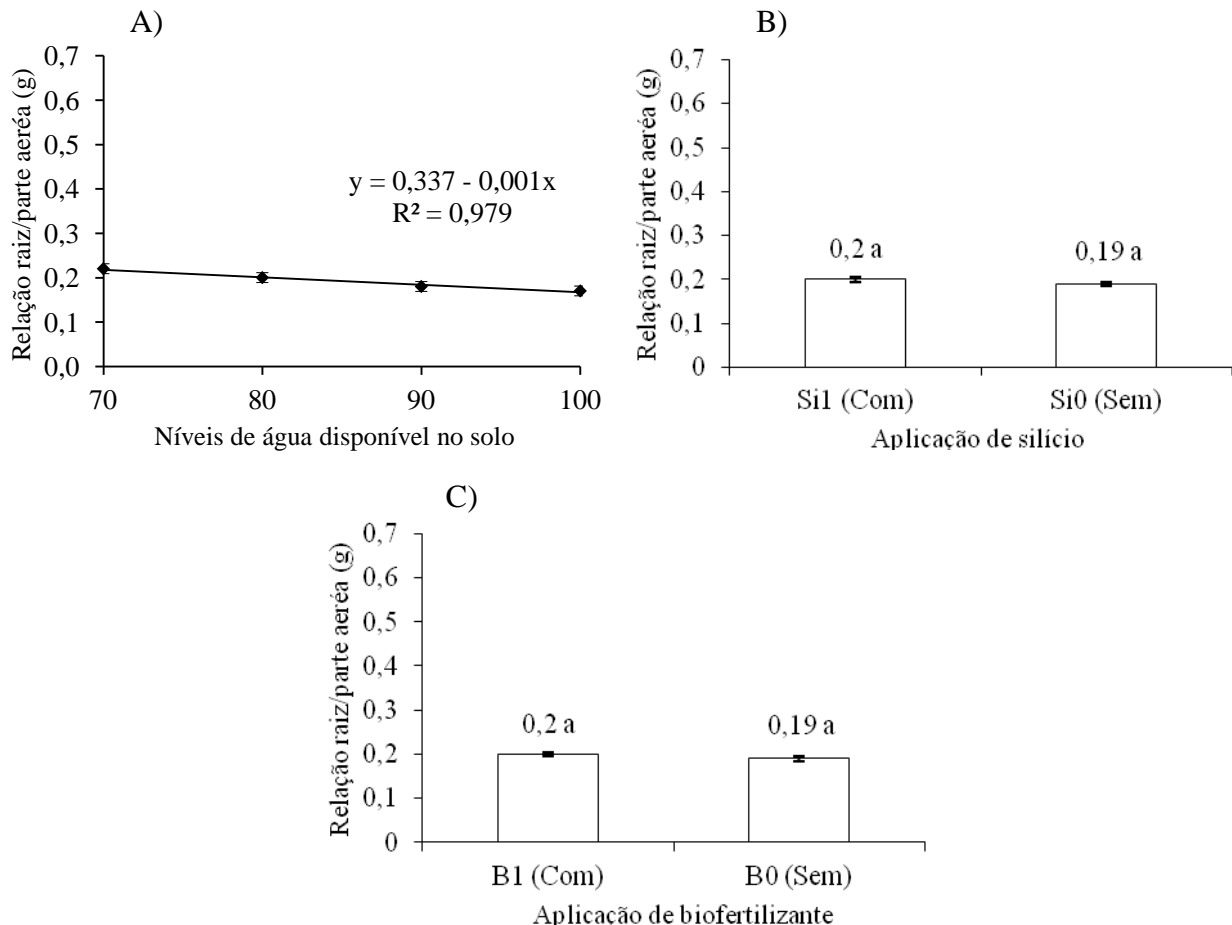
**Figura 14.** Fitomassa seca total sob lâminas de água (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

#### 4.4.6. Relação raiz parte aérea (R/PA)

A relação raiz parte aérea (R/PA) foi reduzida significativamente com o aumento dos níveis de água disponíveis no solo, na cultura do arroz vermelho, com diminuição de 0,001 em cada aumento unitário de água, apresentando redução de 29% na maior lâmina de água (Figura 15A). Resultados diferentes foram observados por Abichequer (2004), ao estudar a morfologia e distribuição de raízes de arroz irrigado por inundação e sua relação com a absorção de nutrientes e o rendimento de grãos.

A aplicação de silício não proporcionou efeito significativo na relação raiz parte aérea do arroz (Figura 15B), isso se deu provavelmente devido à baixa concentração aplicada desse nutriente. O silício, apesar de não ser um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento de plantas, tem sido aplicado visando, principalmente, a aumentar a resistência da planta a doenças (FENG, 2004), influenciando também os fatores abióticos como estresse salino, toxicidade a metais e, principalmente, a falta de água. Esses efeitos benéficos são atribuídos à alta acumulação de sílica nos tecidos da planta.

O uso do biofertilizante também não provocou efeito significativo (Figura 15C) nos tratamentos em que o mesmo foi aplicado.



**Figura 15.** Relação raiz/parte aérea em função das lâminas de irrigação (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

#### **4.5. Análise Bioquímica do Arroz Vermelho**

A análise estatística das variáveis bioquímicas do arroz vermelho (Tabela 6), aos 180 dias após a semeadura (DAS), revelou significância estatística dos níveis de água disponíveis no solo (AD), silício e biofertilizante ao nível de 0,01 de probabilidade, pelo teste F, sobre a prolina, glicina-beta e trealose. Para todas as variáveis estudadas, as interações não apresentaram significância estatística, indicando que os níveis de água se comportaram de maneira semelhante dentro das formas de aplicação do silício e biofertilizante e vice-versa. Os coeficientes de variação ficaram entre 1,38 e 10,58, sendo baixo e médio, respectivamente, em se tratando de ensaios em nível de campo, conforme Pimentel Gomes (1990).

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância das análises bioquímica da cultura do arroz vermelho dos fatores envolvidos no experimento em ambiente protegido.

| F.V.                | G.L. | QUADRADOS MÉDIOS                   |                                   |                                  |
|---------------------|------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|                     |      | Prolina (mmol. g <sup>-1</sup> MF) | Glicina (mmol.g <sup>-1</sup> MF) | Trealose (mg.g <sup>-1</sup> MF) |
| Lâminas (L)         | 3    | 0,296**                            | 125,216**                         | 0,130**                          |
| Regr.de 1º Grau     | 1    | 0,850**                            | 0,572 <sup>ns</sup>               | 0,376**                          |
| Regr.de 2º Grau     | 1    | 0,022**                            | 185,334**                         | 0,008 <sup>ns</sup>              |
| Desvio de Regr.     | 1    | 0,016                              | 189,743                           | 0,006                            |
| Silício (Si)        | 1    | 0,348**                            | 3217,867**                        | 0,960**                          |
| Biofertilizante (B) | 1    | 1,000**                            | 130,902**                         | 0,286**                          |
| Inter. (L x Si)     | 3    | 0,254 <sup>ns</sup>                | 602,924 <sup>ns</sup>             | 0,125 <sup>ns</sup>              |
| Inter. (L x B)      | 3    | 0,002 <sup>ns</sup>                | 151,755 <sup>ns</sup>             | 0,051 <sup>ns</sup>              |
| Inter. (Si x B)     | 1    | 0,409 <sup>ns</sup>                | 824,766 <sup>ns</sup>             | 0,372 <sup>ns</sup>              |
| Inter. (L x Si x B) | 3    | 0,011 <sup>ns</sup>                | 335,015 <sup>ns</sup>             | 0,026 <sup>ns</sup>              |
| Resíduo             | 48   | 0,002                              | 0,687                             | 0,004                            |
| CV (%)              |      | 10,58                              | 1,38                              | 4,39                             |

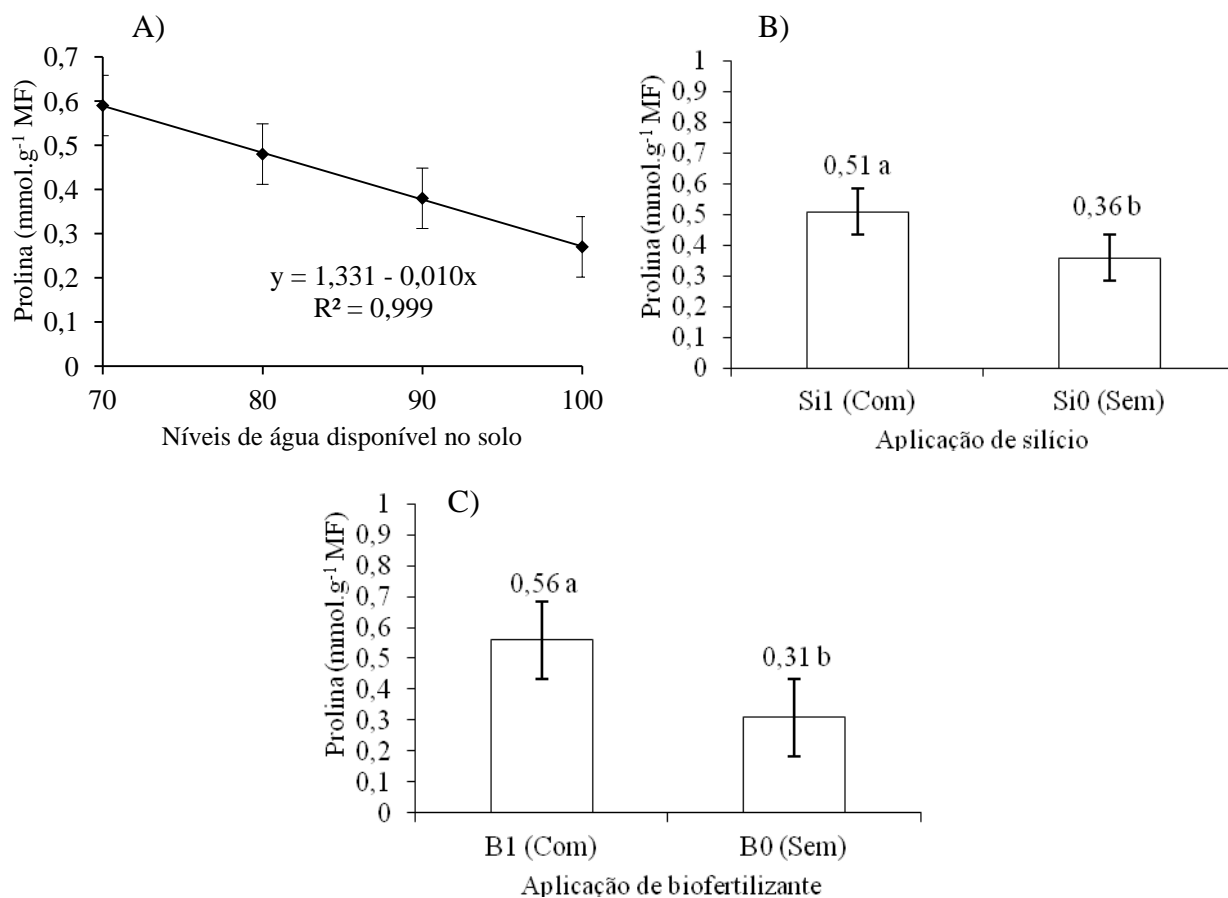
\*\* e \* significados aos níveis de 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey, respectivamente. AD= água disponível, GL=grau de liberdade, NS=não significativo e CV= coeficiente de variação.

#### 4.5.1. Prolina

Pode-se observar na Figura 16A, a intensificação do nível de prolina quando se aplicou a menor lâmina de irrigação N<sub>1</sub> (70%), ou seja, quando o arroz passou por um déficit hídrico maior, apresentando desta forma um efeito significativo no arroz vermelho em função dos níveis de água no solo (AD), resultando no acúmulo deste soluto (o aminoácido prolina), o que constata-se sua função osmoprotetora, mantendo assim o equilíbrio hídrico do arroz e preservando a integridade celular de proteínas, enzimas e membranas, constituindo-se uma das estratégias adaptativas dos vegetais aos múltiplos efeitos causados pelos estresses, de acordo com Abduljaleel et al. (2007). Nota-se, ainda, que houve uma diminuição no mmol. g<sup>-1</sup> MF de prolina a medida em que se aumentava o nível de água no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Rheinet al. (2011), estudando a atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana-de-açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo, em que se obteve um aumento da prolina na medida em que se diminuía a disponibilidade hídrica.

Os tratamentos que receberam a aplicação de silício e biofertilizante também causaram aumento dos teores de prolina livre no arroz vermelho (Figura 16B e C), resultando em efeito significativo a 0, 01 de probabilidade pelo teste de tukey. Resultados significativos de prolina em função da aplicação de silício também foram encontrados por Mauad (2006), avaliando o

desenvolvimento e marcha de absorção de silício em plantas de arroz sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada.

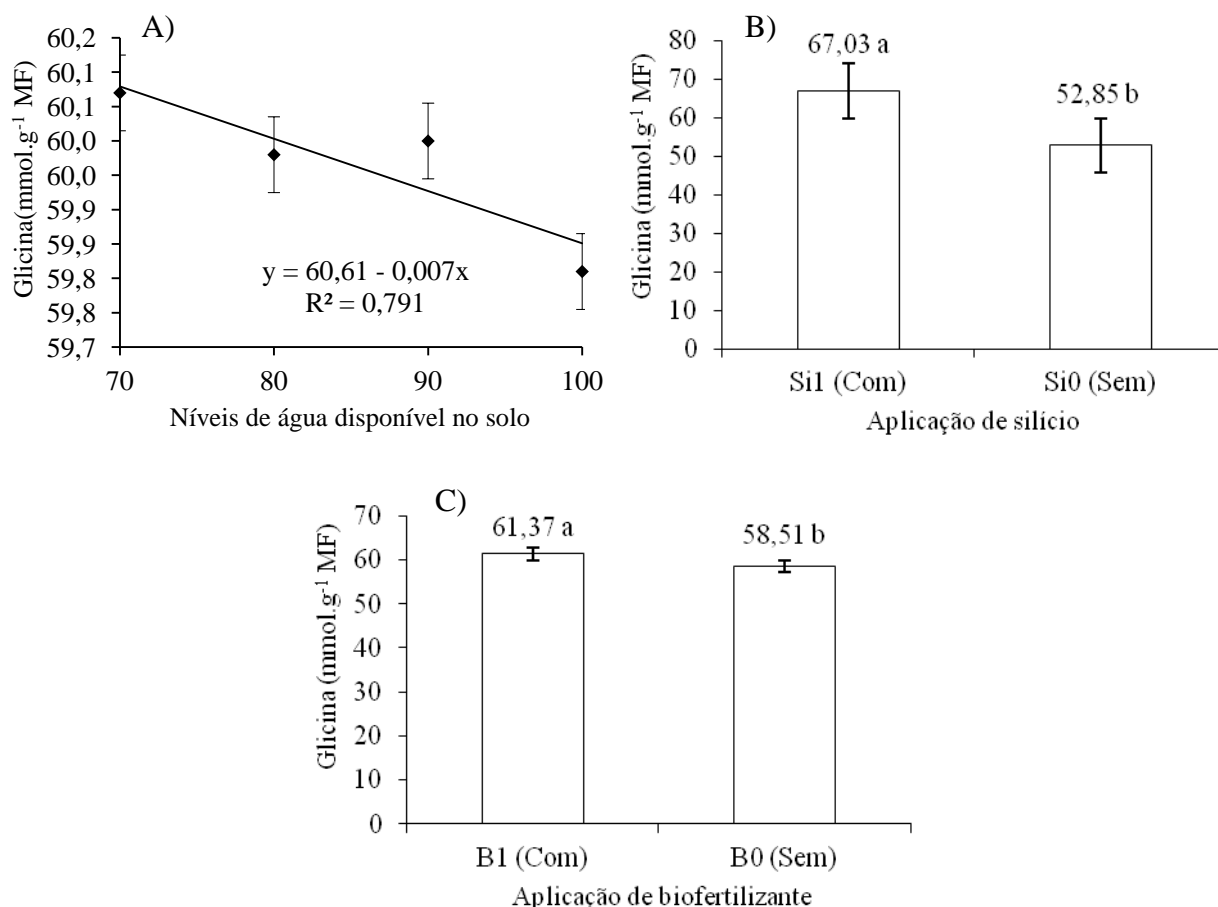


**Figura 16.** Prolina em função dos níveis de água disponível no solo (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

#### 4.5.2. Glicina betaina

Em relação à atividade da glicina betaína no arroz vermelho, observou-se um acúmulo de 0,43% deste osmoprotetor em função dos níveis de água no solo, ocorrendo uma diminuição deste aminoácido a partir do aumento destes níveis (Figura 17A), ou seja, maior incidência deste aminoácido com o aumento da restrição hídrica. Os resultados da presente pesquisa diferem das avaliações feitas por Carlin e Santos (2009), analisando a glicina betaína nas folhas da cana-de-açúcar em função da deficiência hídrica, estudando os indicadores fisiológicos da interação entre deficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. Esses resultados são uma indicação de que a glicina betaína contribui para o ajuste osmótico em plantas de arroz vermelho, sob o efeito do aumento da restrição hídrica. Nos tratamentos em que houve a aplicação de silício e biofertilizante, também ocorreu um aumento nos teores de glicina betaína, resultando em efeito significativo em ambos os fatores (Figura 17B e C).

A glicina betaína protege as membranas dos tilacóides, o que mantém a eficiência fotoquímica na fotossíntese (ASHRAF e FOOLAD, 2007).

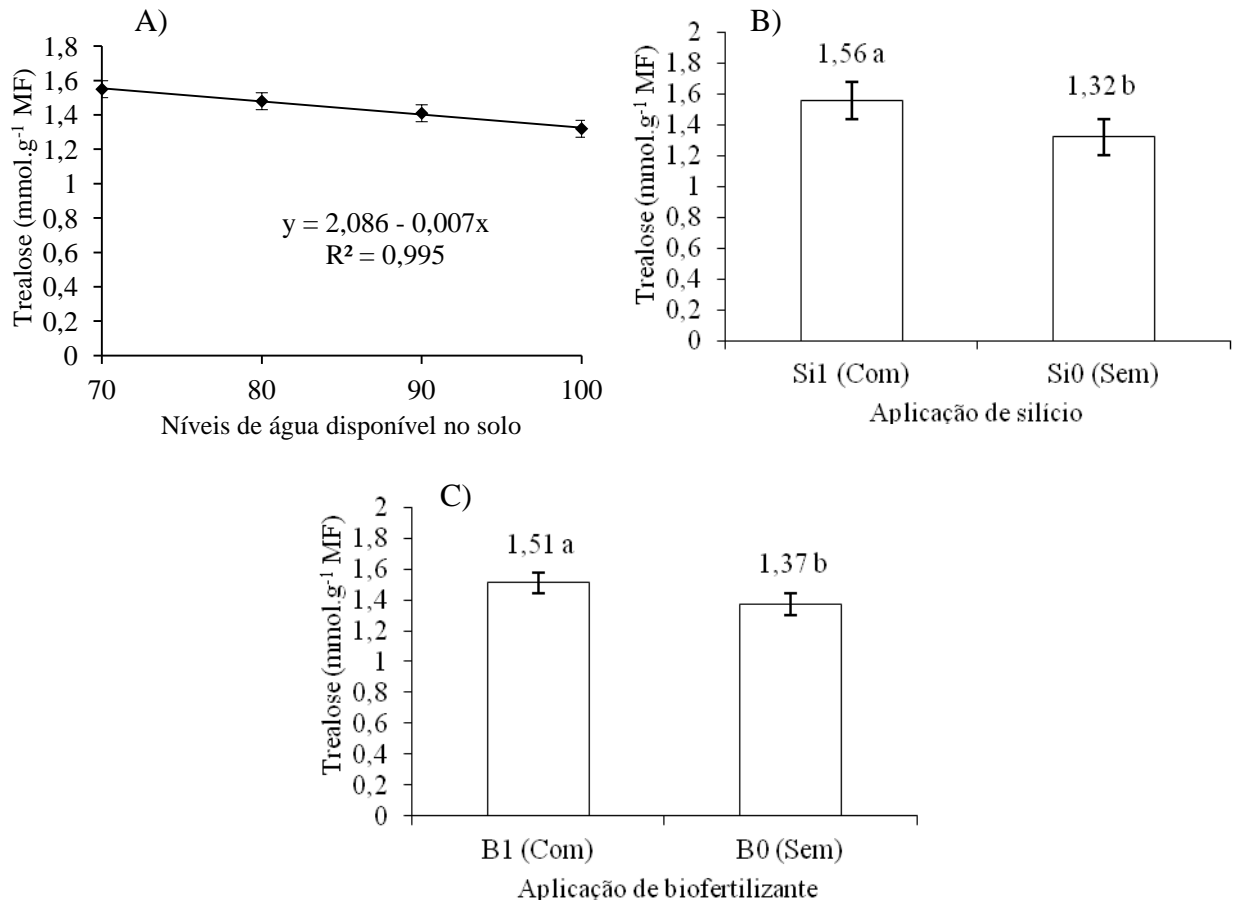


**Figura 17.** Glicina betaina em função dos níveis de água disponível no solo (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

#### 4.5.3. Trealose

Em função dos níveis de água no solo, o arroz mostrou capacidade para o acúmulo da trealose, ocorrendo uma diminuição deste aminoácido a medida que aumentou os níveis, sendo possível observar um maior acúmulo do osmólito no menor nível de água (70%), obtendo efeito significativo para o fator estudado na cultura do arroz vermelho. A trealose protege membranas e proteínas por conferir resistência à dessecação em células com deficiência hídrica (EL-BASHITI et al., 2005). Queiroz (2006) verificou acentuado acúmulo de trealose (61,4%) na mesma cultivar de cana-de-açúcar, quando submetida à deficiência hídrica, e o grau de resistência à seca desta planta foi correlacionado à quantidade de trealose acumulada nos tecidos. Outras cultivares de gramíneas resistentes à seca apresentam maior acúmulo de trealose conforme o aumento da deficiência hídrica no solo (GARG et al., 2002; EL-BASHITI et al., 2005).

E em relação aos tratamentos em que foram aplicados silício e biofertilizante também foi observado efeito significativo do aminoácido referido acima no arroz vermelho.



**Figura 18.** Trealose em função dos níveis de água disponível no solo (A), aplicação de silício (B) e biofertilizante (C).

## 5. CONCLUSÕES

- 1- Com exceção do número de espaguetes por planta e do número de grãos por espaguetes, as variáveis de crescimento e produção do arroz vermelho foram superiores com o aumento dos níveis de água no solo;
- 2- As aplicações de silício e biofertilizante proporcionaram maior crescimento e produção no arroz vermelho;
- 3- A adubação orgânico-mineral aumentou as concentrações dos osmólitos prolina, glicina-betaína e trealose do arroz;
- 4- O déficit hídrico no arroz vermelho aumenta a concentração dos osmoreguladores ativando assim a proteção contra danos celulares.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL JALEEL, C.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; et al. Alterations in osmoregulations, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p.150-157, 2007.

ABICHERQUER, A. D. **Morfologia e distribuição de raízes de arroz irrigado por inundação e sua relação com a absorção de nutrientes e o rendimento de grãos**. Tese de Doutorado em Ciência do Solo (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul). 56p. julho, 2004.

AGARIE, S., UCHIDA, H., AGATA, W., KUBOTA, F., KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, Tokyo, v.1, n.2, p.89-95, 1998.

ALBUQUERQUE, P.E.P. Estratégia de manejo de irrigação: exemplos de cálculos. Sete Lagoas, Embrapa. **Circular Técnica 136**. 25p. 2010

ALCARDE, A. R.; BASSO, L. S. Efeito da trealose na manutenção da viabilidade de células de leveduras desidratadas por liofilização. **Scientia Agricola**. V. 54, n 3, Piracicaba, 1997.

ALMEIDA, A. M.; CARDOSO, L. A.; SANTOS, D. M.; TORNÉ, J. M.; FEVEREIRO, P. S. Trehalose and its applications in plant biotechnology. **In vitro cellular & developmental biology**. Plant / Society for In Vitro Biology, Oxon, v. 43, p.167–177, 2007.

ALVARENGA, I.C.A.; QUEIROZ, G.A.; HONÓRIO, I.C.G; et al. Prolina livre em alecrim-pimenta sob estresse hídrico antes da colheita. **Revista brasileira de plantas medicinais**. vol.13 no.spe Botucatu 2011.

ALVES, G. S., SANTOS D., SILVA; J. A., NASCIMENTO J. A. M., CAVALCANTE L. F., DANTAS T. A. G. Estado nutricional do pimentão cultivado em solo tratado com diferentes tipos de biofertilizantes. **Acta Scientiarum. Agronomy** Maringá, v. 31, n. 4, p. 661-665, 2009.

ANDRADE, F.M.C.; CASALI, V.W.D. **Plantas medicinais e aromáticas**: relação com o ambiente, colheita e metabolismo secundário. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, 1999.

ANDRES, A.; FREITAS, G.D.; CONCENÇO, G. et al. Desempenho do cultivar de arroz BRS pelota e controle de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) submetidos a quatro épocas de entrada d'água após aplicação de doses reduzidas de herbicidas. **Plantadaninha** vol.25 no.4 Viçosa Oct./Dec. 2007.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, p.206-216, 2007.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; BRUNINI, O. Mudanças climáticas: o aquecimento global e a agricultura. Reportagens - Com Ciência, 2002.

BALBINOT JR., A.A.; FLECK, N.G.; AGOSTINETTO, D. et al. Velocidade de emergência e crescimento inicial de cultivares de arroz irrigado influenciando a competitividade com as plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.19, n.3, p.305-316, 2001.

BARBOSA FILHO, M.P. et al. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FÉRBIO, 23., 1998, Caxambu. **Anais...** LAVRAS: UFLA/SBCS/SBM, 1998.

BATES, L.S.; Waldren, R.P., Teare, I.D. **Rapid determination of free proline for waterstressstudies**. Plant and Soil, v.39, p.205-207, 1973.

BIDOIA, M. A. P. **Desenvolvimento inicial e acúmulo de prolina livre em cultivares de cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica do solo**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2006.

BITTENCOURT, M. F. et al. Concentração de silício e pH do solo afetados pela incubação de diferentes fontes silicatadas no solo: In: **SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA**, 3., 2004, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: GPSI/ICIAG/UFU, 2004. 1 CD-ROM.

BOTELHO, D. M. S.; POZZA, E. A.; POZZA A. A.; et al.; Intensidade da cercoporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatol.Bras.** V. 30, n. 6, novembro/dezembro de 2005.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**, Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1158-1203.

CAIXETA, D. F.; FAGAN, E. B.; de LIMA, C. P., et al. Crescimento da plântula de milho à aplicação de inseticidas na semente sob diferentes disponibilidades hídricas. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.17, n.1, p. 78-87. 2010

CARLIN, S. D. e SANTOS, D. M. M. dos. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária. brasileira.**, Brasília, v.44, n.9, p.1106-1113, set. 2009.

CARVALHO, J. G. Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de Escória de Siderurgia como fonte de silício. 2000. 114f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CARVALHO, M. P.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. **Ciência Rural**, v.39, p.2394-2399, 2009.

CEINFO. Centro de Informações Tecnológicas e Comerciais para Fruticultura Tropical. Banco de dados pluviométricos e pedológicos do Nordeste. Disponível em: [HTTP://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br](http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br). Acesso em: 10 fev. 2013.

CERQUEIRA, F. B. Competição Inicial entre cultivares de arroz de terras altas tolerantes à seca e *Spermacoceverticillata* sob Condição de estresse hídrico. GURUPI-TO, 2009. 93f. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Tocantins.

CHA-UM, S, SUPAIBULWATANA, K, KIRDMANEE, C, Water relation, photosynthetic ability and growth of Thai jasmine rice (*Oryza sativa* L. ssp. indica cv. KDML 105) to salt stress by application of exogenous glycinebetaine and choline. **Journal Agronomy & Crop Science**, v. 192, p. 25-36, 2006.

CROWE, L. M.; MOURADIAN, R.; CROWE, J. H.; JACKSON, S. A.; WOWOMERLEY, C. Effect of carbohydrates on membrane stability at low water activities. **Biochimica e Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 769, p. 141-150, 1984.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; RODRIGUES, R. A. F.; MACHADO, J. R. Manejo de irrigação por aspersão com base no “kc” e adubação mineral na cultura de arroz de terras altas. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p.465-475, 2003.

DAMATTO JUNIOR, E.R.; NOMURA, E. S.; SAES, L.A. Experiência com o uso de adubação orgânica em cultura da banana. In: GODOY, L. J.G.; GOMES. J. M. **tópicos sobre nutrição e adubação da banana**.Botucatu:SP. FEPAF/UNESP, 2009. 143p.

DIARRA, A., SMITH, JR.R.J., TALBERT, R.E. Growth and types. **Weed Science**, Champaign, v.33, n.3, p.310-314, 1985.

DINIZ FILHO, E.T.; MARACAJÁ, P. B.; MEDEIROS, M. A. de.; MADALENA, J. A. da S.; SOUSA, L. C. F. S. Produção de arroz vermelho utilizando práticas agroecológicas no município de Apodi/RN, **Revista verde agroecológica e desenvolvimento sustentável grupo verde de agricultura alternativa (GVAA)**, ISSN 1981-8203, v. 6. n. 4. p. 157-166. out/dez. 2011.

DOSANI, A. A. K.; TALASHILKAR, S. C.; MEHTA, V. B. Effect of organic manure applied in combination with fertilizers on the yield, quality and nutrient of groundnut. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, v. 47. p. 166-169. 1999.

EI-BASHITI, T.; HAMAMCI, H.; OKTEM, H.A; YUCEL, M. Biochemical analysis of trehalose and its metabolizing enzymes in wheat under abiotic stress conditions. **Plant Science**, Limerik, v. 169, p. 47-54, 2005.

EMBRAPA SOJA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil**, 2003. Londrina – PR, 239p. 2004.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Embrapa Solos. 306p. 2006.

ENDRES, L.; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M dos; BRITOS, J. E. D. de. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.11-16, 2010.

FENG, M. J. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **S oil Science and Plant Nutrition**. v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.

FERREIRA, C. M.; PINHEIRO, B.S, SOUSA, I. S. F e MORAIS, O. P. **Qualidade do arroz no Brasil**: Evolução e padronização. Goiânia, Embrapa Arroz e Feijão. 61p.2005.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3 ed. Maceió-AL: UFAL. 2000. 604p.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funep, 1993. 221p.

FREITAS, L. B; etal., Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres, Viçosa**, v. 58, n.2, p. 262-267, mar/abr, 2011.

GARG, A. K.; JU-KON, K.; OWENS, T. G.; RANWALA, A. P.; DO CHA, Y.; KOCHIAN, L. V.; WU, R. J. Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 99, n. 25, p. 15898-15903, 2002.

GIRIJA, C.; SMITH, B. N.; SWAMY, P. M. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Environmental and Experimental Botany**. v. 47, p. 1-10. 2002.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia, processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora Universidade. 2000. 613p.

GOMES, M. M. A. Trocas gasosas e quantificação do ácido abscísico em duas cultivares de arroz de sequeiro submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 9(3):177-183, 1997.

GOMES, C. F.; MARCHETTI, M. E.; NOVELINO, J. O. et al. Disponibilidade de silício para a cultura do arroz, em função de fontes, tempo de incubação e classes de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**., Goiânia, v. 41, n. 4, p. 531-538, out./dez. 2011

GONG, h. et al. Effects of silicon on growth of wheat under drowth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 26, n. 5, p. 1055-1063, 2003.

GRIEVE, C.M.; GRATAN, S.R. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. **Plant and Soil**, v. 70, p. 303-307, 1983.

GRIST, D. H. **Rice**.5 ed. Londres, Longman, 1978.601p.

GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.39, p.1885-1903, 2008.

HECKLER, J. C.; FIETZ, C. R. **Arroz Irrigado**. Mato Grosso do Sul: Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. 73p. (Informações Técnicas).

HONGBO, S.; ZONGSUO, L.; MINGAN, S. Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at soil water deficits. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 47, n. 2, p. 132-139, 2006.

IBGE: Instituto de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário** 1995-2004. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

JALALUDDIN, M. & PRICE, M. Photosynthesis and stomatal conductance as affected by drought stress. *International Rice Research Notes (IRRI)*, 19(3):52-53, 1994.

KAMIMURA, K. M.; ALVES, M. C.; ARF, O.; BINOTTI, F. F. S. Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho sob Cultivo do Arroz de Terras Altas em Diferentes Manejos do Solo e Água. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.723-731, 2009.

KAVI KISHOR, P. B.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; SRI LAXMI, P.; NAIDU, K. R.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v. 88, n. 3, p. 424-438, 2005.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORREA, G.F. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciênciado Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 635-641, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura. 3.ed. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 28 p. (**Boletim Técnico**, 1).

KRAMER, P. J. e BOYER, J. S. Water relations of plants and soils. San Diego, Academic Press, 1995. 495p.

LIMA FILHO, O. F. O silício na produtividade e sanidade agrícola. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/MAPA, 2005. Folheto informativo.

LIMA FILHO, O. F. Silício: combate estresses nutricionais. **Revista Campo & Negócios**, v. 4, n. 41, p. 25-27, jul. 2006.

LIMA, M. A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B.; ENÉAS-FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.398-403, 2011.

LOPES, M. S. Relações entre o pH e a absorção de fósforo e silício em solos. 1997. 45f. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MA, J.F.; MITANI, N.; NAGAO, S.; KONISHI, S.; TAMAI, K.; IWASHITA, T.; YANO, M. Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. **Plant Physiology**, Rockville, v.136, n.9, p.3284-3289, 2004.

MACHADO, S. L. de O. Consumo e qualidade da água na lavoura de arroz irrigado e efeitos no jundiá. In: SEMINÁRIO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA LAVOURA DE ARROZ IRRIGADO, 2003, Porto Alegre. **Palestras**. Porto Alegre: FARSUL, 2003. Disponível em CD-ROM.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal**. EPU/EDUSP, São Paulo. 1979. v. 1, p. 331-350.

MARCOLIN, E. e MACEDO, V. R. M. Consumo de água em três sistemas de cultivo de arroz irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: CONIRD, 2001. p. 59-63.

MARIN, A.; SANTOS, D. M. M. ; BANZATTO, D. A. ; CODOGNOTO, L. M. Influência da disponibilidade hídrica e acidez do solo nos teores de prolina livre de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n.1, p.355-358, 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition os higherplants**. 2 ed. San Diego.Academic Press, 889 p. 1995.

MATOH, T.; MURATA, S.; TAKAHASHI, E. Effect of silicat application on photosynthesis of rice plants.Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, v. 63 n. 3, p. 248-251, 1991.

MAUAD, M. desenvolvimento e marcha de absorção de silício em plantas de arroz sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura. Botucatu-SP, Abril – 2006. 109 f.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C.; Teores de silício no solo e na planta de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, setembro/outubro de 2003.

MEDEIROS, M. B. Ação de biofertilizantes líquidos sobre a bioecologia do ácaro *Brevipalpus phoenicis*. Piracicaba: ESALQ, 110p. **Tese** (Doutoramento). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2002.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, v.7. n. 3, nov. 2006.

MEDEIROS, M.B.; WANDERLEY, P.A.; FRANKLIN, F.; FERNANDES, F.S.; ALVES, G.R.; DANTAS, P.; CORDÃO, R.P.; XAVIER, W.M.R.; LEAL NETO, J.S. Uso de biofertilizantes líquidos no manejo ecológico de pragas agrícolas. In: ENCONTRO TEMÁTICO MEIO AMBIENTE E EDUCAÇÃO AMBIENTAL DA UFPB, 2., 2003, João Pessoa. **Anais...** JoãoPessoa, 2003. P. 19-23.

MIELNICZUK, J., Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS,G.A. & CAMARGO, F.A.de O.(editores) Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999, p.1-8.

MOREIRA, A. R.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SOUZA, C. H. E. Resposta da Cultura de Soja a Aplicação de Silício Foliar.**Biosci. J.**,Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 413-423, May/June 2010.

NANETTI, D. C.; SOUZA, R. J.; FAQUIN, V. Efeito da aplicação de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, p.843-845, 2000.

NASCIMENTO, S. P.; et al. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol.15 no.8. 2011.

NEVES, M. J.; TERENCE, H. F.; LEONE, F. A.; JORGE, J. A. Quantification of trehalose in biological samples with a conidial trehalase from the thermophilic fungus *Hudicolagrisea* var. *thermoidea*. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, Oxford, v. 10, p. 17-19, 1994.

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas. **Biociência Científica e Desenvolvimento**, nº 23, p. 12, 2001.

NOLDIN, J.A., CHANDLER, J.M., McCAULEY, G.N. Red rice (*Oryza sativa*) biology. I. Characterization of red rice ecotypes. **Weed Technology**, Lawrence, v.13, n.1, p.12-18, 1999.

OLIVEIRA, I. P.; ESTRELA, M. F. C.. Biofertilizante do animal: potencial e uso. In: ENCONTRO DE TÉCNICOS EM BIODIGESTORES DO SISTEMA EMBRAPA, 1983. GOIANIA, RESUMOS... Brasília: EMBRAPA, 1984. P. 16.

OOSTERHUIS, D.; WULLSCHLEGER, S.D. Drought tolerance and osmotic adjustment of various crops in response to water stress. **Arkansas Farm Research**, p.12, 1988.

PANTONE, D.J., BAKER, J.B. **Reciprocal yield analysis of red rice (*Oryza sativa*) competition in cultivated rice.** *Weed Science*, Champaign, v.39, n.1, p.42-47, 1991.

PATIST, A.; ZOERB, H. Preservation mechanisms of trehalose in food and biosystems. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 107-113, 2005.

PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; FRANZ, A. F. H.; SOUZA, R. O. **Manejo de solo e água em arroz irrigado.** In: PESKE, S.; NEDEL, J; BARROS, A. (Ed.). Produção de sementes de arroz. Pelotas : Ed. da UFPel, 1993.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 36, n. 4, p. 709-715, abr. 2001.

PEREIRA, D.P.; BANDEIRA, D.L.; QUINCOZES, E. da R.F. (Ed.). **Cultivo do arroz irrigado no Brasil.** 2005. Acesso em: 03 novem. 2012. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/>>

PEREIRA, J. A.; BASSINELLO, P. Z.; FONSECA, J. R.; RIBEIRO, V. Q. Potencial genético de rendimento e propriedades culinárias do arroz vermelho cultivado. **Caatinga**, Mossoró, v.20, p.43-48, 2007.

PEREIRA, José Almeida. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para sua história.** Embrapa Meio-Norte, p.226, 2002.

PEREIRA, José Almeida. **O arroz vermelho cultivado no Brasil.** Teresina: EMBRAPA Meio Norte. 90 p. 2004.

PEREIRA, S. C.; RODRIGUES, F.A. ; CARREMISSIO, V.; et al.; Aplicação foliar de silício na resistência da soja à ferrugem e na atividade de enzimas de defesa. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 3, maio de 2009.

- PEREIRA JÚNIOR, P. et al. Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agrônômicas da soja [Glycinemax (L.) Merrill]. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 34, n. 4, p. 908-913, 2010.
- PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
- PORTO, B. H. C.; SEGATTO, E.; REZENDE, N. C.; MAGALHÃES, R; S.; MATEUS, J. S.; LACERDA, H. N.; MOREIRA, L. B. Potencial agrônômico do arroz vermelho em sistema de produção agroecológico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1042-1045, 2007.
- POUSTINI, K.; SIOSEMARDEH, A.; RANJBAR, M. Prolineaccumulation as a response to salt stress in 30 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. **Genet Resources and Crop Evolution**, v.54, p.925-934, 2007.
- QUEIROZ, R. J. B. Quantificação da trealose e da prolina livre em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica do solo. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, Mestrado em Agronomia – Área de concentração Produção Vegetal. Jaboticabal, São Paulo, 2006.
- RHEIN, A. F. de L.; SANTOS, D. M. M. dos; CARLIN, S. D.. Atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana-de-açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1345-1360, out./dez. 2011.
- RODRIGUES, F. A., et al. **Silício: elemento benéfico e importante para as plantas**. Informações agrônômicas, n. 134, p. 14-20, 2011.
- RODRIGUES, J. D.; URCHEI, M. A. Efeitos de potenciais de água no solo, em diferentes estádios fenológicos da cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.). **Scientia Agrícola**, v.51, p.533-540, 1994.
- SAKAMOTO, A, MURATA, N, Genetic engineering of glycinebetaine synthesis in plants: current status and implication for enhancement of stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**.51, 81–88, 2000.
- SAKAMOTO, A.; MURATA, N. The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.25, p.163-171, 2002.
- SANTOS, A. B. dos; RABELO, R. R. Informações Técnicas para a Cultura do Arroz Irrigado no Estado do Tocantins, **Embrapa Arroz e Feijão**, Documentos 218, Santo Antonio de Goiás, 2008, 136 p.
- SANTOS, A. C. V.; AKIBA, F. **Biofertilizante líquido: uso correto na agricultura alternativa**. Seropédica: UFRJ. Imprensa Universitária. 1996. 35p.
- SANTOS, A.C. V. **Biofertilizantes líquidos: o defensivo agrícola da natureza**. 2ed. Ver. Niterói: EMATER/Rio, 162p. 1992.(Agropecuária Fluminense, 8).
- SANTOS, A.C.V.; SAMPAIO, H.N. Efeito do biofertilizante líquido obtido a partir da fermentação anaeróbia do esterco bovino, no controle de insetos prejudiciais à lavoura de citros e



seus inimigos naturais. In: SEMINÁRIO BIENAL DE PESQUISA, Rio de Janeiro, 1993. **Resumos...** Seropédica: UFRJ, 1993. p.34.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. vol.16 no.8 Campina Grande Aug. 2012.

SANTOS, J.G. R.; SANTOS, E. C. X. R. **Agricultura Orgânica:TeoriaPrática**.Campina Grande: EDUEP, 2008.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SEAGRI: Secretaria do Desenvolvimento Agrário do Ceará. **Agricultura familiar** 2004. Disponível em <http://WWW.seagri.ce.gov.br>. Acesso em: 03 novem. 2012.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? **PlantCellandEnvironment**, v.25, p.333-341, 2002.

SILVA, A. F.; PINTO, J. M.; FRANÇA, C. R. R. S.et al.; **Preparo e uso de biofertilizantes líquidos**. Petrolina. Maio de 2007. (Comunicado Técnico).

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. **CharacterizationoftheleastlimitingWaterrangeofsoils**. Soil Science SocietyofAmericaJournal, v.58,1994.

SILVA, J. T. A.; BORGES, A. L.; CARVALHO, J. G.; DAMASCENO, J. E. A. Adubação com potássio em três ciclos de produção da bananeira cv. Peata-Anã. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 25. n. 1. p. 179-184. 2003.

SILVA, L.S.; BOHNEN, H. Rendimento e Acúmulo de Nutrientes pelo Arroz em Solução Nutritiva com e sem Adição de Silício. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 771-777, 2001.

SMIRNOFF, N.; CUMBES, Q. J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes.**Phytochemistry**, v. 28, p. 1057-1060, 1989.

SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E. de M. Fisiologia. In: BELTRÃO, N. E. de M. (org.). O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa-Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. v.1, cap. IV, p.89-116.

STEINMETZ S.; BRAGA, J.H.; SILVA, C. S. (Ed.). **Cultivo do arroz irrigado no Brasil. 2005.** Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/arroz/cap02.html>>. Acesso em: 04. novem. 2012.

STRECK, N. A, MICHELON, S., BOSCO, L. C, WALTER, L. C & MARCOLIN, E. **Duração do ciclo de desenvolvimento de genótipos de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal**. Ciência Rural, v.36, p.1086-1093, 2006.

SUZUKI, L.E.A.S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, p. 739-774. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; **Fisiologia Vegetal**. 4° ed. Porto Alegre: Artmed, p. 152, 2009.

TESSEROLI NETO, E. A.. Biofertilizantes: **Caracterização química sanitária e eficiência em diferentes concentrações na cultura do alface**. Curitiba, 2006. 52f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Paraná.

TOKURA, A. M. et al. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **ActaScientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007.

VAN RENSBURG, L.; KRÜGER, G. H. J.; KRÜGER, H. Proline accumulation as drought tolerance selection criterion: Its relationship to membrane integrity and chloroplast ultrastructure in *Nicotianatabacum*. **JournalofPlantPhysiology**, v. 141, p. 188-194, 1993.

VIDAL, A. A.; FURLANETO, F. P. B. ; OKAMOTO, F. ; et al.; Efeito do silício na cultura de alface. **Pesquisa&Tecnologia**, vo. 8, n. 17, julho de 2011.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.1184-1192, jul, 2008

WINGLER, A. The function of trehalose biosynthesis in plants. **Phytochemistry**, New York, v. 60, p. 437-440, 2002

WORLD BANK. **Relatório sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente Mundial. Desmatamento**: 2004.

YAMADA, M.; MORISHITA, H.; URANO, K.; SHIOZAKI, N.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K.; YOSHIBA, Y. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, p. 1975-1981, 2005.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. ; RODRIGUES, F. A.; FONTES, R. L. F.; NEVES, J. C. L.; KORNDORFER, G. H. Rice resistance to brown spot mediated by silicon and its interaction with manganese. **Journal of Phytopathology**, v.157, p.73-78, 2009.

ZUCCAINI, P. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrients uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. **BiologiaPlantarum**, v. 52, n.1, p.157-160, 2008.

GODDIJN, O. J. M.; DUN, K. van. Trehalose metabolism in plants. *Trends in Plant Science*, Kidlington, v. 4, n. 8, p. 315-319, 1999.