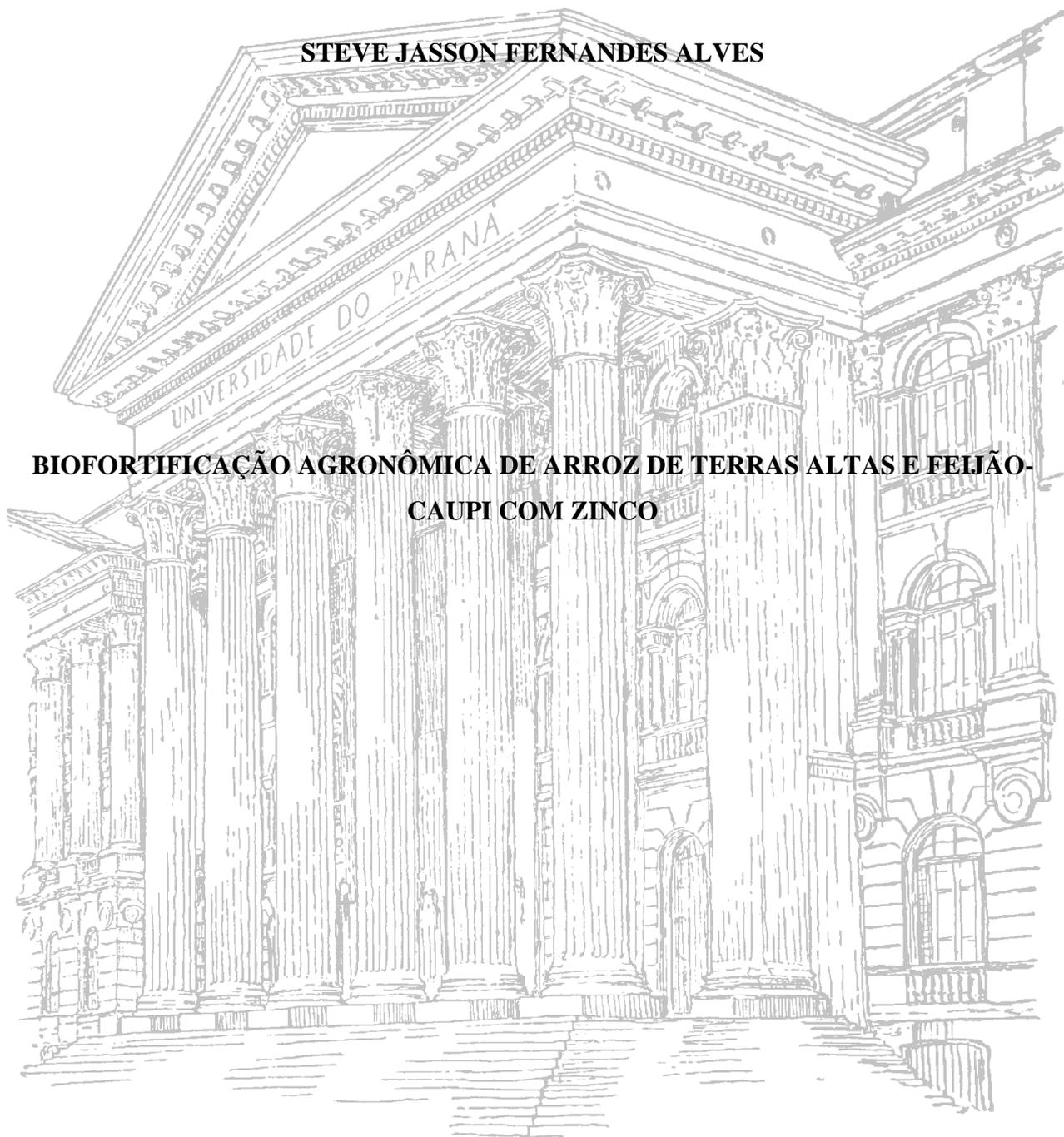


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**STEVE JASSON FERNANDES ALVES**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE ARROZ DE TERRAS ALTAS E FEIJÃO-  
CAUPI COM ZINCO**



**CURITIBA**

**2014**

**STEVE JASSON FERNANDES ALVES**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE ARROZ DE TERRAS ALTAS E FEIJÃO-  
CAUPI COM ZINCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Qualidade e Sustentabilidade Ambiental, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes  
Co-Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti  
Co-orientador: Prof. Dr. Huberto José Kliemann  
Co-orientador: Dr. Pedro Luiz Scheeren

**CURITIBA**

**2014**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO  
Mestrado e Doutorado



## PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **STEVE JASSON F. ALVES**, intitulada: **Biofortificação agronômica de arroz de terras altas e feijão-caupi com zinco**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela **“APROVAÇÃO”** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 22 de fevereiro de 2014.

Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes, Presidente

Prof. Dr. André Rodrigues dos Reis, Iº. Examinador

Prof. Dr. Volnei Pauletti, IIº. Examinador

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – SCA – UFPR  
Rua dos Funcionários, 1540 - Bairro Cabral  
80035-050 - Curitiba - PR - Fone/Fax: (41) 3350-5648  
pgcisolo@ufpr.br | www.pgcisolo.agrarias.ufpr.br



Aos meus pais, Francisco Alves Ferreira e Sandra Aparecida Fernandes, ao meu irmão Michael Jonathan Fernandes Alves, a minha namorada Cristiane Daciuk pelo apoio atenção e compreensão e a todas as pessoas que amo pelo incentivo na minha caminhada.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e por mais este motivo de felicidade.

Ao meu orientador, Professor Milton Ferreira de Moraes, pela amizade, orientação, ensinamentos, confiança, paciência e fundamental colaboração para o término desta dissertação.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar esta dissertação e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a conclusão do mesmo, em especial a EMBRAPA, COODETEC, e aos amigos do mestrado.

Muito Obrigado.

*Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor. Lembre-se. Se escolher o mundo ficará sem o amor, mas se escolher o amor com ele você conquistará o mundo.*

*Albert Einstein*

## SUMÁRIO

|   |     |
|---|-----|
| LISTA DE FIGURAS .....  | IX  |
| LISTA DE TABELAS .....  | X   |
| BIOFORTIFICAÇÃO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS E FEIJÃO-CAUPI COM ZINCO<br>.....                                  | XII |
| RESUMO GERAL .....  | XII |
| BIOFORTIFICATION OF UPLAND RICE AND COWPEA BEANS WITH ZINC .....  | XIV |
| GENERAL ABSTRACT .....  | XIV |
| INTRODUÇÃO GERAL .....  | 1   |
| LITERATURA CITADA .....   | 5   |
| CAPÍTULO I - FORMAS DE APLICAÇÃO DE ZINCO PARA BIOFORTIFICAÇÃO<br>AGRONÔMICA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS ..... | 11  |
| RESUMO .....  | 11  |
| ABSTRACT .....  | 13  |
| 1.3. INTRODUÇÃO .....   | 14  |
| 1.4. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 15  |
| 1.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....  | 15  |
| 1.4.2. INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....  | 17  |
| 1.4.3. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....  | 17  |
| 1.4.4. TRATOS CULTURAIS .....   | 18  |
| 1.4.5. VARIÁVEIS RESPOSTAS .....  | 19  |
| 1.4.5.1. PRODUTIVIDADE E MASSA DE 1000 GRÃOS .....  | 19  |
| 1.4.5.2. QUALIDADE NUTRICIONAL DO GRÃO .....  | 19  |
| 1.4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....   | 19  |
| 1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 20  |
| 1.6. CONCLUSÕES .....   | 32  |
| 1.7. LITERATURA CITADA .....  | 33  |
| CAPÍTULO II - FORMAS DE APLICAÇÃO DE ZINCO PARA BIOFORTIFICAÇÃO<br>AGRONÔMICA DO FEIJÃO-CAUPI .....         | 37  |
| RESUMO .....  | 37  |
| ABSTRACT .....  | 39  |
| 2.3. INTRODUÇÃO .....   | 41  |
| 2.4. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 42  |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....    | 42 |
| 2.4.2. INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....            | 44 |
| 2.4.3. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL..... | 44 |
| 2.4.4. TRATOS CULTURAIS .....                       | 45 |
| 2.4.5. VARIÁVEIS RESPOSTAS .....                    | 46 |
| 2.4.5.1. PRODUTIVIDADE E MASSA DE 1000 GRÃOS .....  | 46 |
| 2.4.5.2. QUALIDADE NUTRICIONAL DO GRÃO.....         | 46 |
| 2.4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....                      | 46 |
| 2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                   | 47 |
| 2.6. CONCLUSÕES .....                               | 60 |
| 2.7. LITERATURA CITADA.....                         | 61 |

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM ARROZ DE TERRAS ALTAS

- FIGURA 1 Dados climatológicos de Palotina-PR (a) e Rio Verde-GO (b), no ano agrícola 2012/2013..... 16
- FIGURA 2 Influência do ambiente (Palotina e Rio Verde) e da forma de aplicação do Zn (Testemunha (Test), Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn aplicado via foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e via foliar (Zn-S+F)), no teor de Zn nos grãos e na produtividade de cultivares de arroz de terras altas..... 27
- FIGURA 3 PCA dos cultivares de arroz de terras altas: BRS Sertaneja (BRS) e ZEBU Ligeiro (ZEBU), cultivados em Palotina (a) e Rio Verde (b), safra 2012..... 31

### CAPÍTULO II - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM FEIJÃO-CAUPI

- FIGURA 1 Dados climatológicos de Palotina-PR (a) e Rio Verde-GO (b), no ano agrícola 2012/2013 ..... 40
- FIGURA 2 Influência do ambiente (Palotina e Rio Verde) e da forma de aplicação do Zn (Testemunha (Test), Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn aplicado via foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e via foliar (Zn-S+F)), no teor de Zn nos grãos e na produtividade de cultivares de feijão-caupi ..... 52
- FIGURA 3 PCA dos cultivares de feijão-caupi: BRS Guariba (GUA) e BRS Xiquexique (XIQ), cultivados em Palotina (a) e Rio Verde (b), safra 2012 ..... 54

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM ARROZ DE TERRAS ALTAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabela 1- | Análise química e física do solo de Palotina e Rio Verde, safra 2012/2013. Análises realizadas antes do cultivo do arroz de terras altas.....   | 18 |
| Tabela 2- | Resultados médios de macro e micronutrientes da análise foliar de cultivares de arroz de terras altas (BRS Sertaneja e ZEBU Ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), (Palotina e Rio Verde), safra de 2012..... | 21 |
| Tabela 3- | Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de Arroz (BRS Sertanejo e Zebu ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), (Palotina), safra de 2012.....                           | 22 |
| Tabela 4- | Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de Arroz (BRS Sertanejo e Zebu ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), (Rio Verde), safra de 2012.....                          | 24 |
| Tabela 5- | Influência dos métodos de aplicação de zinco na massa de 1000 grãos e produtividade de cultivares de arroz de terras altas (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012.....  | 26 |
| Tabela 6- | Influência dos métodos de aplicação de zinco na concentração de Zn, Fe e proteína nos grãos de cultivares de arroz de terras altas (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012.....                                  | 28 |
| Tabela 7- | Correlação de Pearson entre produtividade, concentração de Zn, concentração de Fe e proteína de duas cultivares de arroz de terras altas, cultivados em distintos ambientes.....  | 30 |

## CAPÍTULO II - ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM FEIJÃO-CAUPI

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabela 1- | Análise química e física do solo de Palotina e Rio Verde, safra 2012/2013. Análises realizadas antes do cultivo do feijão-caupi .....  | 42 |
| Tabela 2- | Resultados médios de macro e micronutrientes da análise foliar de cultivares de arroz de terras altas (BRS Sertaneja e ZEBU Ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), (Palotina e Rio Verde), safra de 2012 ..... | 46 |
| Tabela 3- | Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Xiquexique) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), (Palotina), safra de 2012 .....                    | 47 |
| Tabela 4- | Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de Arroz (BRS Sertanejo e Zebu ligeiro) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), (Rio Verde), safra de 2012.....                           | 48 |
| Tabela 5- | Influência dos métodos de aplicação de zinco na massa de 1000 grãos e produtividade de cultivares de feijão-caupi (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012 .....   | 50 |
| Tabela 6- | Influência dos métodos de aplicação de zinco na concentração de Zn, Fe e proteína nos grãos de cultivares de feijão-caupi (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012 .....   | 51 |
| Tabela 7- | Correlação de Pearson entre produtividade, concentração de Zn, concentração de Fe e proteína de duas cultivares de feijão-caupi, cultivados em distintos ambientes. ....   | 55 |

# BIOFORTIFICAÇÃO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS E FEIJÃO-CAUPI COM ZINCO

Autor: Steve Jasson Fernandes Alves

Orientador: Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes

Co-Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-orientador: Prof. Dr. Huberto José Kliemann

Co-orientador: Dr. Pedro Luiz Scheeren

## RESUMO GERAL

As culturas de arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) estão entre as mais importantes na produção de alimentos para a população. Com intuito de suprir a demanda por alimentos com qualidade nutricional, tem se buscado a introdução de cultivares biofortificados, que apresentam maiores conteúdos de minerais e vitaminas nos grãos. No Brasil faltam informações sobre métodos de adubação visando a biofortificação. Desta forma, objetivo do presente estudo foi avaliar formas de aplicação de zinco e sua relação com a qualidade nutricional dos grãos e aspectos agronômicos em cultivares de arroz de terras altas e de feijão-caupi. O estudo foi realizado em dois locais: Rio Verde - GO e Palotina - PR, Brasil. Em cada local, os experimentos foram constituídos de quatro tratamentos: (i) sem aplicação de Zn (controle); (ii) aplicação de Zn no solo (Zn-S); (iii) aplicação de Zn na folha (Zn-F) e (iv) aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 4 repetições, totalizando 32 parcelas. A aplicação de Zn no solo foi realizada no plantio, com fornecimento de 250 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 8-30-20, que apresentava 4% de Zn (10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn). Nos tratamentos controle e Zn foliar, o formulado não continha Zn. Para aplicação de Zn foliar, foi utilizada uma solução com 2% de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), em taxa de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> (equivalente a 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn) e realizada no início do enchimento dos grãos. Para cada cultura, foram cultivados dois genótipos: BRS Sertaneja e Zebu Ligeiro - arroz de terras altas e BRS Guariba e BRS Xiquexique - feijão-caupi, sendo os primeiros escolhidos por serem cultivares comerciais de alto rendimento e os segundos por apresentarem potencial para biofortificação (maiores teores de Zn nos grãos). De forma geral, as duas culturas obtiveram comportamento semelhante, os teores de Zn nas folhas e grãos aumentaram com aplicação desse micronutriente, mesmo em solos com teores acima do nível crítico. Não houve

incremento de produtividade em razão da aplicação de zinco, todavia, observou-se relação inversa entre produtividade e concentrações de Zn nos grãos de arroz de terras altas e feijão-caupi. O acúmulo de Zn nos grãos foi determinado pelas diferenças de produtividade dos cultivares, sendo maiores nos cultivares comerciais em razão das altas produtividades. Em conclusão, a interação genótipo ambiente determina o potencial produtivo e, conseqüentemente, também a qualidade nutricional dos grãos. Desta forma, nas condições do presente trabalho, em razão da baixa produtividade dos cultivares com potencial para biofortificação, torna-se mais viável a utilização de cultivares comerciais de alta produtividade e proceder a aplicação de zinco (no solo e complementação com pulverização foliar), elevando a concentração e acúmulo do mesmo nos grãos. Faz-se necessário, nos programas de melhoramento genético voltados a biofortificação, buscar o aumento de produtividade para esses cultivares.

**Palavras-chave:** Micronutrientes, ferro, saúde humana, qualidade de alimentos.

## **BIOFORTIFICATION OF UPLAND RICE AND COWPEA BEANS WITH ZINC**

Author: Steve Jasson Fernandes Alves

Advisor: Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes

Co-Advisor: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Co-Advisor Prof. Dr. Huberto José Kliemann

Co-Advisor: Dr. Pedro Luiz Scheeren

### **GENERAL ABSTRACT**

Upland rice (*Oryza sativa* L.) and cowpea beans (*Vigna unguiculata* L. Walp.) crops are among the most important food in the diet of population. In order to meet this food demand with products of high nutritional quality has search the introduction of biofortified cultivars - that have higher contents of minerals and vitamins in grains. In Brazil there is lack of information on methods of fertilization aimed to biofortification. Thus, the objective of this study was to evaluate zinc application forms and its relationship with nutritional quality of grain and agronomic aspects in upland rice and cowpea beans. The study was conducted at two locations: Rio Verde - GO Palotina - PR, Brazil. In each place, the experiments were composed of four treatments: (i) without Zn application (control treatment); (ii) Zn soil application (Zn-S); (iii) Zn foliar application (Zn-F); (iv) Zn soil and foliar application (Zn-S + F). The experimental design was a randomized block, with 4 replications, totaling 32 plots. Zn soil application was made at planting, with supply of 250 kg ha<sup>-1</sup> of a formulated NPK 8-30-20, which had 4% of Zn (10 kg ha<sup>-1</sup> Zn). In the control and Zn foliar treatments, the formulated do not contained Zn. For Zn foliar application was used a solution containing 2% zinc sulfate (ZnSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), with application rate of 200 L ha<sup>-1</sup> (equivalent to 910 g ha<sup>-1</sup> Zn) and performed at the beginning of the filling the grains. For each crop, two genotypes were grown: BRS Sertaneja and Zebu Ligeiro - upland rice and BRS Guariba and BRS Xiquexique - cowpea beans. The firsts were chosen because are the most planted commercial cultivars with high yield and the seconds by presenting potential for biofortification (higher levels of Zn in the grain). In general, the two crops had similar behavior, Zn concentration in leaves and grains increased with application of this nutrient, even in soils with Zn concentrations above the critical level. There was no yield increase due to Zn application, however, there was an inverse relationship between yield and grain Zn concentrations of both upland rice and cowpea beans. Grain Zn accumulation was determined by the differences in yield of the

cultivars, being higher in commercial cultivars due to high yields. In conclusion, the interaction genotype-environment determines the yield potential and, hence also the nutritional quality of grains. Thus, under the conditions of this study, due to the low yield of cultivars with potential for biofortification, it becomes more feasible to use cultivars with high yield and to do zinc application (in soil plus complementation with via foliar spray), increasing the concentration and accumulation of Zn in grains. It is necessary, in breeding programs aimed biofortification try to increase the yield for these cultivars.

**Key words:** micronutrients, iron, human health, food quality.

## INTRODUÇÃO GERAL

As culturas do arroz (*Oryza sativa* L.) e do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) são reconhecidas pelo alto valor nutricional de seus produtos e, estão entre os alimentos mais importantes na dieta da população.

O arroz, pertencente à família Poaceae, tem sido o principal cereal produzido no mundo, com uma produção global de aproximadamente 696 milhões de toneladas, sendo cultivado em 159 milhões de hectares e com produtividade média mundial de 4.368 kg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2012). Por outro lado, o feijão-caupi é um alimento básico para populações de baixa renda em alguns países da África e do Nordeste brasileiro. A produção nacional é de 3,6 milhões de toneladas (Silva, 2009), sendo cultivado em 12,5 milhões de hectares (Andrade Júnior et al., 2003) e com produtividade média no Brasil de 366 kg ha<sup>-1</sup> (Silva, 2009; Rocha et al., 2012).

Considerando que o crescimento da população será contínuo e a demanda global por alimentos continuará aumentando até por volta de 2050 (Godfray et al., 2010), será necessária uma estratégia global para garantir a segurança alimentar de maneira sustentável no mundo. Segundo Graham et al. (2001), as estimativas predizem que em 2030 haverá necessidade de duplicar a produção agrícola mundial, ou até mesmo, triplicar, como é o caso de países em desenvolvimento. Dada a importância desses produtos agrícolas (alimentos) como fonte primária de nutrientes, percebe-se que com o aumento da população, quantidades maiores de nutrientes serão também requeridas.

Ainda que a produção de alimentos tenha acompanhado o crescimento populacional, a qualidade dos alimentos parece não ter evoluído, pois problemas de deficiência nutricional têm crescido em todo o mundo (Garvin, 2006). Há falta de pesquisas no Brasil que integram desde o melhoramento vegetal e o manejo da adubação até o aproveitamento dos nutrientes pelo organismo humano, como já ocorrem em vários países (Welch & Gabelman, 1984; Mortvedt et al., 1991; Singh et al., 2001; Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007; Alloway, 2008). A nutrição de plantas e a saúde humana são estudadas isoladamente, com quase ou nenhuma interação entre os pesquisadores dessas áreas (Moraes, 2008).

Ao longo das últimas décadas, a concentração e a composição de nutrientes, particularmente os micronutrientes, não tem sido observado pelos pesquisadores, os quais tem focado o melhoramento genético vegetal para o aumento do rendimento nos grãos das culturas alimentares (Welch & Graham, 1999; Cakmak, 2002).

Diversos fatores relacionados ao ambiente e à adaptação das espécies vegetais podem influenciar na capacidade das plantas em absorver e translocar minerais como Fe e Zn para os grãos (Welch & House, 1984). É possível selecionar cultivares para maiores teores de minerais nos grãos, qualidade tecnológica e também para altos rendimentos. Parece haver relação direta entre teores de proteínas e de Fe e Zn em grãos de trigo, visto que esses dois micronutrientes são requeridos para funcionamento e síntese de muitas proteínas (Moraes, 2009; Cakmak, 2008).

O ser humano requer pelo menos 49 nutrientes para satisfazer suas necessidades metabólicas, porém a deficiência ou o consumo inadequado de um desses elementos pode gerar distúrbios fisiológicos, que levam a doenças, aumento das taxas de mortalidade, baixo rendimento produtivo, retardo mental, crescimento inadequado, entre outros (Oikeh et al., 2003; Long et al., 2004; Welch & Graham, 2004).

Os elementos com maior frequência de constatação de deficiência no mundo são: iodo (I), ferro (Fe), zinco (Zn) e selênio (Se), sendo que nos países em desenvolvimento estes elementos são os que causam maior preocupação em relação à saúde humana. Calcula-se que um quinto da população mundial pode não estar ingerindo Zn em quantidades suficientes e um terço da população mundial vive em países considerados de alto risco em relação à deficiência de Zn (Hotz & Brown, 2004).

O zinco é essencial para atividade de mais de 300 enzimas, envolvendo-se em processos mitóticos, síntese de DNA e proteínas, expressão e ativação gênica, o que enfatiza sua importância durante os períodos de gestação (Caulfield et al., 1998; Osendarp et al., 2003). A deficiência de Zn está diretamente relacionada à sua entrada e/ou absorção inadequada e a presença de inibidores na dieta, embora as perdas adicionais por diarreia possam também contribuir. Por estas razões, as exigências em zinco são maiores naquelas populações em que os produtos de origem animal – fontes de zinco de maior biodisponibilidade – são limitados e as fontes vegetais contêm elevadas concentrações de fitato, inibidor da absorção de zinco (Lönnerdal, 2000).

A deficiência do zinco tem sido associada não só à redução do crescimento e ao desenvolvimento do feto, mas também a problemas no desenvolvimento do sistema imunológico, à perda de apetite, às lesões na pele, ao prejuízo na acuidade do paladar, às dificuldades nos processos de cicatrização, ao hipogonadismo, retardo na maturação sexual, à anorexia, morbidade e mortalidade por doenças infecciosas (Whittaker, 1998).

As principais estratégias que auxiliam o combate às deficiências nutricionais nos países em desenvolvimento são a diversificação da dieta alimentar e a suplementação de vitaminas e minerais para mulheres grávidas e crianças pequenas, além da fortificação dos alimentos com esses nutrientes por meio de tecnologias pós-colheita. Porém, todos esses processos dependem de infraestruturas de mercado e sistemas de saúde altamente funcionais, que permitam o acesso das populações aos produtos gerados (Who/UNICEF, 2004).

Baseando-se nestas informações, uma crescente atenção tem sido dada a procura e identificação dos ancestrais selvagens de plantas cultivadas, em busca de alelos desconsiderados até o momento, com intuito de reintroduzi-los nas culturas agrícolas (Gur & Zamir, 2004). Nesse sentido, diversas pesquisas visando explorar genes associados ao acúmulo de nutrientes, por meio da biotecnologia e melhoramento convencional de plantas, têm sido realizadas (Graham, 2003).

A biofortificação genética é um processo que por meio de cruzamento de plantas da mesma espécie, gera cultivares/variedades com maiores teores de determinados nutrientes nas partes comestíveis, o que seria uma solução sustentável para a desnutrição no mundo (Jeong & Guerinot, 2008).

Genótipos biofortificados podem beneficiar a população de forma contínua e a um custo inferior ao da suplementação e da fortificação pós-colheita, caracterizando-se como uma intervenção agrícola sustentável (Graham & Welch, 1996; Welch, 2001; HarvestPlus, 2004; Graham et al., 2007). Assim, a biofortificação vem sendo introduzida como ferramenta complementar outras intervenções e é um meio para fornecer micronutrientes, vitaminas e proteínas a baixo (Bouis, 1999; Nestel et al., 2006; Pfeiffer & McClafferty, 2007; Qaim et al., 2007). Nesse contexto, várias estratégias e/ou intervenções para a biofortificação de culturas tem surgido, dentre elas a adubação mineral, melhoramento convencional e transgenia (Zhu et al., 2007; Mayer et al., 2008).

A biofortificação agrônômica baseia-se na utilização de fertilizantes e práticas de manejo, objetivando aumentar os teores de micronutrientes na parte comestível dos produtos agrícolas, pode ser realizada por meio da adubação via solo, pelo tratamento de sementes ou pela aplicação foliar (Welch, 2008). Visando aumentar o teor de minerais nos produtos agrícolas, outras práticas de manejo também podem ser adotadas, tais como: aplicação de biofertilizantes (inoculação com fungos micorrízicos, tricodermas, etc), rotação de culturas e irrigação (Moraes et al., 2009). A aplicação de fertilizantes minerais, combinado com variedades em produção, é defendida como uma estratégia de imediato impacto, não somente

por aumentar as concentrações de minerais em culturas comestíveis, mas também por melhorar o rendimento das culturas em solos inférteis (Graham et al., 2001, 2007; Genc et al., 2005; White & Broadley, 2005; Pfeiffer & McClafferty, 2007).

Pesquisas realizadas no Brasil com adubação de Zn no solo demonstraram aumentos dos teores do mesmo nos grãos de arroz de terras altas entre 50-80%, em comparação ao controle. O incremento nos teores de Zn nos grãos também se traduziu em leve aumento nos teores de Fe (Moraes et al., 2009).

Por outro lado, recentes trabalhos demonstram haver relação inversa entre as concentrações de micronutrientes em grãos e produtividade (McDonald et al., 2008; Murphy et al., 2008). De acordo com White & Broadley (2005), genótipos biofortificados com o maiores concentrações de nutrientes nas partes comestíveis, em muitos casos, apresentam baixa performance agrônômica, sementes pequenas e menor produtividade. Como consequência há o que se conhece como “efeito de diluição” dos micronutrientes em cultivares melhorados devido a seleção voltada exclusivamente para ganho de rendimento (Garvin et al., 2006; Fan et al., 2008).

Recentes estudos tem demonstrado uma positiva relação entre Zn, Fe e proteínas nos grãos. Dependendo do método de aplicação de fertilizantes com Zn ou fertilização nitrogenada, pode-se aumentar a concentração de Zn nos grãos em até três ou quatro vezes (Yilmaz et al., 1997; Cakmak et al., 2010). Nestes trabalhos, até o momento, o método mais eficaz para aumentar o teor de Zn nos grãos tem sido a aplicação no solo conciliada a pulverização foliar. Da mesma forma, aplicações no solo conciliadas à aplicações foliares de fertilizantes contendo Zn em sua formulação aumentaram as concentrações do mesmo em frutas (Shuman, 1998; Rengel et al., 1999; Broadley et al., 2007). O ambiente também influencia os teores de nutrientes nos grãos e, segundo Peleg et al. (2008), ocorre significativa interação (genótipo vs ambiente), para todas as concentrações de minerais nos grãos.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar formas de aplicação de zinco e sua relação com a qualidade nutricional dos grãos e aspectos agrônômicos em cultivares de arroz de terras altas e de feijão-caupi.

## LITERATURA CITADA

ALLOWAY, B. J. Micronutrient deficiencies in global crop production. New York: Springer, 2008. 353 p.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SANTOS, A. A. dos; SOBRINHOS, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. Cultivo de feijão-caupi: importância econômica. Parnaíba: Embrapa Meio-Norte, 2003 Versão eletrônica. Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/importancia.htm>>. Acesso em: 3 dez. 2013.

BOUIS, H. E. Economics of enhanced micronutrient density in food staples. *Field Crops Research*, 1999.v.66, n.1-2, p.165-173.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. *New Phytologist*, 2007. v.173, p.677-702.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 2008. v.302, n.1-2, p.1-17.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Biofortification of Durum Wheat with Zinc and Iron. *cereal chemistry*, 87(1): 10-20, 2010.

CAKMAK, I. Plant nutrition research: priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant Soil*, 2002. v.247, p. 3-24.

CAULFIELD, L. E.; ZAVALETA, N.; SHANKAR, A. H & MERIALDI, M. Potential contribution of maternal zinc supplementation during pregnancy to maternal and child survival. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1998. V. 68, p.449S-508S.

FAN, M. S.; ZHAO, F. J.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; POULTON, P. R.; DUNHAM, S. J.; MCGRATH, S. P. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2008. v.22, p. 315-324.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 25 ago. 2012.

GARVIN, D.F.; WELCH, R.M. & FINLEY, J.W. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentrations of US hard red winter wheat germplasm. *J. Sci. Food Agric.*, 2006. v.86, n.13, p. 2213-2220,

GENC, Y.; HUMPHRIES, J. M.; LYONS, G. H.; GRAHAM, R. D. Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency in populations. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2005. v.18, p. 319-324,

GODFRAY, H. C. J, BEDDINGTON, J. R, CRUTE, I. R, HADDAD L, LAWRENCE D, MUIR, J. F, PRETTY J, ROBINSON S, THOMAS, S. M, TOULMIN C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 2010. v.327, p.812-818.

GRAHAM, R. D. Biofortification: a global challenge program. *International Rice Research Notes*, 2003. v.28, p. 4-8.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M. Breeding for staple-food crops with high micronutrient density: long-term sustainable agricultural solutions to hidden hunger in developing countries. In: *Proceedings of the Agricultural Strategies for Micronutrients*, Washington, IFPRI, 1996. 73p.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; BOUIS, H. E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy*, 2001. v.70, p. 77-142.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C. A.; BEEBE, S. E.; POTTS, M. J.; KADIAN, M.; HOBBS, P. R.; GUPTA, R. K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. *Advances in Agronomy*, 2007. v.92, p. 1-74.

GUR, A.; ZAMIR, D. Unused natural variation can lift yieldbarriers in plant breeding. *Plos. Biol.*, 2004. v.2, p. 1610-1615.

HARVESTPLUS. Desenvolvendo Produtos Agrícolas mais Nutritivos. Washington: HarvestPlus, 2004. 4p.

HOTZ, C.; BROWN, K. H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations. Food and Nutrition Bulletin, 2004. v.25. n.1, p. 130-162.

JEONG, J.; GUERINOT, M. L. Biofortified and bioavailable: The gold standard for plant-based diets, PNAS, 2008. v.6, p. 1777-1778.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. Trace elements from soil to human. Berlin: Springer, 2007. 576 p.

LONG JK, BANZIGER M & SMITH ME. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. Crop Science, 2004. v.44, p.2019-2026.

LÖNNERDAL B. Dietary factors influencing zinc absorption. Journal of Nutrition, 2000. v.130, p.1378-1383S.

MAYER, J. E.; PFEIFFER, W. H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition, Curr. Opin. Plant Biol., 2008. v.11, p. 166-170.

MCDONALD, G. K.; GENC, Y.; GRAHAM, R. D. A simple method to evaluate genetic variation in grain zinc concentration by correcting for differences in grain yield. Plant Soil, 2008. v.306, p. 49-55.

MORAES, M.F. Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana. Informações agronômicas, 2008. n. 123, p. 21-23.

MORAES, M.F.; NUTTI, M.R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J.L.V. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: LANA, R.P.; MÂNCIO, A.B.; GUIMARÃES, G.; SOUZA, M.R.M. (Ed.). I Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável. Viçosa: Editora da UFV, 2009. p.299-312.

MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). Micronutrients in agriculture. Madison: Soil Science Society of America, 1991. 760p.

MURPHY, K. M.; REEVES, P. G.; JONES, S. S. Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. *Euphytica*, 2008. v.163, p. 381-390.

NESTEL, P.; BOUIS, H. E.; MEENAKSHI, J. V.; PFEIFFER, W. Biofortification of staple food crops. *J. Nutr*, 2006. v.136, p. 1064-1067.

OIKEH, S.O.; MENKIR, A.; MAZIYA-DIXON, B.; WELCH R & GLAHN R. P. Assessment of concentrations of iron and zinc and bioavailable iron in grains of early-maturing tropical maize varieties. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 2003. v.51, p.3688- 3694.

OSENDARP, S. J. M, WEST C. E & BLACK R. E. The need for maternal zinc supplementation in developing countries: an unresolved issue. *Journal of Nutrition*, 2003. v.133, p.817S-827S.

PELEG, Z.; SARANGA, Y.; KRUGMAN, T.; ABBO, S.; NEVO, E.; FAHIMA, T. Allelic diversity associated with aridity gradient in wild emmer wheat populations. *Plant Cell Environ* DOI 10.1111/j.1365-3040.2007.01731.x, 2007.

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. *Crop Science*, 2007. v.47, p. 88-105.

PIMENTEL-GOMES, F. & GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.

QAIM, M.; STEIN, A. J.; MEENAKSHI, J. V. Economics of biofortification. *Agric. Econ.*, 2007. v.37, p. 119-133.

RENGEL, Z.; BATTEN, G. D.; CROWLEY, D. E. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Research*, 1999. v.60, p. 27-40.

ROCHA, M. M; DAMASCENO E SILVA, K. J; FREIRE FILHO, F. R; LEMOS DE CARVALHO, H. W; VILARINHO, A. A; FRANCO, L. J. D; SANTOS, A. M. F; NUTTI,

M. R.; CARVALHO, J. L. V. Biofortificação do feijão-caupi no brasil: resultados e perspectivas. IV Reunião de Biofortificação, Terezina Piaui, 2011.

SILVA, K. J, D. e. Estatística da produção de feijão-caupi. Pelotas: Grupo Cultivar, 2009. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=880>>. Acesso em: 3 dez. 2013.

SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R. M. (Ed.). Perspectives on the micronutrient nutrition of crops. Jodhpur: Scientific Publishers, 2001. 295 p.

WELCH R.M & GRAHAM R.D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. Journal of Experimental Botany, 2004. v.55, p.353-364.

WELCH, R. M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). Micronutrient deficiencies in global crop production. New York: Springer, 2008. p. 287-309.

WELCH, R. M. Micronutrients, agriculture and nutrition: linkages for improved health and well being. In: SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R. M. (Ed.). Perspectives on the micronutrient nutrition of crops. Jodhpur: Scientific Publishers, 2001. p. 247-289.

WELCH, R. M.; GABELMAN, W. H. Crops as sources of nutrients for humans. Madison: Soil Science Society of America, Crop Science Society of America, American Society of Agronomy, 1984. 89p. (ASA Special Publication, 48).

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. New paradigm for world agriculture: meeting human needs. Productive, sustainable nutritious. Field Crops Res, 1999. v.60, p. 1-10.

WELCH, R. M.; HOUSE, W. A. Factors affecting the bioavailability of mineral nutrients in plant food. In: WELCH, R.M.; GABELMAN, W.H. (Ed.). Crops as sources of nutrients for humans. Madison: Soil Science Society of America, Crop Science Society of America, American Society of Agronomy, 1984. p. 37-54. (ASA Special Publication, 48).

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends in Plant Science, 2005. v.10, p. 586-593.

WHITTAKER, P. Iron and zinc interactions in human. American Journal of Clinical Nutrition, 1998. v.68, p.442S-446S.

WHO/UNICEF. World Health Organization/Fundo das Nações Unidas para a Infância Disponível em: [http://www.who.int/topics/anaemia/en/who\\_unicefanaemiastatement.pdf](http://www.who.int/topics/anaemia/en/who_unicefanaemiastatement.pdf), 2004.

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S. A.; CAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. Journal of Plant Nutrition, 1997. v.20 n. 4-5, p. 461-471.

ZHU, C. F.; NAQVI, S.; GOMEZ-GALERA, S.; PELACHO, A. M.; TERESA CAPELL, T.; CHRISTOU, P. Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants, Trends Plant Sci., 2007. v.12, p. 1360-1385.

## **CAPÍTULO I - FORMAS DE APLICAÇÃO DE ZINCO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS**

### **RESUMO**

Em virtude de sua importância alimentar, o arroz está entre os cereais mais produzidos no mundo. Dentre os cereais, o arroz desempenha papel estratégico tanto no aspecto econômico quanto social, sendo foco de estudos de programas de biofortificação. No Brasil faltam informações sobre métodos de adubação visando a biofortificação agronômica. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar formas de aplicação de zinco e sua relação com a qualidade nutricional dos grãos e aspectos agronômicos em cultivares de arroz de terras altas. O estudo foi realizado em dois locais: Rio Verde - GO e Palotina - PR, Brasil. Em cada local, os experimentos foram constituídos de quatro tratamentos: (i) sem aplicação de Zn (controle); (ii) aplicação de Zn no solo (Zn-S); (iii) aplicação de Zn na folha (Zn-F) e (iv) aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 4 repetições, totalizando 32 parcelas. A aplicação de Zn no solo foi realizada no plantio, com fornecimento de 250 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 8-30-20, que apresentava 4% de Zn (10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn). Nos tratamentos controle e Zn foliar, o formulado não continha Zn. Para aplicação de Zn foliar, foi utilizada uma solução com 2% de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), em taxa de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> (equivalente a 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn) e realizada no início do enchimento dos grãos. Foram cultivados dois genótipos de arroz de terras altas: BRS Sertaneja e Zebu Ligeiro, sendo o primeiro escolhido por ser cultivar comercial de alto rendimento e o segundo por apresentar potencial para biofortificação (maiores teores de Zn nos grãos). Em geral, os teores de Zn nas folhas e nos grãos aumentaram com aplicação desse micronutriente, mesmo em solos com teores acima do nível crítico. Não houve incremento de produtividade em razão da aplicação de zinco, todavia, observou-se relação inversa entre produtividade e concentrações de Zn nos grãos de arroz de terras altas. O acúmulo de Zn nos grãos foi determinado pelas diferenças de produtividade dos cultivares, sendo maiores nos cultivares comerciais em razão das altas produtividades. Em conclusão, a interação genótipo ambiente determina o potencial produtivo e, conseqüentemente, também a qualidade nutricional dos grãos. Desta forma, nas condições do presente trabalho, em razão da baixa produtividade dos cultivares com potencial para biofortificação agronômica, torna-se mais viável a utilização de cultivares comerciais com alta produtividade e aplicação de zinco (no

solo e complementação com pulverização foliar), elevando a concentração e acúmulo do mesmo nos grãos. Faz-se necessário, nos programas de melhoramento genético voltados a biofortificação, buscar o aumento de produtividade para esses cultivares.

**Palavras-chave:** Micronutrientes, qualidade de alimentos, nutrição de plantas, *Oryza sativa*.

## **CHAPTER I - ZINC APPLICATION FORMS FOR AGRONOMIC BIOFORTIFICATION OF UPLAND RICE**

### **ABSTRACT**

Due to its nutritional importance, the upland rice is among the most produced cereal in the world. The rice plays a strategic role for both economic and social aspects, being the focus of studies of biofortification programs. In Brazil there is lack of information on methods of fertilization aimed to biofortification. Thus, the objective of this study was to evaluate zinc application forms and its relationship with nutritional quality of grain and agronomic aspects in upland rice. The study was conducted at two locations: Rio Verde - GO Palotina - PR, Brazil. In each place, the experiments were composed of four treatments: (i) without Zn application (control treatment); (ii) Zn soil application (Zn -S); (iii) Zn foliar application (Zn - F); (iv) Zn soil and leaf application (Zn -S + F). The experimental design was a randomized block, with 4 replications, totaling 32 plots. Zn soil application was made at planting, with supply of 250 kg ha<sup>-1</sup> of a formulated NPK 8-30-20, which had 4% of Zn (10 kg ha<sup>-1</sup> Zn ). In the control and Zn foliar treatments, the formulated do not contained Zn. For Zn foliar application was used a solution containing 2% zinc sulfate (ZnSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), with application rate of 200 L ha<sup>-1</sup> (equivalent to 910 g ha<sup>-1</sup> Zn) and performed at the beginning of the filling the grains. Two genotypes of upland rice were grown: BRS Sertaneja and Zebu Ligeiro, being the first was chosen because is the most planted commercial cultivar with high yield and the second by presenting potential for biofortification (higher levels of Zn in the grain). In general, Zn concentration in leaves and grains increased with application of this nutrient, even in soils with Zn concentrations above the critical level. There was no yield increase due to Zn application, however, there was an inverse relationship between yield and grain Zn concentrations of upland rice. Grain Zn accumulation was determined by the differences in yield of the cultivars, being higher in commercial cultivars due to high yield. In conclusion, the interaction genotype-environment determines the yield potential and, hence also the nutritional quality of grains. Thus, under the conditions of this study, due to the low yield of cultivar with potential for biofortification, it becomes more feasible to use a cultivar with high yield and to do zinc application (in soil plus complementation with via foliar spray), increasing the concentration and accumulation of Zn in grains. It is necessary, in breeding programs aimed biofortification try to increase the yield for these cultivars.

Key-words: micronutrients, food quality, plant nutrition, *Oryza sativa*.

### 1.3. INTRODUÇÃO

Em virtude de sua importância alimentar, o arroz está entre os cereais mais produzidos no mundo, sendo cultivado em 164 milhões de ha, e com produção de aproximadamente 718 milhões de toneladas. Desse total, o Brasil cultiva 1,45% da área e produz 1,6% do total (FAO, 2012). É um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem. Em adição, é uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diversas condições de solo e clima, sendo considerada a espécie que apresenta maior potencial para combate a fome no mundo (EMBRAPA, 2005).

Dentre os cereais, o arroz desempenha papel estratégico tanto no aspecto econômico quanto social, sendo foco de estudos de programas de biofortificação. Nesse contexto, observam-se várias pesquisas, nas quais relatam benefícios obtidos com as práticas agronômicas adotadas pela biofortificação. Segundo Fang et al. (2008), Wei et al. (2012) e Phattarakul et al. (2012), ao avaliarem formas de aplicação de nutrientes em arroz, obtiveram aumentos na concentração de minerais, como Zn e Fe nos grãos. Esses resultados são semelhantes aos relatados por Cakmak et al. (2010), os quais avaliaram métodos de aplicação de Zn em trigo e observaram aumento na produtividade e concentração do elemento nos grãos.

No entanto, os teores máximos nos grãos obtidos até o presente momento foram de até 25 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e 6 mg kg<sup>-1</sup> de Fe. Esses valores ainda são inferiores aos teores alvos, que são de 30 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e 8 mg kg<sup>-1</sup> de Fe (Moraes et al., 2009). Tais resultados podem estar associados a fatores ambientais, adaptações das espécies vegetais e práticas culturais relacionadas à capacidade das plantas em absorver e translocar nutrientes. Deste modo, fazem-se importantes novas pesquisas, para melhor compreender tais fatores. Para isso, o presente trabalho objetivou avaliar formas de aplicação de zinco e sua relação com a qualidade nutricional dos grãos e aspectos agronômicos em cultivares de arroz de terras altas.

## **1.4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **1.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL**

O experimento foi instalado em dois ambientes:

#### **Palotina-PR**

Localizado no Sul do Brasil e Oeste paranaense. O clima da região, conforme classificação de Köppen, é caracterizado como Cfa (subtropical úmido mesotérmico), com verões quentes e invernos frios ou amenos. A temperatura média anual é de 20°C, precipitação pluviométrica média anual em torno de 1600 mm e altitude de 332 m. Geadas são frequentes no período frio.

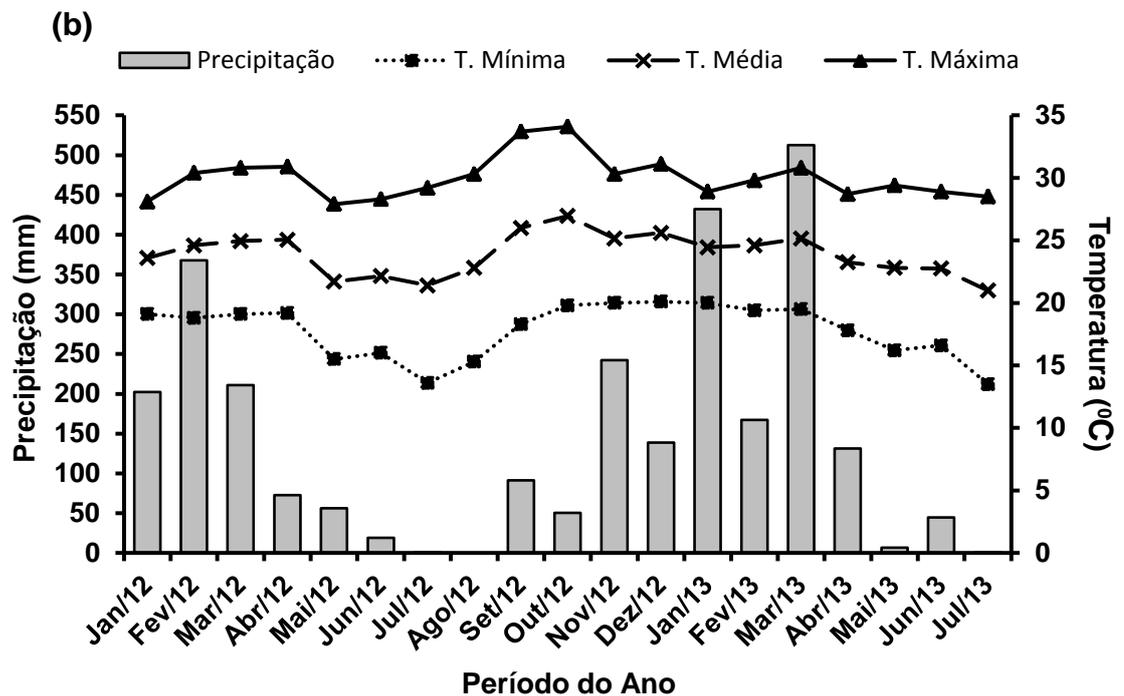
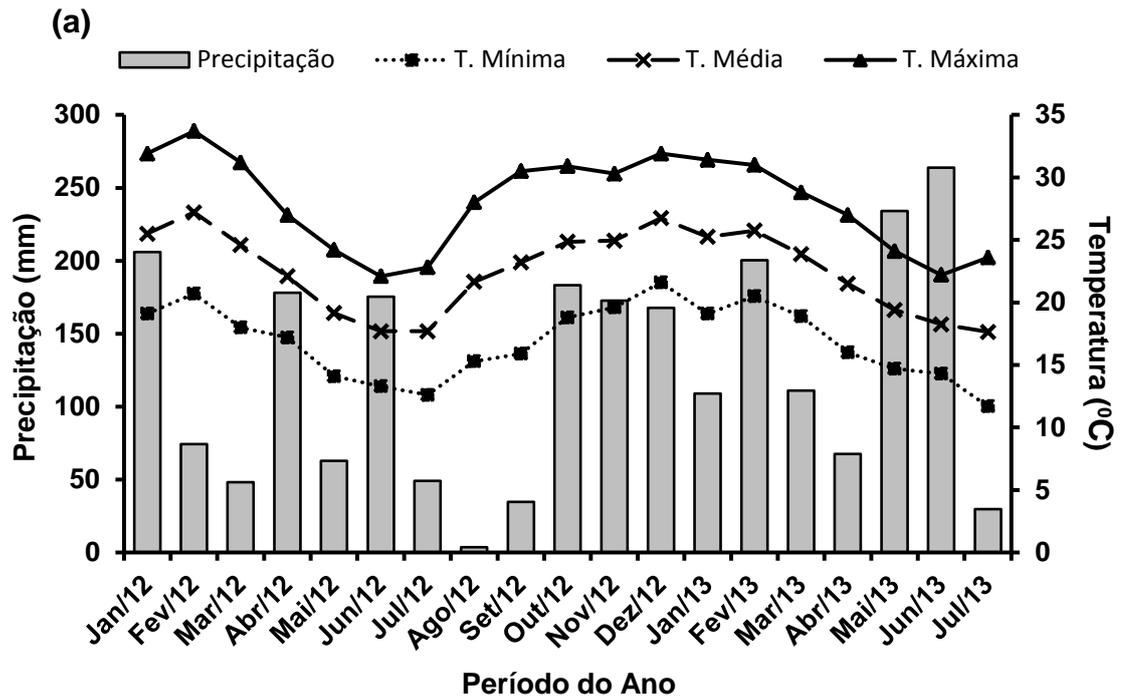
Os experimentos foram realizados na área experimental da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC), situada nas coordenadas 24°21'10.37" S e 53°45'26.57" W. O solo foi classificado como: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, muito argiloso, segundo EMBRAPA (2006).

#### **Rio Verde-GO**

Está localizado no Centro-Oeste brasileiro e na microrregião Sudoeste do Estado de Goiás. O clima é mesotérmico úmido, apresentando duas estações bem definidas: uma seca (de maio a outubro) e outra chuvosa (novembro a abril). A temperatura média anual varia de 20°C a 35°C e a altitude corresponde a 748 m.

Os experimentos foram desenvolvidos na área experimental do Centro de Pesquisa Agrícola (CPA), situada nas coordenadas 17°45'57.5" S e 051°01'46.3" W. O solo foi classificado como: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutroférico, argilo-arenoso, segundo EMBRAPA (2006).

Os dados climatológicos do período de cultivo, nos dois ambientes estão apresentados na Figura 1.



**FIGURA 1:** Dados climatológicos referente ao período de condução dos experimentos em Palotina-PR (a) e Rio Verde-GO (b). **Fonte:** Somar meteorologia, 2013.

#### 1.4.2. INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados a campo, no ano agrícola 2012/2013, obtendo uma safra em cada local.

#### 1.4.3. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado foi em blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4 x 2 (tratamentos x cultivares), com 4 repetições, totalizando 32 parcelas em cada local. Foi realizado um experimento em Palotina-PR e outro em Rio Verde-GO.

Em cada experimento os tratamentos consistiram de: (i) sem aplicação de Zn (controle) com formulado 8-30-20; (ii) aplicação de Zn no solo (Zn-S); (iii) aplicação de Zn na folha (Zn-F) e (iv) aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). A aplicação de Zn no solo foi realizada no plantio, por meio da aplicação de 250 kg ha<sup>-1</sup> de um formulado NPK 8-30-20, com 4% de Zn na forma de óxido finamente moído, que correspondeu a uma dose de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. Essa dose é considerada alta, porém, segundo Fageria (2000), doses entre 2 a 20 kg ha<sup>-1</sup> de Zn proporcionaram maior produção de matéria seca em arroz, feijão, milho, soja e trigo, mostrando não ser uma dose tóxica as plantas. Doses tóxicas iniciaram-se a partir de 80 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. Nos tratamentos controle e Zn foliar, o formulado não continha Zn. Para aplicação de Zn na folha utilizou-se uma solução com 2% de sulfato de zinco penta-hidratado (ZnSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), em taxa de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn. A aplicação foliar foi realizada no estágio de desenvolvimento da cultura que correspondeu ao início do enchimento dos grãos, melhor momento para aplicação foliar onde o elemento vai ser translocado para o interior do grão (Yilmaz et al., 1997). A dose utilizada tanto para adubação de Zn no solo quanto via foliar seguiu os padrões sugeridos pelos projetos internacionais de pesquisa em biofortificação agrônômica do Programa HarvestZinc (Cakmak et al. 2010; Zou et al. 2012).

Em cada experimento, foram utilizadas duas cultivares de arroz de terras altas, sendo uma a mais cultivada na determinada região e a outra escolhida com base nas pesquisas de biofortificação do Programa Embrapa-HarvestPlus. Nesse programa, genótipos são selecionados com base em características de desempenho agrônômico, qualidades tecnológicas e de potencial para biofortificação (altas concentrações de Zn e Fe), segundo Neves et al. (2009). Desta forma, foram selecionados os cultivares BRS Sertaneja e Zebu Ligeiro, correspondendo as cultivares mais plantadas da região e com características para biofortificação, respectivamente.

#### 1.4.4. TRATOS CULTURAIS

Antes da instalação da cultura, foi realizada a análise química e física do solo para cada área utilizada, na profundidade de 0-20 cm, para fins de correção e adubação do solo (Tabela 1). Conforme análise, não foi necessária a aplicação de calcário em nenhum ambiente de cultivo, pois as saturações por bases estavam acima do exigido para cultura do arroz de terras altas. As operações de adubação, controle fitossanitário e diagnose nutricional (análise foliar), seguiram as recomendações técnicas para a cultura do arroz de terras altas (Fageria, 1998).

**Tabela 1:** Análise química e física do solo de Palotina e Rio Verde, safra 2012/2013. Análises realizadas antes do cultivo do arroz de terras altas.

| Amostra           | pH                             | Al  | H + Al | Ca     | Mg                | K                              | P     | C                  |
|-------------------|--------------------------------|---|--------|--------|-------------------|--------------------------------|-------|--------------------|
| Palotina*<br>2012 | CaCl <sub>2</sub>              | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |        |        |                   | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |       | g dm <sup>-3</sup> |
|                   | 4,61                           | 0,00  | 6,55   | 3,56   | 1,28              | 0,55                           | 22,93 | 11,46              |
|                   | Cu                             | Zn  | Fe     | Mn     | S-SO <sub>4</sub> | Areia                          | Silte | Argila             |
|                   | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |   |        |        |                   | -----g kg <sup>-1</sup> -----  |       |                    |
|                   | 18,41                          | 3,16  | 47,10  | 221,55 | 15,07             | 147,0                          | 124,5 | 728,5              |
| Amostra           | pH                             | Al  | H + Al | Ca     | Mg                | K                              | P     | C                  |
| Rio Verde<br>2012 | CaCl <sub>2</sub>              | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |        |        |                   | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |       | g dm <sup>-3</sup> |
|                   | 5,37                           | 0,00  | 3,10   | 2,30   | 0,78              | 0,22                           | 18,16 | 21,03              |
|                   | Cu                             | Zn  | Fe     | Mn     | S-SO <sub>4</sub> | Areia                          | Silte | Argila             |
|                   | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |   |        |        |                   | -----g kg <sup>-1</sup> -----  |       |                    |
|                   | 3,05                           | 6,49  | 48,30  | 42,55  | 57,25             | 476,2                          | 115,2 | 408,7              |

\* As análises química do solo foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (2009), com exceção da determinação de C e S-SO<sub>4</sub> realizadas segundo Raij et al. (2001). DTPA (ICP-OES); Al, Ca e Mg - Cloreto de potássio; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn - Mehlich-1; C - Colorimétrica; H + Al - Solução tampão SMP; S-SO<sub>4</sub> Fosfato mono cálcico. As análises física do solo seguiu a metodologia de Camargo et al. (1986).

As unidades amostrais (parcela) foram de 4 fileiras de 5 m, com espaçamento entre fileiras de 0,30 m e 60 sementes por metro linear, correspondendo a uma área de 6 m<sup>2</sup> por parcela. A área útil de cada parcela constituiu 2 fileiras centrais, descontando-se 0,50 m da bordadura, totalizando 2,40 m<sup>2</sup> de área útil.

#### 1.4.5. VARIÁVEIS RESPOSTAS

As plantas de arroz foram cultivadas até a maturidade fisiológica dos grãos. Ao longo do desenvolvimento da cultura, realizou análise foliar e determinaram-se as variáveis respostas de rendimento e qualidade nutricional dos grãos, conforme descritas nos itens a seguir:

##### 1.4.5.1. PRODUTIVIDADE E MASSA DE 1000 GRÃOS

Foram determinadas pela colheita da área útil de cada unidade amostral. Depois de colhido, descontou-se a umidade a 13% e, na sequência extrapolaram-se os dados de produtividade para  $\text{kg ha}^{-1}$ . Desse mesmo material coletado, realizou a contagem e medição da massa de 1000 grãos. A colheita foi realizada de forma manual, seguindo procedimentos do Programa HarvestPlus de Biofortificação (Stangoulis & Sison, 2008), com intuito de evitar a contaminação das amostras para a análise nutricional dos grãos.

##### 1.4.5.2. QUALIDADE NUTRICIONAL DO GRÃO

Para determinação dos macronutrientes e micronutrientes no tecido vegetal, pesou-se 0,25 g de cada amostra e procedeu-se a digestão das mesmas com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), sob sistema fechado em forno micro-ondas modelo Mars Xpress (CEM), com posterior quantificação em ICP-OES (Malavolta et al., 1997). Para determinação do N-total no tecido vegetal, pesou-se 0,1 g de massa seca e procedeu-se a digestão com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) em bloco digestor, com posterior quantificação pelo método analítico Kjeldahl (Bremner & Edwards, 1965). O teor de proteína (solúvel) dos grãos foi obtido pela multiplicação do teor de N-total pelo fator geral de conversão (6,25). Amostras de tecido vegetal (*Vicia faba*, IPE 903) e (*Phaseolus vulgaris*, IPE 192) certificadas pela Wageningen Evaluating Programs for Analytical Laboratories (International Plant-Analytical Exchange) foram utilizadas para garantir o controle de qualidade das análises.

#### 1.4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizado teste de homogeneidade das variâncias e os resultados submetidos à análise de variância (teste F). Quando significativos, foram comparados por meio do teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade (Zimmermann, 2004). Para determinação do grau de associação/dependência entre as variáveis, foi efetuada análise multivariada e teste de

correlação linear de Pearson, utilizando-se os softwares CANOCO (Ter Braak & Smilauer, 2002) e SAS (Pimentel-Gomes & Garcia, 2002), respectivamente.

## 1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve aumento significativo nos teores foliares de Zn nos dois cultivares de arroz de terras altas apenas em Palotina (Tabela 2). Por outro lado, em Rio Verde, a aplicação de Zn favoreceu o incremento de B nas folhas para os dois cultivares. Em apenas dois casos isolados, em Palotina, o tratamento com Zn aumentou significativamente os teores de N e B nas folhas do cultivar Zebu Ligeiro. Em Rio Verde, o fornecimento de Zn ocasionou aumento significativo dos teores de Cu nas folhas para as duas cultivares. Todavia, embora não significativos, foi evidente pequenos aumentos nos teores de N e Fe (exceto para Palotina, cultivar Zebu Ligeiro) com a aplicação de Zn no solo.

Os teores foliares de Zn considerados adequados para a cultura do arroz de terras altas situam-se entre 25 e 35 mg kg<sup>-1</sup>. Em Palotina, os teores foliares de Zn estavam próximos desta faixa, com teores entre 25,22 a 33,47 mg kg<sup>-1</sup> para a cultivar BRS Sertanejo e 32,59 a 39,72 mg kg<sup>-1</sup> para a cultivar Zebu Ligeiro.

Em Rio Verde foi observado que os teores foliares de Zn estavam abaixo do considerado adequado para a cultura do arroz de terras altas, apresentando teores entre 16,05 a 16,48 mg kg<sup>-1</sup> para o cultivar BRS Sertaneja e 16,77 a 17,34 mg kg<sup>-1</sup> para cultivar Zebu Ligeiro. Segundo Malavolta et al. (1997), apenas os teores médios de S, B, Cu, Mn e Zn (somente em Palotina), (Tabela 2), estavam na faixa adequada. É importante ressaltar que a tabela de interpretação de resultados apresentada por esse autor, não especifica a origem dos dados e que tipo de arroz, irrigado ou de sequeiro. Entretanto, nos manuais de adubação CQFS-RS/SC (2004), Rajj et al. (1997) e Souza & Lobato (2004), as faixas de suficiência são mais amplas, estando todos os elementos considerados adequados para a cultura do arroz de terras altas.

**Tabela 2:** Teores de macro e micronutrientes na folha diagnóstica de cultivares de arroz de terras altas, em resposta ao Zn aplicado no solo, em Palotina- PR e Rio Verde- GO safra de 2012.

| Nutrientes <sup>(1)</sup> | Palotina                       |          |              |          | Rio Verde     |          |              |          |
|---------------------------|--------------------------------|----------|--------------|----------|---------------|----------|--------------|----------|
|                           | BRS Sertaneja                  |          | ZEBU Ligeiro |          | BRS Sertaneja |          | ZEBU Ligeiro |          |
|                           | Controle <sup>(2)</sup>        | Zn-S     | Controle     | Zn-S     | Controle      | Zn-S     | Controle     | Zn-S     |
|                           | -----g kg <sup>-1</sup> -----  |          |              |          |               |          |              |          |
| <b>N</b>                  | 29,51 a <sup>(3)</sup>         | 32,05 a  | 29,43 b      | 33,34 a  | 29,32 a       | 30,43 a  | 27,68 a      | 28,34 a  |
| <b>P</b>                  | 1,84 a                         | 1,89 a   | 2,13 a       | 2,12 a   | 2,07 a        | 2,02 a   | 2,22 a       | 2,13 a   |
| <b>K</b>                  | 13,17 a                        | 13,15 a  | 17,69 a      | 16,85 a  | 15,36 a       | 15,89 a  | 16,77 a      | 16,75 a  |
| <b>Ca</b>                 | 5,19 a                         | 4,80 a   | 3,10 a       | 3,43 a   | 5,53 a        | 5,05 a   | 5,33 a       | 5,17 a   |
| <b>Mg</b>                 | 2,61 a                         | 2,46 a   | 2,01 a       | 2,05 a   | 5,58 a        | 5,67 a   | 5,24 a       | 5,64 a   |
| <b>S</b>                  | 2,07 a                         | 2,05 a   | 2,13 a       | 2,14 a   | 1,67 a        | 1,72 a   | 1,60 a       | 1,56 a   |
|                           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |          |              |          |               |          |              |          |
| <b>Cu</b>                 | 12,67 a                        | 11,54 a  | 10,26 a      | 10,45 a  | 12,42 b       | 13,78 a  | 12,10 b      | 13,77 a  |
| <b>Zn</b>                 | 25,35 b                        | 33,47 a  | 32,59 b      | 39,72 a  | 16,05 a       | 16,48 a  | 16,77 a      | 17,34 a  |
| <b>Fe</b>                 | 59,26 a                        | 61,96 a  | 50,73 a      | 48,51 a  | 124,70 a      | 130,85 a | 127,26 a     | 132,43 a |
| <b>Mn</b>                 | 165,93 a                       | 164,90 a | 160,98 a     | 148,25 a | 109,99 a      | 118,04 a | 135,32 a     | 118,60 a |
| <b>B</b>                  | 5,14 a                         | 5,44 a   | 2,99 b       | 4,12 a   | 20,49 a       | 19,69 a  | 21,21 a      | 20,27 a  |

<sup>(1)</sup> Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). <sup>(2)</sup> Controle (sem aplicação de Zn) e Zn-S (aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo). <sup>(3)</sup> Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (comparação entre tratamentos da mesma cultivar) não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

**Tabela 3:** Teores de macro e micronutrientes em grãos de arroz de terras altas, em resposta ao zinco aplicado sob várias formas, em Palotina- PR, safra 2012.

| Nutrientes <sup>(1)</sup> | BRS SERTANEJO                  |           |           |           | ZEBU LIGEIRO |           |           |           |
|---------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                           | Controle <sup>(2)</sup>        | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    | Controle     | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    |
|                           | -----g kg <sup>-1</sup> -----  |           |           |           |              |           |           |           |
| <b>N</b>                  | 13,63 a A <sup>(3)</sup>       | 14,18 a A | 13,28 a A | 14,76 a A | 13,45 a A    | 13,21 a A | 12,99 a A | 13,38 a A |
| <b>P</b>                  | 2,92 a A                       | 3,01 a A  | 2,82 a A  | 3,05 a A  | 2,77 a A     | 2,75 a A  | 2,84 a A  | 3,17 a A  |
| <b>K</b>                  | 1,64 a A                       | 1,21 a A  | 1,15 a A  | 1,12 a A  | 0,78 a B     | 0,84 a B  | 0,87 a B  | 0,85 a B  |
| <b>Ca</b>                 | 0,09 a A                       | 0,09 a A  | 0,08 b A  | 0,09 a A  | 0,10 a A     | 0,10 a A  | 0,09 b A  | 0,10 a A  |
| <b>Mg</b>                 | 1,51 a A                       | 1,49 a A  | 1,42 a A  | 1,45 a A  | 1,41 a A     | 1,38 a A  | 1,42 a A  | 1,55 a A  |
| <b>S</b>                  | 1,08 a B                       | 1,10 a B  | 1,05 a B  | 1,10 a B  | 1,11 a A     | 1,12 a A  | 1,12 a A  | 1,17 a A  |
|                           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |           |           |           |              |           |           |           |
| <b>Cu</b>                 | 7,91 a B                       | 7,79 a B  | 7,15 a B  | 7,93 a B  | 8,14 a A     | 7,47 a A  | 8,32 a A  | 8,20 a A  |
| <b>Zn</b>                 | 32,80 c B                      | 33,87 c B | 34,27 b B | 39,16 a B | 37,19 c A    | 38,04 c A | 43,50 b A | 45,28 a A |
| <b>Fe</b>                 | 8,94 a A                       | 9,29 a A  | 7,46 a A  | 9,41 a A  | 8,14 a A     | 8,28 a A  | 9,23 a A  | 10,14 a A |
| <b>Mn</b>                 | 23,01 a B                      | 22,46 a B | 20,43 a B | 20,64 a B | 24,84 a A    | 21,13 a A | 23,72 a A | 26,40 a A |
| <b>B</b>                  | 1,17 a A                       | 0,99 a A  | 0,90 a A  | 0,90 a A  | 0,57 a B     | 0,44 a B  | 0,35 a B  | 0,41 a B  |

<sup>(1)</sup> Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). <sup>(2)</sup> Controle (sem aplicação de Zn), Zn-S (aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo) Zn-F (aplicação de 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn foliar), Zn-S+F (aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo + aplicação de 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn foliar). <sup>(3)</sup> Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na horizontal (estatística entre ambientes), não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Não houve diferença significativa para os teores médios de zinco entre os tratamentos, mostrando diferença significativa entre as cultivares. O cultivar Zebu Ligeiro apresentou maiores teores de Zn e decréscimo de B, demonstrando diferença significativa em todos os tratamentos com Zn (Tabela 3). Graham et al. (1987) relataram que a deficiência de Zn aumenta a concentração do B em plantas de trigo.

Sinha et al. (2000) observaram interação sinérgica entre B e Zn em plantas de mostarda, quando ambos os nutrientes estavam em baixa ou excessiva concentração (Tabela 4). Esses resultados concordam com Malavolta et al. (1997), que ressalta o efeito antagônico entre estes nutrientes. Entretanto, Brune & Dietz (1995) observaram concentrações elevadas de B em cevada que receberam aplicações de Zn. Em trabalho semelhante, Hosseini et al. (2007) relataram haver interação significativa entre B e Zn na cultura do milho, e que essa interação depende da concentração dos nutrientes.

Avaliando formas de aplicação de nutrientes em arroz, Wei et al. (2012) e Phattarakul et al. (2012), obtiveram aumentos na concentração dos minerais Zn e Fe na parte comestível da cultura. Corroborando com Cakmak et al. (2010), que avaliaram métodos de aplicação de Zn associado a doses do elemento no solo e observaram aumento na produtividade e concentração do elemento nos grãos de cereais.

Os teores médios de Zn e Fe encontrados nas cultivares do presente estudo foram: 39,16 mg kg<sup>-1</sup> e 9,29 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para cultivar BRS Sertaneja em Palotina e 45,28 mg kg<sup>-1</sup> e 10,14 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para cultivar Zebu ligeiro em Rio Verde. Para o Fe, foram encontrados teores médios em torno de 21,51 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e 9,80 mg kg<sup>-1</sup> de Fe na Cultivar BRS Sertaneja e 24,54 mg kg<sup>-1</sup> para Zn e 9,12 mg kg<sup>-1</sup> para Fe na cultivar Zebu Ligeiro. Em Palotina foram alcançados os teores alvos segundo HarvestPlus, que são de 30 mg kg<sup>-1</sup> Zn e 8 mg kg<sup>-1</sup> de Fe (Moraes et al., 2009).

Ao analisar amostras de arroz integral comercializadas em diversas regiões do Brasil, Heinemann et al. (2005) relataram valores médios de 6 mg kg<sup>-1</sup> de ferro e 20 mg kg<sup>-1</sup> de zinco. Os teores de Fe e Zn encontrados nos grãos do presente estudo (Tabelas 3 e 4), são maiores que os relatados pelos autores anteriormente.

**Tabela 4:** Teores de macro e micronutrientes em grãos de arroz de terras altas, em resposta ao Zn aplicado no solo, em Rio Verde, safra 2012.

| Nutrientes <sup>(1)</sup> | BRS SERTANEJO                  |           |           |           | BRS ZEBU LIGEIRO |           |           |           |
|---------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|
|                           | Controle <sup>(2)</sup>        | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    | Controle         | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    |
|                           | -----g kg <sup>-1</sup> -----  |           |           |           |                  |           |           |           |
| <b>N</b>                  | 11,25 a A                      | 10,93 a A | 11,40 a A | 11,54 a A | 11,38 a A        | 11,72 a A | 11,30 a A | 12,06 a A |
| <b>P</b>                  | 2,45 a B                       | 2,87 a B  | 2,83 a B  | 2,69 a B  | 3,10 a A         | 2,99 a A  | 3,06 a A  | 2,89 a A  |
| <b>K</b>                  | 0,96 a A                       | 0,90 a A  | 0,77 a A  | 0,65 b A  | 0,74 a B         | 0,61 a B  | 0,68 a B  | 0,52 b B  |
| <b>Ca</b>                 | 0,07 a A                       | 0,07 a A  | 0,07 a A  | 0,08 a A  | 0,08 a A         | 0,08 a A  | 0,07 a A  | 0,07 a A  |
| <b>Mg</b>                 | 1,53 a B                       | 1,68 a B  | 1,66 a B  | 1,61 a B  | 1,80 a A         | 1,74 a A  | 1,76 a A  | 1,72 a A  |
| <b>S</b>                  | 0,86 a A                       | 0,91 a A  | 0,92 a A  | 0,88 a A  | 0,94 a A         | 0,91 a A  | 0,92 a A  | 0,88 a A  |
|                           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |           |           |           |                  |           |           |           |
| <b>Cu</b>                 | 4,61 a A                       | 4,73 a A  | 5,03 a A  | 5,02 a A  | 5,17 a A         | 5,00 a A  | 4,86 a A  | 4,90 a A  |
| <b>Zn</b>                 | 18,54 a B                      | 19,84 a B | 21,51 a B | 19,27 a B | 22,30 a A        | 22,95 a A | 24,54 a A | 23,25 a A |
| <b>Fe</b>                 | 9,80 a A                       | 9,05 a A  | 9,15 a A  | 9,08 a A  | 9,12 a A         | 8,83 a A  | 8,72 a A  | 8,53 a A  |
| <b>Mn</b>                 | 12,77 a A                      | 12,89 a A | 11,76 a A | 10,24 a A | 12,44 a A        | 10,59 a A | 11,24 a A | 11,80 a A |
| <b>B</b>                  | 0,95 a A                       | 0,71 b A  | 0,59 c A  | 0,54 c A  | 0,51 a B         | 0,38 b B  | 0,23 c B  | 0,10 c B  |

<sup>(1)</sup> Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). <sup>(2)</sup> Controle (sem aplicação de Zn), Zn-S (aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo) Zn-F (aplicação de 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn foliar), Zn-S+F(aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo + aplicação de 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn foliar). <sup>(3)</sup> Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na horizontal (estatística entre ambientes), não diferem estatisticamente a 5%, pelo teste de Scott-Knott.

Os resultados de análise de Zn nos grãos de arroz de terras altas (Tabelas 3 e 4), em respostas às fontes de Zn, mostram a importância da fertilização com zinco para aumentar a qualidade do produto agrícola e, conseqüentemente, beneficiar a saúde humana reduzindo a carência de Zn que aflige 20% da população mundial (Hotz & Brown, 2004). Resultados semelhantes foram obtidos por Cakmak (2008), na Turquia, com a aplicação de Zn em trigo cultivado em solos deficientes em Zn, havendo aumentos de rendimento e teor de Zn em grãos. Vale destacar, que no Brasil e em várias partes do mundo, a deficiência de Zn é um dos fatores que mais limita a produção agrícola, sendo que cerca de 50% dos solos cultivados com cereais tem pouco zinco, cerca de  $450 \text{ mg kg}^{-1}$ , segundo Conama 420/2009.

Houve diferença significativa na massa de 1000 grãos para comparação entre cultivares e entre tratamentos. A cultivar que apresentou maior massa de grãos nos dois ambientes foi a Zebu Ligeiro (Tabela 5). Ao comparar os ambientes de produção quanto às formas de aplicação de Zn, observa-se que a maior produtividade foi obtida no tratamento Zn-S+F, independente do ambiente e da cultivar (Figura 2).

A cultivar que apresentou maior produtividade nos dois ambientes foi a BRS Sertaneja, com produtividade média de  $2134 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $2301 \text{ kg ha}^{-1}$ , em Palotina e Rio Verde, respectivamente. A resposta positiva do arroz e outros cereais ao zinco é amplamente relatada na literatura em trabalhos de campo (Barbosa Filho et al., 1982; Schöffel & Lúcio, 2002; Souza et al., 1998).

No geral, não houve diferença significativa entre tratamentos e entre cultivares nos dois ambientes estudados para as variáveis concentração de Zn, Fe e proteína, sendo exceção os tratamentos Zn-F e Zn-S+F, que apresentaram maiores teores de Zn no cultivar Zebu Ligeiro em Palotina (Tabela 6). Os maiores teores de Zn nos grãos foram obtidos no tratamento Zn-S+F, com o cultivar Zebu Ligeiro, obtendo concentrações de Zn nos grãos de  $45,3 \text{ mg kg}^{-1}$  em Palotina e  $23,3 \text{ mg kg}^{-1}$  em Rio Verde. Estudando biofortificação agrônômica, Cakmak et al. (2010) observaram que a fertilização com Zn associada ao nitrogênio produz efeito sinérgico sobre a concentração de Zn de grãos.

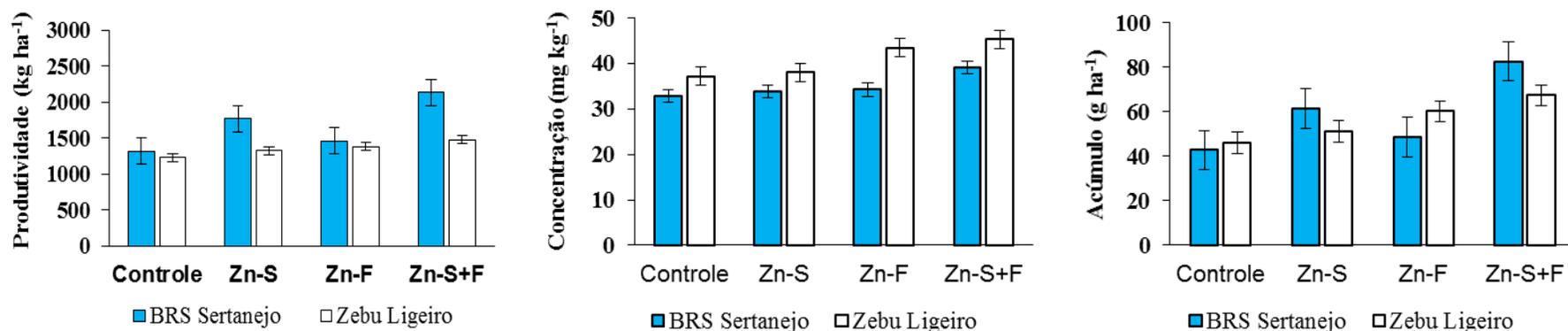
**Tabela 5.** Influência de métodos de aplicação de zinco na massa de 1000 grãos e produtividade do arroz de terras altas (média de quatro repetições). Palotina- PR e Rio Verde- GO, safra 2012

| Cultivar      | Palotina                                  |          |          |          | Rio Verde |          |          |          |
|---------------|---|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
|               | Controle <sup>(1)</sup>                   | Zn-S     | Zn-F     | Zn-S+F   | Controle  | Zn-S     | Zn-F     | Zn-S+F   |
|               | <b>Massa de 1000 grãos (g)</b>            |          |          |          |           |          |          |          |
| BRS Sertaneja | 24,3 a A                                  | 24,7 a A | 24,5 a A | 25,7 a A | 25,8 a A  | 25,9 a B | 26,6 a A | 25,5 a A |
| ZEBU Ligeiro  | 25,7 a A                                  | 25,8 a A | 26,1 a A | 26,2 a A | 30,7 a A  | 32,0 a A | 31,6 a A | 30,5 a A |
|               | <b>Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>)</b> |          |          |          |           |          |          |          |
| BRS Sertaneja | 1316 a A                                  | 1769 a A | 1460 a A | 2134 a A | 1465 b A  | 2181 a A | 1720 b A | 2301 a A |
| ZEBU Ligeiro  | 1230 a A                                  | 1326 a A | 1383 a A | 1481 a A | 1334 a A  | 1588 a A | 1417 a A | 1885 a A |

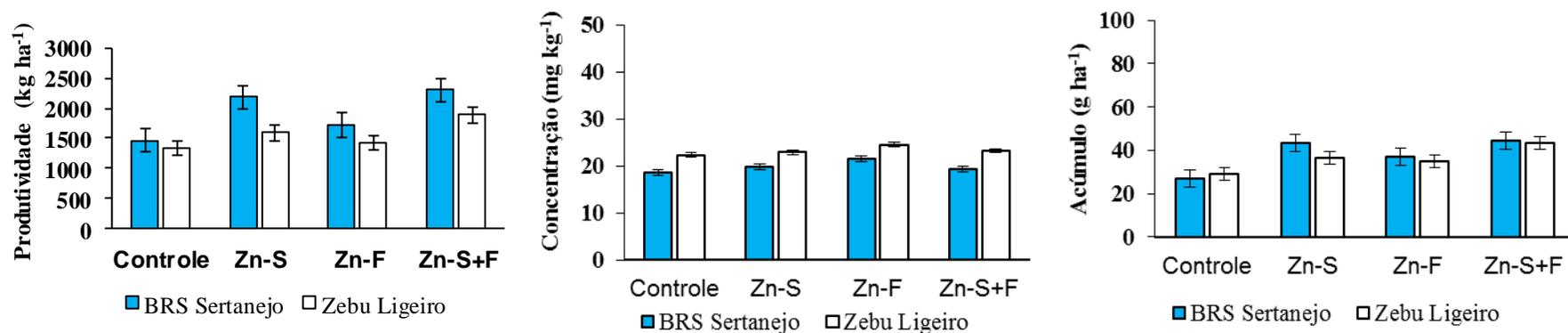
<sup>(1)</sup> Métodos de aplicação: Controle (sem aplicação de Zn); Zn-S (Zinco aplicado no solo); Zn-F (Zinco aplicado via foliar) e Zn-S+F (Zinco aplicado no solo e via foliar).

<sup>(2)</sup> Teste de Scott-Knott (5%), médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal (Comparação entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na vertical (estatística entre cultivares), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

## Palotina



## Rio verde



**FIGURA 2.** Influência do ambiente e da forma de aplicação do Zn nos seus teores de Zn nos grãos e na produtividade de cultivares de arroz de terras altas.

**Tabela 6.** Influência dos métodos de aplicação de zinco nas concentrações de Zn, Fe e proteína nos grãos de arroz de terras altas, em Palotina-PR e Rio Verde- GO, safra 2012.

| Cultivar                                       | Palotina                |          |          |          | Rio Verde |          |          |          |
|--|-------------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
|  | Controle <sup>(1)</sup> | Zn-S     | Zn-F     | Zn-S+F   | Controle  | Zn-S     | Zn-F     | Zn-S+F   |
| <b>Concentração de Zn (mg kg<sup>-1</sup>)</b> |                         |          |          |          |           |          |          |          |
| BRS Sertaneja                                  | 32,8 a A                | 33,9 a A | 34,3 a B | 39,2 a B | 18,5 a A  | 19,8 a A | 21,5 a A | 19,3 a A |
| ZEBU Ligeiro                                   | 37,2 a A                | 38,0 a A | 43,5 a A | 45,3 a A | 22,3 a A  | 23,0 a A | 24,6 a A | 23,3 a A |
| <b>Concentração de Fe (mg kg<sup>-1</sup>)</b> |                         |          |          |          |           |          |          |          |
| BRS Sertaneja                                  | 8,9 a A                 | 9,3 a A  | 7,5 a A  | 9,4 a A  | 9,8 a A   | 9,1 a A  | 9,2 a A  | 9,1 a A  |
| ZEBU Ligeiro                                   | 8,1 a A                 | 8,3 a A  | 9,2 a A  | 10,1 a A | 9,1 a A   | 8,8 a A  | 8,7 a A  | 8,5 a A  |
| <b>Proteína (%)</b>                            |                         |          |          |          |           |          |          |          |
| BRS Sertaneja                                  | 13,6 a A                | 14,2 a A | 13,3 a A | 14,8 a A | 11,3 a A  | 10,9 a A | 11,4 a A | 11,5 a A |
| ZEBU Ligeiro                                   | 13,5 a A                | 13,2 a A | 13,0 a A | 13,4 a A | 11,4 a A  | 11,7 a A | 11,3 a A | 12,1 a A |
| <b>Acúmulo Zn (g ha<sup>-1</sup>)</b>          |                         |          |          |          |           |          |          |          |
| BRS Sertaneja                                  | 42,83bA                 | 61,49bA  | 48,67Ba  | 82,63aA  | 26,92aA   | 43,38aA  | 37,08aA  | 44,53aA  |
| ZEBU Ligeiro                                   | 46,17bA                 | 51,17bA  | 60,29Ba  | 67,39aA  | 29,21aA   | 36,73aA  | 34,98aA  | 43,53aA  |

<sup>(1)</sup> Métodos de aplicação: Controle (sem aplicação de Zn); Zn-S (Zinco aplicado no solo); Zn-F (Zinco aplicado via foliar) e Zn-S+F (Zinco aplicado no solo e via foliar).

<sup>(2)</sup> Teste de Scott-Knott (5%), médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal (comparação entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na vertical (estatística entre cultivares), não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

Para a variável acúmulo houve diferença significativa entre tratamentos para as duas cultivares, quando submetidas a aplicação Zn-S+F em Palotina, destacando-se o cultivar BRS Sertaneja com média de 82,63 g ha<sup>-1</sup> de Zn (Figura 2). Em Rio Verde houve diferença estatística entre tratamentos e entre cultivares quanto a acumulação de Zn nos grãos (Tabela 6). O acúmulo médio de Zn foi semelhante entre as cultivares e, este comportamento pode ser explicado pelas diferenças entre produtividade e concentração de Zn nos grãos. O cultivar BRS Sertanejo obtém maiores produtividades (2301 kg ha<sup>-1</sup>) de grãos e concentra menos Zn, com média de 19,3 mg kg<sup>-1</sup>. Por outro lado, o cultivar Zebu Ligeiro apresenta menor produtividade (1885 kg ha<sup>-1</sup>) de grãos e obtém maiores concentrações de Zn nos grãos (23,3 mg kg<sup>-1</sup>), ocorrendo um balanço com acúmulos semelhantes entre os cultivares.

Vários fatores explicam essas diferenças de comportamento, tais como, material genético e variação ambiental. Em Rio Verde, há mais restrição a disponibilidade de Zn, em razão ao maior pH do solo e matéria orgânica (Tabela 1). Os resultados do presente trabalho corroboram com Fuller et al. (1976) e Korte et al. (1976), que estudaram a retenção de Zn e outros elementos em solos com ampla variação do teor de argila e constataram correlação positiva entre os dois parâmetros, ou seja, quanto mais argila, mais Zn é armazenado. Por outro lado, apesar do maior teor de Zn disponível em Rio Verde, o alto valor de pH e matéria orgânica diminui drasticamente sua disponibilidade (Camargo et al., 1982), explicando assim o potencial de resposta de Palotina quanto a concentração de Zn no grãos.

A análise de componentes principais dos dados de Palotina evidenciam que a produtividade e a concentração de proteína nos grãos apresentaram relação diretamente proporcional, assim como também foi observado entre as concentrações de Fe e Zn (Figura 3a). No entanto, a produtividade e concentração de proteína apresentaram relação inversamente proporcional quando comparado as concentrações de Zn e Fe, podendo-se afirmar que nas maiores produtividades e concentrações de proteína, tem-se as menores concentrações de nutrientes (Tabela 7).

O cultivar BRS Sertaneja associou-se as maiores produtividades e teores de proteínas nos grãos, enquanto o ZEBU Ligeiro com maiores concentrações de nutrientes nos grãos. Esses resultados mostram novamente o "efeito de diluição" dos nutrientes no cultivar mais produtivo. Tais resultados são semelhantes aos de McDonald et al. (2008) e Murphy et al. (2008), que mostram relação inversa entre produtividade e concentrações de micronutrientes nos grãos.

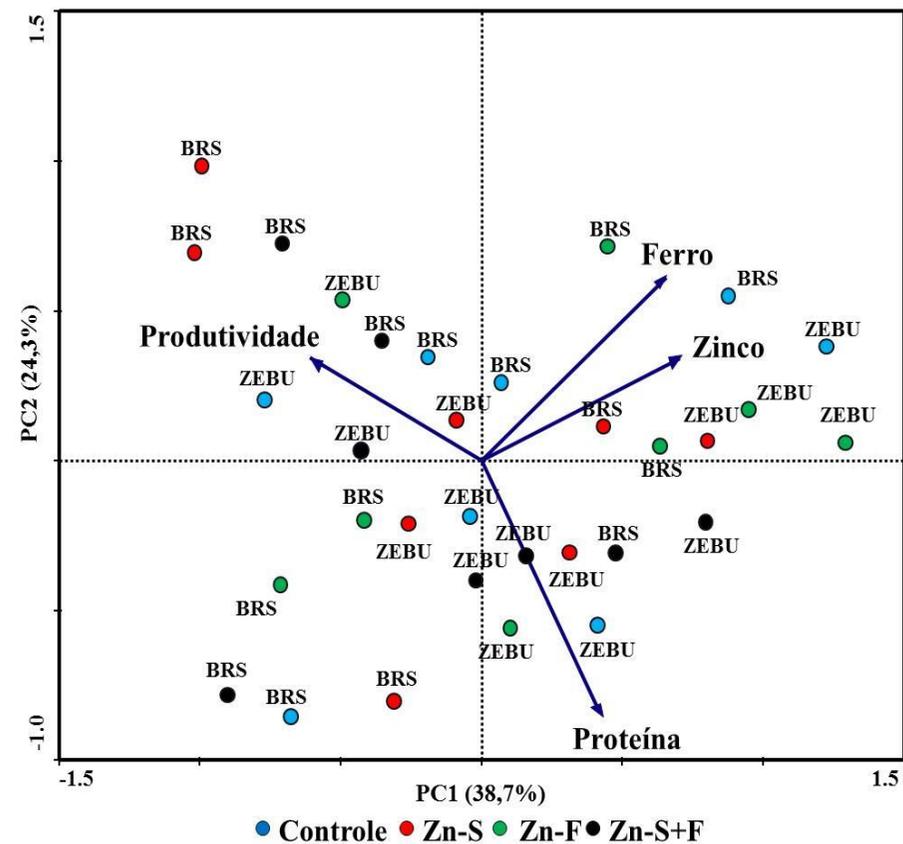
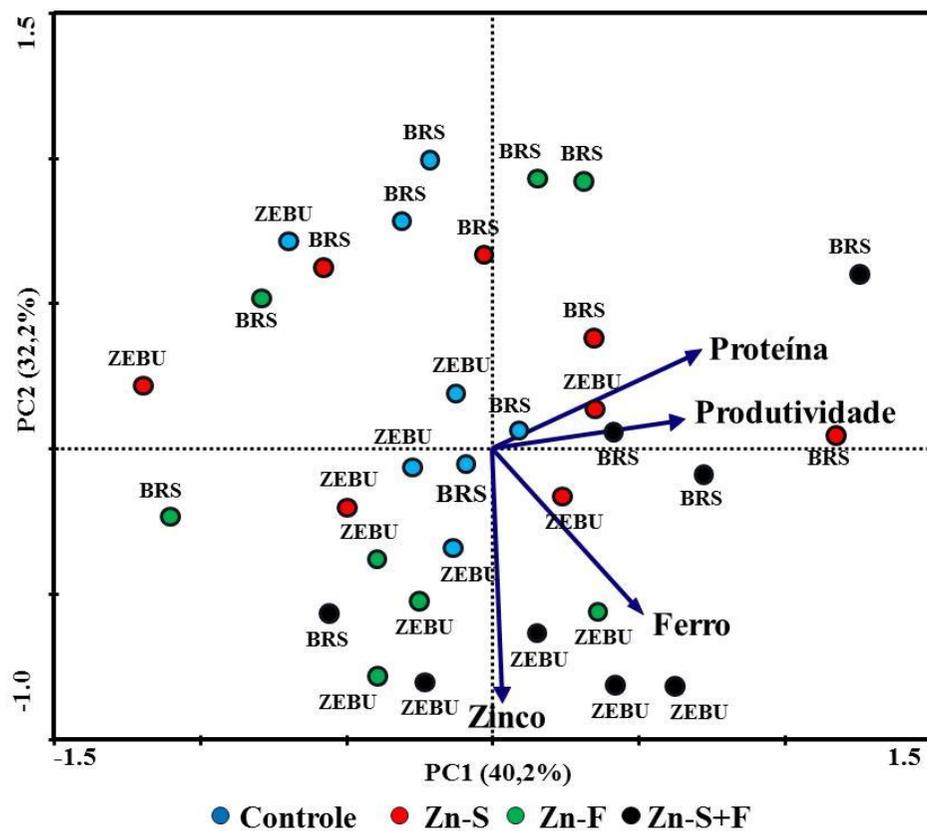
Houve relação inversamente proporcional entre produtividade e concentração de Zn, Fe e proteína nos grãos, evidenciada pela análise de componentes principais dos dados de Rio Verde, demonstrando relação proporcional entre concentração de Zn, Fe e proteína. Neste contexto, Graham et al. (1992) constataram relação positiva entre aumento de Zn e de Fe nos grãos. Comparando a análise de componentes principais entre os ambientes, nota-se comportamento similar dos cultivares em relação às variáveis respostas, caracterizando que mesmo em distintas condições de cultivo, os cultivares não alteraram seu comportamento.

Houve correlação significativa nos parâmetros: 1) produtividade versus proteína, teor de Zn versus teor de Fe, proteína versus teor de Fe, no ambiente Palotina e, 2) teor de Fe versus teor de Zn, no ambiente Rio Verde. Segundo Peleg et al. (2008), o ambiente também influencia os teores de nutriente nos grãos, dependendo da interação genótipo versus ambiente.

**Tabela 7.** Correlação de Pearson entre produtividade e concentrações de Zn, Fe e proteína em arroz de terras altas, cultivados em dois ambientes.

| Variável      | Palotina            |                     |                    |          |
|---------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------|
|               | Produtividade       | Teor Zn             | Teor Fe            | Proteína |
| Produtividade | 100 <sup>(1)</sup>  |                     |                    |          |
| Teor Zn       | 0,04 <sup>ns</sup>  | 100                 |                    |          |
| Teor Fe       | 0,14 <sup>ns</sup>  | 0,30 <sup>*</sup>   | 100                |          |
| Proteína      | 0,42 <sup>**</sup>  | -0,24 <sup>ns</sup> | 0,31 <sup>*</sup>  | 100      |
|               | Rio Verde           |                     |                    |          |
| Produtividade | 100                 |                     |                    |          |
| Teor Zn       | -0,19 <sup>ns</sup> | 100                 |                    |          |
| Teor Fe       | -0,18 <sup>ns</sup> | 0,31 <sup>*</sup>   | 100                |          |
| Proteína      | -0,21 <sup>ns</sup> | 0,14 <sup>ns</sup>  | 0,07 <sup>ns</sup> | 100      |

(1) <sup>\*\*\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>ns</sup>, significativo ao teste de correlação de Pearson ao nível de 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.



**Figura 3.** Análise de componentes principais (PCA) dos resultados de componentes de produção e qualidade nutricional do arroz de terras altas, cultivados em Palotina (a) e Rio Verde (b), safra 2012. Abreviações: BRS Sertaneja (BRS) e ZEBU Ligeiro (ZEBU).

## 1.6. CONCLUSÕES

- 1- A aplicação de fertilizantes contendo Zn aumenta os teores deste micronutriente nos grãos de arroz de terras altas, mesmo em solos com valores de Zn disponível acima do nível crítico, sendo o melhor método a conciliação da aplicação via solo com complementação foliar;
- 2- Há relação inversa entre produtividade e concentração de Zn nos grãos, independente do ambiente de produção;
- 3- A interação genótipo ambiente determina o potencial produtivo e, conseqüentemente, a qualidade nutricional dos grãos. Desta forma, nas condições do presente trabalho, em razão da baixa produtividade do cultivar com potencial para biofortificação, torna-se mais viável utilizar uma cultivar comercial com alta produção e realizar a aplicação de zinco, elevando a concentração e acúmulo do mesmo nos grãos;
- 4- Em razão da baixa produtividade da cultivar com potencial para biofortificação, faz-se necessário nos programas de melhoramento voltados a biofortificação, buscar o aumento de produtividade para esses cultivares.

## 1.7. LITERATURA CITADA

BREMNER, J.M. & EDWARDS, H.L. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. Soil Science Society of America Proceedings, 29:504-507, 1965.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Biofortification of Durum Wheat with Zinc and Iron. cereal chemistry, 87(1): 10-20, 2010.

CAMARGO, O.A. MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 2004.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA- Embrapa clima temperado. Cultivo de arroz irrigado no Brasil. Sistemas de produção, 3 ISSN 1806-9207 versão electrónica. Novembro 2005.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed., Brasília, Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

FAGERIA, N. K. Manejo da calagem e adubação do arroz. In: Flavio Breseghello & Luis Fernando Stone. (Org.) Tecnologia para o arroz de terras altas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa arroz e feijão, 1998. 67-78p.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, 2000, v.4 e.3, p. 390-395.

FANG, Y.; WANG, L.; XIN, Z.; ZHA, L.; XINXIN, A.; HU, G. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in china. J. Agric. Food Chem., 2008, v.56, e. 6, p. 2079–2084,

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. 2012. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>acesso em: 15 de maio 2012.

FULLER, W.H.; KORTE, N.E.; NIEBLA, E.E.; ALESII, B. A. Contribution of soil to the migration of certain common and trace elements. *Soil Science*, Baltimore, 1976, v.122, p.223-235.

GRAHAM, R. D.; ASCHER, J. S.; HYNES, S. C. Selection of zinc efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant Soil*, 1992, v.146, p. 241-250.

HEINEMANN, R.J.B., FAGUNDES, P.L., PINTO, E.A., PENTEADO, M.V.C. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis* 18: 287–296. Lanfer-Marquez, U.M. 2005.

JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs: Nitrogen determinations for soil and plant tissue. Prentice Hall, 1958, p.183-204.

KORTE, N.E.; SKOPP, J.; FULLER, W.H.; NIEBLA, E. E ; ALESII, B.A.. Trace element movement in soils: influence of soil physical and chemical properties. *Soil Science*, 1976, v. 122, p.350-359.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e perspectivas. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 201p.

MORAES, M. F.; NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, Viçosa. Anais. Viçosa, Agricultura, Pecuária e Cooperativismo: 2009. 300-312p.

NEVES, P. C. F. Avaliação agronômica de linhagem de arroz irrigado de viveiros internacionais. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. & GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.

PHATTARAKUL, N.; RERKASEM, B.; LI, L. J.; WU, L. H.; ZOU, C. Q.; RAM, H.; SOHU, V. S.; KANG, B. S.; SUREK, H.; KALAYCI, YAZICI, M. A.; ZHANG, F. S.; CAKMAK, I. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. *Plant and Soil*, 2012, v. 361, p. 131-141.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. IAC, 2001. 285p

SCHEEREN P. L.; CARVALHO J. L. V.; NUTTI M. R.; CAIERÃO E.; BASSOI M. C.; ALBRECHT J. C.; CASTRO R. L.; MIRANDA M. Z.; TORRES G. A. M.; TIBOLA C. S. Biofortificação em trigo no Brasil. In: *Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, Terezina – Piauí, Anais: IV Reunião Anual de Biofortificação no Brasil*, 2011.

SILVA, F. de S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional ASSISTAT para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, 2002, v.4, n.1, p.71-78.

STANGOULIS J, SISON C. 'Crop Sampling Protocols for Micronutrient Analysis'. *HarvestPlus Technical Monograph Series 7*. ISBN 978-0-9818176-0-6. 2008

TER BRAAK, C.J.F. & P. SMILAUER. *CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. Ithaca, Microcomputer Power, 500p, 2002.

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S. A.; CAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *Journal of Plant Nutrition*, 1997, v.20, e.4-5, p. 461-471.

WEI, Y.; SHOHAG, M.J.I.; YANG, X.; YIBIN, Z.; Effects of Foliar Iron Application on Iron Concentration in Polished Rice Grain and Its Bioavailability. *J. Agric. Food Chem*, 2012, v.60, e. 45, p. 11433-11439.

ZIMMERMANN, F.J.P. Estatística aplicada à pesquisa agrícola. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402p.

## **CAPÍTULO II - FORMAS DE APLICAÇÃO DE ZINCO PARA BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DO FEIJÃO-CAUPI**

### **RESUMO**

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) está entre as culturas alimentares destaque de regiões secas e áreas marginais dos trópicos e subtropicais. A biofortificação do feijão-caupi, baseia-se principalmente no melhoramento convencional, com seleção de genótipos com maiores teores de nutrientes nos grãos. No Brasil faltam informações sobre métodos de adubação visando a biofortificação. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar formas de aplicação de zinco e sua relação com a qualidade nutricional dos grãos e aspectos agronômicos em cultivares de feijão-caupi. O estudo foi realizado em dois locais: Rio Verde - GO e Palotina - PR, Brasil. Em cada local, os experimentos foram constituídos de quatro tratamentos: (i) sem aplicação de Zn (controle); (ii) aplicação de Zn no solo (Zn-S); (iii) aplicação de Zn na folha (Zn-F) e (iv) aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 4 repetições, totalizando 32 parcelas. A aplicação de Zn no solo foi realizada no plantio, com fornecimento de 250 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 8-30-20, que apresentava 4% de Zn (10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn). Nos tratamentos controle e Zn foliar, o formulado não continha Zn. Para aplicação de Zn foliar, foi utilizada uma solução com 2% de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), em taxa de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup> (equivalente a 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn) e realizada no início do enchimento dos grãos. Foram cultivados dois genótipos de feijão-caupi: BRS Guariba e BRS Xiquexique, sendo o primeiro escolhido por ser cultivar comercial de alto rendimento e o segundo por apresentar potencial para biofortificação (maiores teores de Zn nos grãos). Em geral, os teores de Zn nas folhas e grãos aumentaram com aplicação desse micronutriente, mesmo em solos com teores acima do nível crítico. Não houve incremento de produtividade em razão da aplicação de zinco, todavia, observou-se relação inversa entre produtividade e concentrações de Zn nos grãos de feijão-caupi. O acúmulo de Zn nos grãos foi determinado pelas diferenças de produtividade dos cultivares, sendo maiores nos cultivares comerciais em razão das altas produtividades. Em conclusão, a interação genótipo ambiente determina o potencial produtivo e, conseqüentemente, também a qualidade nutricional dos grãos. Desta forma, nas condições do presente trabalho, em razão da baixa produtividade dos cultivares com potencial para biofortificação, torna-se mais viável a utilização de cultivares comerciais com alta produtividade e aplicação de zinco (no solo ou pulverização foliar), elevando a concentração e

acúmulo do mesmo nos grãos. Faz-se necessário, nos programas de melhoramento genético voltados a biofortificação, buscar o aumento de produtividade para esses cultivares.

**Palavras-chave:** Micronutrientes, qualidade de alimentos, nutrição de plantas, *Vigna unguiculata*.

## CHAPTER II - ZINC APPLICATION FORMS FOR AGRONOMIC BIOFORTIFICATION OF COWPEA BEANS

### ABSTRACT

Cowpea beans (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is among the food crops highlight of drylands and marginal areas of tropics and subtropics. Biofortification of cowpea beans is based mainly on conventional breeding, selecting genotypes with high concentrations of nutrients in grains. In Brazil there is lack of information on methods of fertilization aimed to biofortification. Thus, the objective of this study was to evaluate zinc application forms and its relationship with nutritional quality of grain and agronomic aspects in cowpea beans. The study was conducted at two locations: Rio Verde - GO Palotina - PR, Brazil. In each place, the experiments were composed of four treatments: (i) without Zn application (control treatment); (ii) Zn soil application (Zn-S); (iii) Zn foliar application (Zn-F); (iv) Zn soil and leaf application (Zn-S + F). The experimental design was a randomized block, with 4 replications, totaling 32 plots. Zn soil application was made at planting, with supply of 250 kg ha<sup>-1</sup> of a formulated NPK 8-30-20, which had 4% of Zn (10 kg ha<sup>-1</sup> Zn ). In the control and Zn foliar treatments, the formulated do not contained Zn. For Zn foliar application was used a solution containing 2% zinc sulfate (ZnSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), with application rate of 200 L ha<sup>-1</sup> (equivalent to 910 g ha<sup>-1</sup> Zn) and performed at the beginning of the filling the grains. Two genotypes of cowpea beans were grown: BRS Guariba and BRS Xiquexique, being the first was chosen because is the most planted commercial cultivar with high yield and the second by presenting potential for biofortification (higher levels of Zn in the grain). In general, Zn concentration in leaves and grains increased with application of this nutrient, even in soils with Zn concentrations above the critical level. There was no yield increase due to Zn application, however, there was an inverse relationship between yield and grain Zn concentrations of cowpea beans. Grain Zn accumulation was determined by the differences in yield of the cultivars, being higher in commercial cultivars due to high yield. In conclusion, the interaction genotype-environment determines the yield potential and, hence also the nutritional quality of grains. Thus, under the conditions of this study, due to the low yield of cultivar with potential for biofortification, it becomes more feasible to use a cultivar with high yield and to do zinc application (in soil or via foliar spray), increasing the concentration and accumulation of Zn in grains. It is necessary, in breeding programs aimed biofortification try to increase the yield for these cultivars.

**Key-words:** micronutrients, food quality, plant nutrition, *Vigna unguiculata*.

### 2.3. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) está entre as culturas alimentares destaque de regiões secas e áreas marginais dos trópicos e subtropicais, incluindo partes da Ásia, Oceania, o centro-oeste e sudeste da Europa, África, sudeste dos Estados Unidos, América Central e do Sul. Atualmente os maiores produtores são: Nigéria, Níger e Brasil. Estima-se que essa leguminosa seja cultivada em cerca de 14,5 milhões de hectares, com produção anual superior a 4,5 milhões de toneladas (Singh, 2005), e produtividade média no Brasil em torno de 366 kg ha<sup>-1</sup> (Silva, 2009).

Ao nível nutricional, desempenha importante papel, pois é fonte de proteínas, nutrientes como: ferro (Fe), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), vitaminas (principalmente do complexo B), carboidratos e fibras (Mesquita et al., 2007). Devido ao alto teor de proteína e outras propriedades nutricionais, é considerado um importante alimento para nutrição humana, principalmente em países em desenvolvimento. Dessa forma, sendo foco de estudos de biofortificação, juntamente com o trigo, milho, arroz, mandioca e dentre outras espécies de importância alimentar.

A biofortificação do feijão-caupi baseia-se principalmente no melhoramento genético convencional, com seleção de genótipos que acumulam maiores teores de nutrientes nos grãos. Em trabalhos desenvolvidos com banco de germoplasma de feijão-caupi da coleção do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na Colômbia, constatou-se que há variabilidade genética suficiente para aumentar em 80% o conteúdo de ferro nos grãos e em 50% o teor de zinco (Beebe et al., 2000). Além disso, observa-se a presença de variabilidade genética para teores de diversos microminerais em cultivares de feijão (Barampama & Simard, 1993; Beebe et al., 2000; Guzmán-Maldonado et al., 2000; Araújo et al., 2003; Cichy et al., 2005). Para complementar as ações do melhoramento genético convencional, outras intervenções visando aumentar a concentração de nutrientes nos grãos de feijão também estão sendo realizadas, com destaque para a adubação com micronutrientes, que tem proporcionado resultados iniciais promissores.

Nesse contexto, os avanços obtidos com a biofortificação genética (seleção) do feijão-caupi partiu de teores comuns nos grãos em torno de 20 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e 40 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, chegando a 40 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e 70 mg kg<sup>-1</sup> de Fe (Moraes et al., 2009). Porém, os teores alvos para Zn e Fe no feijão-caupi, estipulados pelo Programa HarvestPlus, é de: 50 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e

100 mg kg<sup>-1</sup> de Fe. Para que seja possível obter os teores nutricionais exigidos, se faz necessário novos estudos envolvendo cultivares com potencial para biofortificação e manejo da aplicação de zinco. Dessa forma, o trabalho objetivou avaliar formas de aplicação de zinco e sua relação com a qualidade nutricional dos grãos e aspectos agronômicos em cultivares de feijão-caupi.

## **2.4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL**

O experimento foi instalado em dois ambientes:

#### **Palotina-PR**

Localizado no Sul do Brasil e Oeste paranaense. O clima da região, conforme classificação de Köppen, é caracterizado como Cfa (subtropical úmido mesotérmico), com verões quentes e invernos frios ou amenos. A temperatura média anual é de 20°C, precipitação pluviométrica média anual em torno de 1600 mm e altitude de 332 m. Geadas são frequentes no período frio.

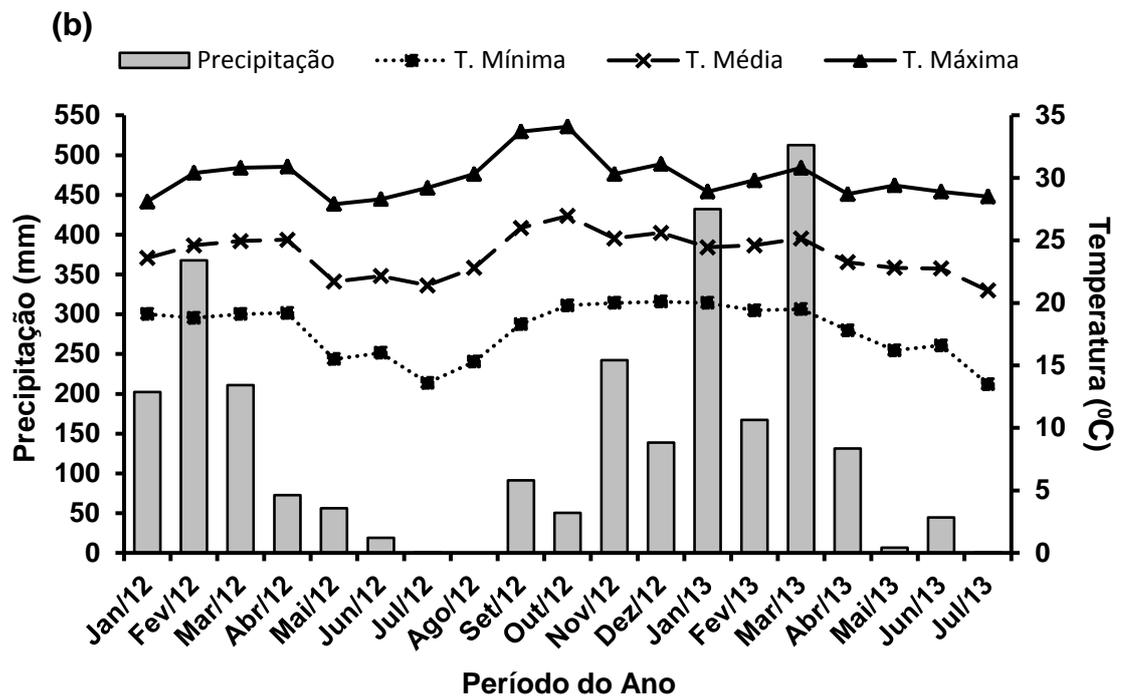
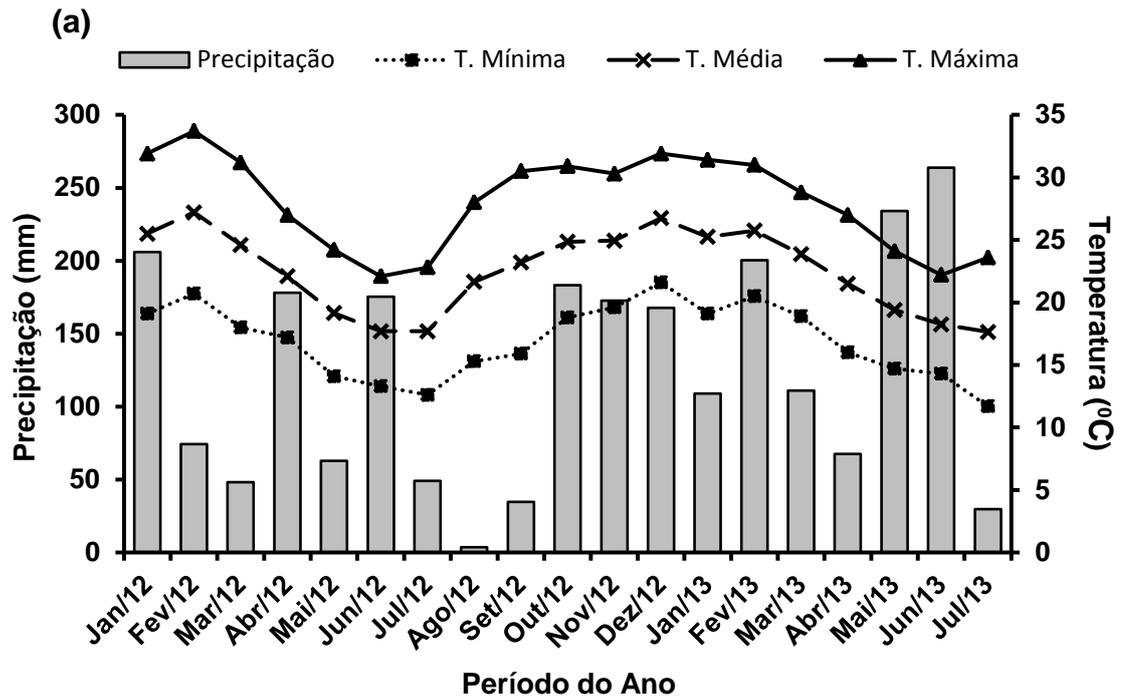
Os experimentos foram realizados na área experimental da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC), situada nas coordenadas 24°21'10.37" S e 53°45'26.57" W. O solo foi classificado como: LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico, muito argiloso, segundo EMBRAPA (2006).

#### **Rio Verde-GO**

Está localizado no Centro-Oeste brasileiro e na microrregião Sudoeste do Estado de Goiás. O clima é mesotérmico úmido, apresentando duas estações bem definidas: uma seca (de maio a outubro) e outra chuvosa (novembro a abril). A temperatura média anual varia de 20°C a 35°C e a altitude corresponde a 748 m.

Os experimentos foram desenvolvidos na área experimental do Centro de Pesquisa Agrícola (CPA), situado nas coordenadas 17°45'57.5" S e 051°01'46.3" W. O solo foi classificado como: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutroférrico, argilo-arenoso, segundo EMBRAPA (2006).

Os dados climatológicos do período de cultivo, nos dois ambientes estão apresentados na Figura 1.



**FIGURA 1.** Dados climatológicos referente ao período de condução dos experimentos em Palotina-PR (a) e Rio Verde-GO (b). Fonte: Somar meteorologia, 2013.

#### 2.4.2. INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados a campo, no ano agrícola 2012/2013, obtendo uma safra em cada local.

#### 2.4.3. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado foi em blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 4 x 2 (tratamentos x cultivares), com 4 repetições, totalizando 32 parcelas em cada local. Foi realizado um experimento em Palotina-PR e outro em Rio Verde-GO.

Em cada experimento os tratamentos consistiram de: (i) sem aplicação de Zn (controle); (ii) aplicação de Zn no solo (Zn-S); (iii) aplicação de Zn na folha (Zn-F) e (iv) aplicação de Zn no solo e na folha (Zn-S+F). A aplicação de Zn no solo foi realizada no plantio, por meio da aplicação de 250 kg ha<sup>-1</sup> de um formulado NPK 8-30-20, com 4% de Zn na forma de óxido finamente moído, que correspondeu a uma dose de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. Essa dose é considerada alta, porém, segundo Fageria (2000), doses entre 2 a 20 kg ha<sup>-1</sup> de Zn proporcionaram maior produção de matéria seca em arroz, feijão, milho, soja e trigo, mostrando não ser uma dose tóxica as plantas. Doses tóxicas iniciaram-se a partir de 80 kg ha<sup>-1</sup> de Zn. Nos tratamentos controle e Zn foliar, o formulado não continha Zn. Para aplicação de Zn na folha utilizou-se uma solução com 2% de sulfato de zinco penta-hidratado (ZnSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), em taxa de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn. A aplicação foliar foi realizada no estágio de desenvolvimento da cultura que correspondeu ao início do enchimento dos grãos, melhor momento para aplicação foliar (Yilmaz et al., 1997). A dose utilizada tanto para adubação de Zn no solo quanto via foliar seguiu os padrões sugeridos pelos projetos internacionais de pesquisa em biofortificação agrônômica do Programa HarvestZinc (Cakmak et al. 2010; Zou et al. 2012).

Em cada experimento foram utilizadas duas cultivares de feijão-caupi, sendo uma a mais cultivada na determinada região e a outra escolhida com base nas pesquisas de biofortificação do Programa Embrapa-HarvestPlus. Nesse programa, genótipos são selecionados com base em características de desempenho agrônômico, qualidades tecnológicas e de potencial para biofortificação (altas concentrações de Zn e Fe), segundo Rocha et al. (2011). Desta forma, foram selecionados os cultivares BRS Guariba e BRS Xiquexique, correspondendo as cultivares mais plantadas da região e com características para biofortificação, respectivamente.

#### 2.4.4. TRATOS CULTURAIS

Antes da instalação da cultura, foi realizada a análise química e física do solo para cada área utilizada, na profundidade de 0-20 cm, para fins de correção e adubação do solo (Tabela 1). Conforme análise, não foi necessária a aplicação de calcário em nenhum ambiente de cultivo, pois as saturações por bases estavam acima do exigido para cultura do feijão-caupi altas. As operações de adubação, controle fitossanitário e diagnose nutricional (análise foliar), seguiram as recomendações técnicas para a cultura do feijão-caupi Andrade Júnior et al. (2003) e Melo et al. (2005).

**Tabela 1:** Análise química e física do solo de Palotina-PR e Rio Verde-GO, safra 2012/2013. Análises realizadas antes do cultivo do feijão-caupi.

| Amostra           | pH                             | Al  | H + Al | Ca     | Mg                | K                             | P                   | C                  |
|-------------------|--------------------------------|---|--------|--------|-------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|
|                   | CaCl <sub>2</sub>              | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |        |        |                   |                               | mg dm <sup>-3</sup> | g dm <sup>-3</sup> |
| Palotina*<br>2012 | 4,60                           | 0,07  | 6,45   | 3,75   | 1,35              | 0,57                          | 23,28               | 11,72              |
|                   | Cu                             | Zn  | Fe     | Mn     | S-SO <sub>4</sub> | Areia                         | Silte               | Argila             |
|                   | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |   |        |        |                   | -----g kg <sup>-1</sup> ----- |                     |                    |
|                   | 17,95                          | 3,01  | 38,32  | 200,93 | 11,91             | 151,5                         | 121,5               | 727,0              |
| Amostra           | pH                             | Al  | H + Al | Ca     | Mg                | K                             | P                   | C                  |
|                   | CaCl <sub>2</sub>              | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |        |        |                   |                               | mg dm <sup>-3</sup> | g dm <sup>-3</sup> |
| Rio Verde<br>2012 | 5,91                           | 0,00  | 1,00   | 3,68   | 2,22              | 0,12                          | 3,09                | 16,35              |
|                   | Cu                             | Zn  | Fe     | Mn     | S-SO <sub>4</sub> | Areia                         | Silte               | Argila             |
|                   | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |   |        |        |                   | -----g kg <sup>-1</sup> ----- |                     |                    |
|                   | 29,43                          | 1,97  | 61,02  | 1,93   | 1,50              | 468,3                         | 116,4               | 415,3              |

\* As análises química do solo foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (2009), com exceção da determinação de C e S-SO<sub>4</sub> realizadas segundo Raij et al. (2001). DTPA (ICP-OES); Al, Ca e Mg - Cloreto de potássio; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn - Mehlich-1; C - Colorimétrica; H + Al - Solução tampão SMP; S-SO<sub>4</sub> Fosfato mono cálcico. As análises física do solo seguiu a metodologia de Camargo et al. (1986).

As parcelas apresentaram 4 fileiras de 5 m. No entanto, o espaçamento foi diferente, adotado conforme o porte da cultivar. Para BRS Guariba, por ser de porte semiereto, o espaçamento entre fileiras é de 0,50 m e para BRS Xiquexique, de porte semiprostrada, o espaçamento entre fileiras foi de 0,80 m. O espaçamento entre plantas foi de 0,25 m e 10 sementes por metro linear, para ambos os portes. Essas dimensões equivalem a uma área de 10 m<sup>2</sup> e 16 m<sup>2</sup>, correspondente a uma área útil de 4,00 m<sup>2</sup> e 6,40 m<sup>2</sup> respectivamente.

#### 2.4.5. VARIÁVEIS RESPOSTAS

As plantas de feijão foram cultivadas até a maturidade fisiológica dos grãos. Ao longo do desenvolvimento da cultura, realizou análise foliar e determinaram-se as variáveis respostas de rendimento e qualidade nutricional dos grãos, conforme descritas nos itens a seguir:

##### 2.4.5.1. PRODUTIVIDADE E MASSA DE 1000 GRÃOS

Foram determinadas pela colheita da área útil de cada unidade amostral. Depois de colhido, descontou-se a umidade, na sequência extrapolaram-se os dados de produtividade para  $\text{kg ha}^{-1}$ . A partir do mesmo material coletado, realizou a contagem e medição da massa de 1000 grãos. A colheita foi realizada de forma manual, seguindo procedimentos do Programa HarvestPlus de Biofortificação (Stangoulis & Sison, 2008), com intuito de evitar a contaminação das amostras para a análise nutricional dos grãos.

##### 2.4.5.2. QUALIDADE NUTRICIONAL DO GRÃO

Para determinação dos macronutrientes e micronutrientes no tecido vegetal, pesou-se 0,25 g de cada amostra e digeriu-se as mesmas com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), sob sistema fechado em forno micro-ondas modelo Mars Xpress (CEM), com posterior quantificação em ICP-OES (Malavolta et al., 1997). Para determinação do N-total no tecido vegetal, pesou-se 0,1 g de massa seca e procedeu-se a digestão com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) em bloco digestor, com posterior quantificação pelo método analítico Kjeldahl (Bremner & Edwards, 1965). O teor de proteína dos grãos foi obtido pela multiplicação do teor de N-total pelo fator geral de conversão (6,25). Amostras tecido vegetal (*Vicia faba*, IPE 903) e (*Phaseolus vulgaris*, IPE 192) certificadas pela Wageningen Evaluating Programs for Analytical Laboratories (International Plant-Analytical Exchange) foram utilizadas para garantir o controle de qualidade das análises.

#### 2.4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizado teste de homogeneidade das variâncias e os resultados submetidos à análise de variância (teste F). Quando significativos, foram comparados por meio do teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade (Zimmermann, 2004). Para determinação do grau de associação/dependência entre as variáveis, foi efetuada análise multivariada e teste de correlação linear de Pearson, utilizando-se os softwares CANOCO (Ter Braak & Smilauer, 2002) e SAS (Pimentel-Gomes & Garcia, 2002), respectivamente.

## 2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa para o tratamento Zn-S quanto aos teores de Zn em relação ao tratamento controle (Tabela 2). Os maiores teores foliares de Zn foram obtidos no cultivar BRS Guariba, que apresentou 38,12 mg kg<sup>-1</sup> em Palotina e 25,81 mg kg<sup>-1</sup> em Rio Verde. Para os demais nutrientes houve efeitos pontuais isolados de diferença entre tratamentos ou entre cultivares. Observou-se aumento dos teores foliares de Fe com a aplicação de Zn, com exceção para o cultivar BRS Xiquexique em Palotina (Tabela 2). A maioria dos casos de diferenças nos teores foliares estão associadas aos micronutrientes em Rio Verde.

Os teores foliares de Zn considerados adequados para cultura do feijão-caupi situam-se entre 40-50 mg kg<sup>-1</sup> (Malavolta et al., 1997). Observa-se que os teores foliares de Zn obtidos no presente trabalho variaram entre 21,24 a 38,12 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (Tabela 2), portanto, estavam abaixo da faixa de suficiência.

Os teores foliares dos nutrientes Zn, Fe, Mn e B (Tabela 2) também estariam abaixo do nível considerado adequado, segundo Malavolta et al. (1997). No entanto, outros manuais de adubação como CQFS-RS/SC (2004), Rajj et al. (1997) e Sousa & Lobato (2004), apresentaram faixas mais amplas e segundo estes, todos os teores foliares estariam dentro da faixa considerada adequada para a cultura do feijão-caupi. Desta forma, ressalta-se que não foram observados sintomas visuais de deficiência nutricional para nenhum nutriente e as plantas apresentaram desenvolvimento e produtividade dentro do esperado para cultura.

O teor de N nos grãos apresentou diferença estatística entre cultivares em Palotina e entre tratamentos em Rio Verde (Tabelas 3 e 4). Os nutrientes P, K, Mg, Fe e Mn (Tabela 3) e P e S (Tabela 4) não diferiram significativamente entre tratamentos e cultivares. Por outro lado, para Ca, Cu, B (Tabela 3) e K, Ca, Cu, Mn, B (Tabela 4) não houve diferença significativa entre tratamentos, mais ocorreu diferença significativa entre cultivares.

Em geral, o cultivar BRS Xiquexique apresentou maiores teores de Zn nos grãos e houve diferença significativa entre tratamentos e ambiente (Tabelas 3 e 4). Os maiores teores de Zn foram obtidos nos tratamentos Zn-F e Zn-S+F em Palotina. Para o nutriente Fe houve diferença significativa apenas entre tratamentos, nos quais os maiores teores foram obtidas nos tratamentos Zn-F e Zn-S+F.

Avaliando formas de aplicação de nutrientes em feijão-caupi, Phattarakul et al. (2012), relatam aumentos nas concentrações de Zn e Fe nos grãos com a aplicação individuais de Zn via foliar e aplicações combinadas no solo e via foliar. Da mesma forma, Cakmak et al.

(2010) avaliaram doses e métodos de aplicação de Zn e observaram aumento na produtividade e concentração do elemento nos grãos de cereais com o tratamento Zn via solo conciliada com aplicação foliar.

Ao determinar as quantidades de zinco presentes em alimentos consumidos na Espanha, Terrés et al. (2001), observaram que os teores de Zn em alimentos ricos em proteínas eram significativamente maiores que os encontrados em alimentos com baixo teor proteico. Isso explica parcialmente porque os teores de Zn nos grãos de feijão-caupi são maiores que os teores em cereais como arroz de terras altas (Ver Capítulo I), uma vez que, leguminosas como feijão-caupi contém por natureza maiores teores de proteínas nos grãos.

**Tabela 2:** Resultados médios de macro e micronutrientes da análise foliar de cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Xiquexique) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em distintos ambientes (Palotina e Rio Verde), safra de 2012.

| Nutrientes <sup>(1)</sup> | Palotina                       |          |                |          | Rio verde   |          |                |          |
|---------------------------|--------------------------------|----------|----------------|----------|-------------|----------|----------------|----------|
|                           | BRS Guariba                    |          | BRS Xiquexique |          | BRS Guariba |          | BRS Xiquexique |          |
|                           | Controle <sup>(2)</sup>        | Zn-S     | Controle       | Zn-S     | Controle    | Zn-S     | Controle       | Zn-S     |
|                           | -----g kg <sup>-1</sup> -----  |          |                |          |             |          |                |          |
| <b>N</b>                  | 41,87 a                        | 41,81 a  | 42,24 a        | 41,14 a  | 56,38 a     | 54,73 a  | 57,12 a        | 56,34 a  |
| <b>P</b>                  | 3,61 a                         | 3,37 a   | 3,64 a         | 3,46 a   | 2,57 b      | 2,89 a   | 3,07 a         | 2,96 a   |
| <b>K</b>                  | 34,22 a                        | 32,04 a  | 31,12 a        | 32,24 a  | 20,03 a     | 20,61 a  | 20,63 a        | 22,58 a  |
| <b>Ca</b>                 | 24,88 a                        | 21,83 a  | 26,50 a        | 29,79 a  | 15,01 a     | 15,45 a  | 17,87 a        | 16,28 a  |
| <b>Mg</b>                 | 6,01 a                         | 5,93 a   | 5,70 a         | 5,49 a   | 5,41 a      | 5,50 a   | 5,67 a         | 5,47 a   |
| <b>S</b>                  | 2,97 a                         | 2,57 a   | 2,78 a         | 2,92 a   | 2,42 a      | 2,38 a   | 2,50 a         | 2,37 a   |
|                           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |          |                |          |             |          |                |          |
| <b>Cu</b>                 | 6,22 b                         | 8,49 a   | 6,22 a         | 6,10 a   | 5,99 a      | 6,18 a   | 6,97 a         | 6,91 a   |
| <b>Zn</b>                 | 31,53 a                        | 38,12 a  | 32,07 a        | 32,09 a  | 21,24 b     | 25,81 a  | 21,87 b        | 24,54 a  |
| <b>Fe</b>                 | 112,44 a                       | 119,63 a | 114,09 a       | 112,24 a | 136,05 b    | 174,24 a | 114,52 b       | 133,21 a |
| <b>Mn</b>                 | 143,10 a                       | 151,70 a | 180,54 a       | 174,27 a | 133,21 a    | 121,69 b | 120,04 b       | 137,17 a |
| <b>B</b>                  | 69,49 a                        | 75,68 a  | 71,53 a        | 72,08 a  | 38,96 a     | 39,38 a  | 41,49 b        | 51,97 a  |

<sup>(1)</sup>Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965).

<sup>(2)</sup>Controle (sem aplicação de Zn) e Zn-S (aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo). <sup>(3)</sup>Médias seguidas pela mesma letra (minúscula) na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

**Tabela 3.** Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Xiquexique) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em Palotina, safra de 2012.

| Nutrientes <sup>(1)</sup> | BRS GUARIBA                    |           |           |           | BRS Xiquexique |           |           |           |
|---------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
|                           | Controle <sup>(2)</sup>        | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    | Controle       | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    |
|                           | -----g kg <sup>-1</sup> -----  |           |           |           |                |           |           |           |
| <b>N</b>                  | 29,00 a A                      | 29,50 a A | 30,04 a A | 29,11aA   | 26,55 a B      | 28,45 a B | 27,84 a B | 27,68 a B |
| <b>P</b>                  | 4,65 a A                       | 4,48 a A  | 4,66 a A  | 4,44 a A  | 4,36 a A       | 4,59 a A  | 4,79 a A  | 4,62 a A  |
| <b>K</b>                  | 11,16 a A                      | 11,48 a A | 10,97 a A | 11,94 a A | 11,61 a A      | 11,59 a A | 10,86 a A | 11,97 a A |
| <b>Ca</b>                 | 0,61 a B                       | 0,71 a B  | 0,66 a B  | 0,63 a B  | 0,74 a A       | 0,96 a A  | 0,98 a A  | 0,83 a A  |
| <b>Mg</b>                 | 2,58 a A                       | 2,62 a A  | 2,50 a A  | 2,59 a A  | 2,46 a A       | 2,63 a A  | 2,83 a A  | 2,49 a A  |
| <b>S</b>                  | 2,34 a A                       | 2,06 a A  | 2,27 a A  | 1,99 a A  | 1,71 a B       | 1,82 a B  | 1,84 a B  | 1,77 a B  |
|                           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |           |           |           |                |           |           |           |
| <b>Cu</b>                 | 4,62 a B                       | 5,29 a B  | 4,29 a B  | 5,60 a B  | 5,84 a A       | 6,01 a A  | 6,24 a A  | 5,78 a A  |
| <b>Zn</b>                 | 40,56 b B                      | 42,24 b B | 43,29 a B | 45,62 a B | 44,61 b A      | 44,76 b A | 54,04 a A | 47,95 a A |
| <b>Fe</b>                 | 63,74 a A                      | 63,99 a A | 66,21 a A | 65,69 a A | 69,22 a A      | 67,33 a A | 64,62 a A | 66,33 a A |
| <b>Mn</b>                 | 22,84 a A                      | 22,17 a A | 23,11 a A | 21,91 a A | 21,91 a A      | 22,10 a A | 23,19 a A | 19,28 a A |
| <b>B</b>                  | 12,42 a B                      | 14,60 a B | 12,29 a B | 15,88 a B | 15,97 a A      | 15,74 a A | 17,13 a A | 16,04 a A |

<sup>(1)</sup> Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). <sup>(2)</sup> Controle (sem aplicação de Zn), Zn-S (aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo) Zn-F (aplicação de 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn na folha), Zn-S+F (aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo + aplicação de 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn na folha). <sup>(3)</sup> Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na horizontal (estatística entre ambientes), não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

**Tabela 4:** Resultados médios de macro e micronutrientes da análise de grãos de cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Xiquexique) sem (Controle) e com aplicação de zinco no solo (Zn-S), em Rio Verde, safra de 2012.

| Nutrientes <sup>(1)</sup> | BRS GUARIBA                    |           |            |           | BRS Xiquexique |           |           |           |
|---------------------------|--------------------------------|-----------|------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
|                           | Controle <sup>(2)</sup>        | Zn-S      | Zn-F       | Zn-S+F    | Controle       | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    |
|                           | -----g kg <sup>-1</sup> -----  |           |            |           |                |           |           |           |
| <b>N</b>                  | 29,18 b A                      | 30,25 a A | 30,18 a A  | 31,35 a A | 29,12 b A      | 31,14 a A | 30,74 a A | 31,21 a A |
| <b>P</b>                  | 3,53 a A                       | 3,37 a A  | 3,43 a A   | 3,81 a A  | 3,41 a A       | 3,46 a A  | 3,62 a A  | 3,78 a A  |
| <b>K</b>                  | 8,43 a B                       | 9,39 a B  | 8,67 a B   | 9,11 a B  | 10,52 a A      | 10,67 a A | 10,54 a A | 10,70 a A |
| <b>Ca</b>                 | 0,47 a B                       | 0,43 a B  | 0,53 a B   | 0,46 a B  | 0,59 a A       | 0,54 a A  | 0,58 a A  | 0,52 a A  |
| <b>Mg</b>                 | 2,37 a A                       | 2,36 a A  | 2,49 a A   | 2,47 a A  | 2,27 a B       | 2,24 a B  | 2,27 a B  | 2,38 a B  |
| <b>S</b>                  | 1,88 a A                       | 1,95 a A  | 1,85 a A   | 1,92 a A  | 1,84 a A       | 1,91 a A  | 1,85 a A  | 1,93 a A  |
|                           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |           |            |           |                |           |           |           |
| <b>Cu</b>                 | 5,24 a B                       | 5,41 a B  | 5,22 a B   | 5,29 a B  | 5,56 a A       | 5,73 a A  | 5,56 a A  | 5,62 a A  |
| <b>Zn</b>                 | 31,97 b B                      | 33,75 b B | 37,98 a B  | 38,80 a B | 31,95 b A      | 34,07 b A | 48,78 a A | 46,56 a A |
| <b>Fe</b>                 | 63,68 b A                      | 63,38 b A | 70,46 a A  | 66,29 a A | 63,72 b A      | 62,75 b A | 67,85 a A | 69,37 a A |
| <b>Mn</b>                 | 15,02 a B                      | 14,91 a B | 13,23b a B | 14,34 a B | 15,90 a A      | 15,23 a A | 14,98 b A | 16,37 a A |
| <b>B</b>                  | 12,98 a B                      | 13,64 a B | 14,15 a B  | 13,71 a A | 16,67 a A      | 15,34 a A | 15,66 a A | 15,22 a A |

(1) Macro e micronutrientes determinados conforme metodologia de Malavolta et al. (1997), com exceção para o N, obtido de acordo com Bremner & Edwards (1965). (2) Controle (sem aplicação de Zn), Zn-S (aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo) Zn-F (aplicação de 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn na folha), Zn-S+F (aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Zn no solo + aplicação de 910 g ha<sup>-1</sup> de Zn na folha). (3) Médias seguidas pela mesma letra na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na horizontal (estatística entre ambientes), não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

O cultivar BRS Guariba obteve maiores médias para variável massa de 1000 grãos, diferindo estatisticamente do cultivar BRS Xiquexique. Este comportamento ocorreu nos dois ambientes e não houve diferença significativa entre tratamentos (Tabela 5).

Houve diferença significativa para produtividade entre cultivares, na qual o cultivar BRS Guariba foi superior nos dois ambientes quando comparada a cultivar BRS Xiquexique, sendo maior no tratamento Zn-S. Nesse tratamento o cultivar BRS Guariba apresentou produtividade média de 1183 kg ha<sup>-1</sup> em Palotina e 1234 kg ha<sup>-1</sup> em Rio Verde (Tabela 5 e Figura 2). A superioridade produtiva do cultivar BRS Guariba era esperada, uma vez que esse material tem apresentando altas performances em diversos ambientes, conforme Santos et al. (2009a, b) e Santos et al. (2011).

Para concentração de Zn nos grãos houve diferença significativa entre tratamentos e entre cultivares nos dois ambientes estudados. O cultivar BRS Xiquexique apresentou maiores teores de Zn nos grãos nos tratamentos Zn-F e Zn-S+F (Figura 2 e Tabela 6), obtendo maior teor nos dois ambientes e alcançando valores médios de 54,0 mg kg<sup>-1</sup> em Palotina e 48,8 mg kg<sup>-1</sup> em Rio Verde. Para variável concentração de Fe nos grãos não houve diferença significativa entre tratamentos e cultivares. Entretanto, o teor de proteína apresentou diferença significativa apenas entre cultivares (Tabela 6).

Houve diferença significativa entre tratamentos para as duas cultivares no acúmulo de Zn nos grãos quando submetidas a aplicação Zn-S+F no município de Palotina, em Rio Verde as médias entre tratamentos não apresentaram diferença significativa mas entre cultivares apresentaram diferença estatística, destacando a cultivar BRS Guariba com valores de 49,05 g ha<sup>-1</sup> em Palotina e 61,11 g ha<sup>-1</sup> em Rio Verde (Tabela 6 e Figura 2).

De forma geral, a acumulação de Zn seguiu o mesmo comportamento da produtividade, sendo maior para o cultivar BRS Guariba, em razão de sua alta performance em produtividade. Houve diferença significativa entre tratamentos quanto ao acúmulo de Zn nos grãos em Palotina, com maior acúmulo no tratamento Zn-S+F. Por outro lado, em Rio Verde observou-se diferença significativa apenas entre cultivares, destacando-se o cultivar BRS Guariba com acumulação em torno de 61 g ha<sup>-1</sup> nos tratamentos Zn-S e Zn-S+F, ao passo que nos mesmos tratamentos o cultivar BRS Xiquexique acumulou 34 g ha<sup>-1</sup> (Tabela 6 e Figura 2).

Os resultados do presente trabalho mostram a ótima estabilidade e adaptabilidade do feijão-caupi. Segundo Pinho et al. (2005), o feijão-caupi ao contrário do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e de outras leguminosas, adapta-se relativamente bem a uma ampla

faixa de clima e solo. Em estudo de competição de cultivares, Vilarinho et al. (2008) observaram boa produtividade e alta concentração de Fe e Zn para o cultivar BRS Xiquexique em Roraima.

Independente do ambiente, houve correlação significativa a 5% e 1% entre produtividade e qualidade nutricional dos grãos. Foi notória a relação inversamente proporcional entre concentração de Zn nos grãos e produtividade (Tabela 7). As concentrações de Fe e proteína apresentaram correlação positiva com a concentração de Zn nos grãos. O teor de proteína correlacionou-se positivamente com a produtividade apenas em Palotina. Esses resultados corroboram com Martins (2007), que ao estudar correlações de diversos atributos do solo com a produtividade do feijoeiro, também encontrou relação negativa entre produtividades e teores de Zn nos grãos.

A análise de componentes principais confirmam as correlações de Pearson. Os resultados de Palotina evidenciam relação proporcional entre: (1) produtividade e a concentração de proteína nos grãos; (2) concentração de Fe e Zn nos grãos (Figura 3a). Em Rio Verde não se observou esse comportamento, havendo relação inversamente proporcional entre produtividade e concentrações de proteína, Fe e Zn nos grãos (Figura 3b). A análise de componentes principais reforça a relação inversa entre produtividade e qualidade nutricional dos grãos, assim como observado no Capítulo I com a resposta do arroz de terras altas ao zinco.

**Tabela 7.** Influência dos métodos de aplicação de zinco na massa de 1000 grãos e produtividade de cultivares de feijão-caupi (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012.

| Cultivar       | Palotina                                  |           |           |           | Rio verde |           |           |           |
|----------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                | Controle <sup>(1)</sup>                   | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    | Controle  | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    |
|                | <b>Massa de 1000 grãos (g)</b>            |           |           |           |           |           |           |           |
| BRS Guariba    | 216,3 a A                                 | 212,8 a A | 214,2 a A | 205,7 a A | 189,4 a A | 191,0 a A | 193,8 a A | 187,7 a A |
| BRS Xiquexique | 187,4 a B                                 | 189,1 a B | 177,8 a B | 194,9 a B | 176,9 a B | 173,5 a B | 178,2 a B | 172,3 a B |
|                | <b>Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>)</b> |           |           |           |           |           |           |           |
| BRS Guariba    | 1156 a A                                  | 1183 a A  | 1033 a A  | 1110 a A  | 1199 a A  | 1234 a A  | 1186 a A  | 1213 a A  |
| BRS Xiquexique | 769 a B                                   | 830 a B   | 715 a B   | 878 a A   | 803 a B   | 865 a B   | 792 a B   | 830 a B   |

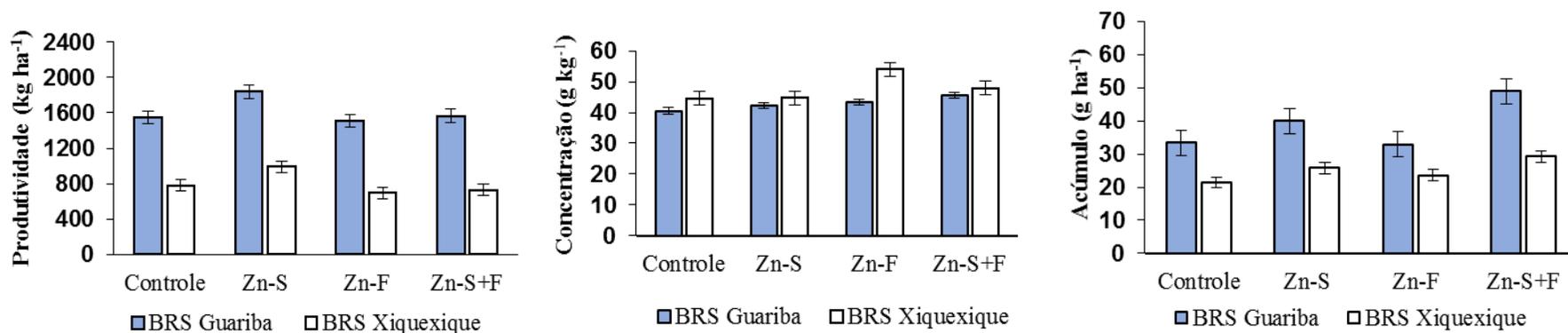
<sup>(1)</sup> Métodos de aplicação: Zn-S (Zinco aplicado no solo); Zn-F (Zinco aplicado via foliar) e Zn-S+F (Zinco aplicado no solo e via foliar). <sup>(2)</sup> Teste de Scott-Knott (5%), médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na vertical (estatística entre cultivares), não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade..

**Tabela 6.** Influência dos métodos de aplicação de zinco na concentração de Zn, Fe e proteína nos grãos de cultivares de feijão-caupi (média de quatro repetições). Palotina e Rio Verde, safra 2012.

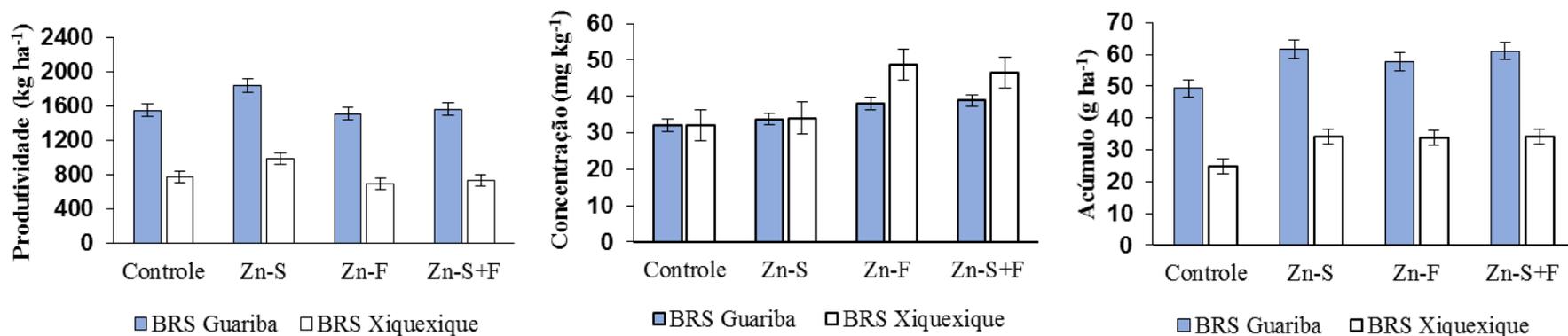
| Cultivar                                  | Concentração de Zn (mg kg <sup>-1</sup> ) |           |           |           |           |           |           |           |
|---|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|   | Palotina                                  |           |           |           | Rio Verde |           |           |           |
|   | Controle <sup>(1)</sup>                   | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    | Controle  | Zn-S      | Zn-F      | Zn-S+F    |
| BRS Guariba                               | 40,6 b B                                  | 42,3 b B  | 43,4 a B  | 45,6 a B  | 32,0 b B  | 33,8 b B  | 38,0 a B  | 38,8 a B  |
| BRS Xiquexique                            | 44,6 b A                                  | 44,8 b A  | 54,0 a A  | 48,0 a A  | 32,0 b A  | 34,1 b A  | 48,8 a A  | 46,6 a A  |
| Concentração de Fe (mg kg <sup>-1</sup> ) |   |           |           |           |           |           |           |           |
| BRS Guariba                               | 63,7 a A                                  | 64,0 a A  | 66,2 a A  | 65,7 a A  | 63,7 b A  | 63,4 b A  | 70,5 a A  | 66,3 a A  |
| BRS Xiquexique                            | 69,2 a A                                  | 67,3 a A  | 64,6 a A  | 66,3 a A  | 63,7 b A  | 63,8 b A  | 67,9 a A  | 69,4 a A  |
| Proteína (%)                              |   |           |           |           |           |           |           |           |
| BRS Guariba                               | 29,0 a A                                  | 29,5 a A  | 30,0 a A  | 29,1 a A  | 29,2 b A  | 30,3 a A  | 30,2 a A  | 31,4 a A  |
| BRS Xiquexique                            | 26,6 a B                                  | 28,5 a B  | 27,8 a B  | 27,7 a B  | 29,1 b A  | 31,1 a A  | 30,7 a A  | 31,2 a A  |
| Acúmulo (g ha <sup>-1</sup> )             |   |           |           |           |           |           |           |           |
| BRS Guariba                               | 33,46 b A                                 | 39,95 b A | 32,95 b A | 49,05 a A | 49,27 a A | 61,56 a A | 57,70 a A | 61,11 a A |
| BRS Xiquexique                            | 21,38 b B                                 | 25,81 b B | 23,65 b B | 29,33 a B | 24,80 a B | 34,29 a B | 33,66 a B | 34,06 a B |

(1) Métodos de aplicação: Zn-S (Zinco aplicado no solo); Zn-F (Zinco aplicado via foliar) e Zn-S+F (Zinco aplicado no solo e via foliar). (2) Teste de Scott-Knott (5%), médias seguidas pela mesma letra minúscula na horizontal (estatística entre tratamentos da mesma cultivar) e maiúscula na vertical (estatística entre cultivares), não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

## Palotina



## Rio verde



**FIGURA 2.** Influência do ambiente (Palotina e Rio Verde) e da forma de aplicação do Zn (Testemunha (Test), Zn aplicado no solo (Zn-S), Zn aplicado via foliar (Zn-F) e Zn aplicado no solo e via foliar (Zn-S+F)), no teor de Zn nos grãos e na produtividade de cultivares de feijão-caupi

Houve correlação significativa a 1% nos parâmetros Produtividade e Teor de Zn e Produtividade x Proteína, e significativa correlação a 5% nos parâmetros Teor de Zn x Teor de Fe dados referentes ao município de Palotina. Para o município de Rio Verde correlação significativa a 5% para os parâmetros Produtividade x Teor de Zn, Teor de Fe x Teor de Zn e Proteína x Teor de Zn (Tabela 7), corroborando com Martins (2007) que ao estudar a correlação de atributos físicos do solo com a produtividade encontrou correlações significativas entre produtividades e teores de Zn.

A análise de componentes principais dos dados de Palotina evidenciou que a produtividade e a concentração de proteína nos grãos apresentaram uma relação proporcional, como também observado entre a concentração de Fe e Zn (Figura 3a). No entanto, a produtividade e concentração de proteína apresentaram relação inversamente proporcional quando comparado a concentração de Zn e Fe, podendo afirmar que nas maiores produtividades e concentrações de proteína, tem-se as menores concentrações de nutrientes (Garcia et al., 2006; Szpunar, 2005). Foi possível observar também, que o cultivar BRS Guamirim se associou com as maiores produtividades e proteína nos grãos, quanto o BRS Xiquexique com as maiores concentrações de nutrientes, corroborando com Graham et al. (1992), que constataram relação positiva entre o aumento de Zn e Fe nos grãos. Fato esse importante, uma vez que o cultivar BRS Xiquexique apresenta características para biofortificação, tendendo a apresentar maiores concentrações de nutrientes em partes comestíveis, como observado nesse trabalho.

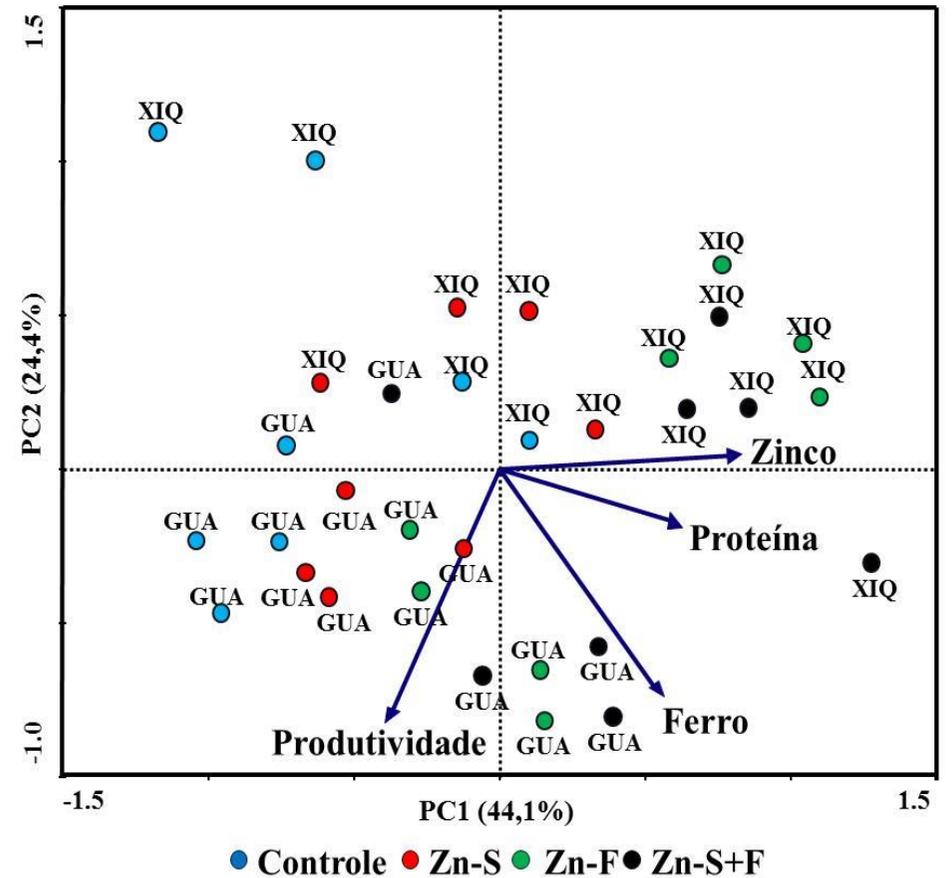
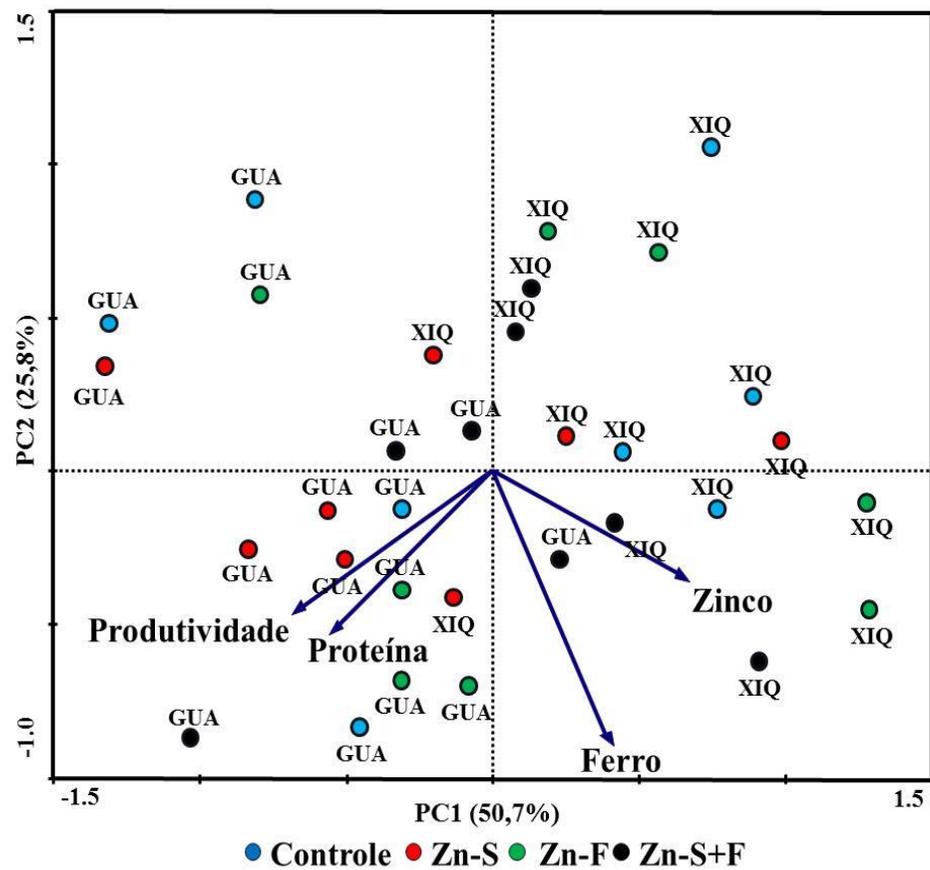
Houve relação inversamente proporcional entre produtividade e concentração de Zn, Fe e proteína, evidenciada pela análise de componentes principais dos dados de Rio Verde (Figura 3b). Corroborando com McDonald et al. (2008) e Murphy et al. (2008) que mostram em seus estudos relação inversa entre produtividade e concentrações de micronutrientes nos grãos. Entretanto, nota-se relação proporcional entre concentração de Zn, Fe e proteína.

Quanto aos cultivares, é notório que BRS Guariba relaciona-se com as maiores produtividades e BRS Xiquexique com maiores concentrações de Zn, Fe e proteína. (Freire-Filho et al., 2008). Comparando a análise de componentes principais entre os ambientes, nota-se comportamento similar dos cultivares em relação as variáveis respostas, caracterizando que mesmo em distintas condições de cultivo, os cultivares não alteraram seu comportamento.

**Tabela 7.** Correlação de Pearson entre produtividade, concentração de Zn, concentração de Fe e proteína de duas cultivares de feijão-caupi, cultivados em distintos ambientes.

| Caráter       | Palotina             |                     |                     |          |
|---------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------|
|               | Produtividade        | Teor Zn             | Teor Fe             | Proteína |
| Produtividade | 100 <sup>(1)</sup>   |                     |                     |          |
| Teor Zn       | -0,54 <sup>***</sup> | 100                 |                     |          |
| Teor Fe       | -0,09 <sup>ns</sup>  | 0,41 <sup>**</sup>  | 100                 |          |
| Proteína      | 0,54 <sup>***</sup>  | -0,24 <sup>ns</sup> | -0,17 <sup>ns</sup> | 100      |
|               |                      | <b>Rio Verde</b>    |                     |          |
| Produtividade | 100                  |                     |                     |          |
| Teor Zn       | -0,36 <sup>**</sup>  | 100                 |                     |          |
| Teor Fe       | -0,04 <sup>ns</sup>  | 0,36 <sup>**</sup>  | 100                 |          |
| Proteína      | -0,10 <sup>ns</sup>  | 0,39 <sup>**</sup>  | 0,15 <sup>ns</sup>  | 100      |

(1) <sup>\*\*\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>ns</sup>, significativo a correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% e não significativo, respectivamente.



**FIGURA 3.** PCA dos cultivares de feijão-caupi: BRS Guariba (GUA) e BRS Xiquexique (XIQ), cultivados em Palotina (a) e Rio Verde (b), safra 2012.

## 2.6. CONCLUSÕES

- 1- A aplicação de fertilizantes contendo Zn aumenta os teores deste micronutriente nos grãos de feijão-caupi, mesmo em solos com valores de Zn disponível acima do nível crítico, sendo os melhores métodos a aplicação foliar ou conciliação da aplicação via solo com complementação foliar;
- 2- Há relação inversa entre produtividade e concentração de Zn nos grãos, independente do ambiente de produção;
- 3- A interação genótipo ambiente determina o potencial produtivo e, conseqüentemente, também a qualidade nutricional dos grãos. Desta forma, nas condições do presente trabalho, em razão da baixa produtividade do cultivar com potencial para biofortificação, torna-se mais viável utilizar uma cultivar comercial com alta produção e aplicar zinco, elevando a concentração e acúmulo do mesmo nos grãos;
- 4- Em razão da baixa produtividade da cultivar com potencial para biofortificação, faz-se necessário nos programas de melhoramento voltados a biofortificação, buscar o aumento de produtividade para esses cultivares.

## 2.7. LITERATURA CITADA

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, A. A.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. S.; ROCHA, M. M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; RIBEIRO, V. Q. Cultivo de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Teresina: Embrapa-Meio Norte, 2003. 110p.

ARAÚJO, R. de; MIGLIORANZA, E.; MONTALVAN, R.; DESTRO, D.; GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; MODA-CIRINO, V. Genotype x environment interaction effects on the iron content of common bean grains. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Londrina, 2003.v.3, n.4, p. 269-274.

BARAMPAMA, Z; SIMARD, R.E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. *Food Chemistry*, Barking, 1993.v.47, n.2, p. 159-167.

BEEBE, S.; GONZALEZ, A.V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in the common bean. *Food and Nutrition Bulletin*, Boston, 2000.v.21, n.4, p. 387-391.

BREMNER, J.M. & EDWARDS, H.L. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1965. v. 29, p. 504-507.

CAMARGO, O.A. MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).

CICHY, K.A.; FORSTER, S.; GRAFTON, K.F.; HOSFIELD, G.L. Inheritance of seed zinc accumulation in navy bean. *Crop Science*, Madison, 2005v.45, n.3, p.864-870.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed., Brasília, Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 627p.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, 2000. v.4. n.3. p. 390-395.

GRAHAM, R. D.; ASCHER, J. S.; HYNES, S. C. Selection of zinc efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. Plant Soil, 1992. v.146. p. 241-250.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; SITTOLIN, I. M.; CARVALHO, H. W. L. de; COSTA, A. F. de; ALCÂNTARA, J. dos P.; FERNANDES, J. B.; GONÇALVES, J. R. P.; VILARINHO, A. A.; CRAVO, M. da S.; CAVALCANTE, E. da S.; NUTTI, M. R. BRS Xiquexique: cultivar de feijão-caupi rica em ferro e zinco. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008b. 4 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 209).

GUZMÁN-MALDONADO, S.H.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; PAREDES-LÓPEZ, O. Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L). Journal of the Science of Food and Agriculture, London, 2000.v.80, n.13, p. 1874-1881.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e perspectivas. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 201p.

MARTINS, M. V. Aspectos lineares e espaciais da correlação entre a produtividade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L) com atributos físicos do solo. 2007. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

MELO, F.B.; CARDOSO, M.J.; SALVIANO, A.R.C. Fertilidade do solo e adubação. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. (Ed.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 229-242.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. Ciência. Agrotec. Lavras, 2007, v3, n.4. p. 1114-1121.

MORAES, M. F.; NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, Viçosa. Anais. Viçosa, Agricultura, Pecuária e Cooperativismo: 2009. 300-312p.

NEVES, P. C. F. Avaliação agronômica de linhagem de arroz irrigado de viveiros internacionais. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, 2008.

PHATTARAKUL, N.; RERKASEM, B.; LI, L. J.; WU, L. H.; ZOU, C. Q.; RAM, H.; SOHU, V. S.; KANG, B. S.; SUREK, H.; KALAYCI, YAZICI, M. A.; ZHANG, F. S.; CAKMAK, I. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. Plant and Soil. 2012. v. 361,p. 131-141.

PIMENTEL-GOMES, F. & GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.

PINHO, J.L.N.; TÁVORA, F.J.A.F.; GONÇALVES, J.A. Aspectos fisiológicos. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; RIBEIRO, V.Q. (Ed.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 191-210.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, 2001. 285p.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação 2. ed. Brasília, DF:Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SILVA, F. de. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional ASSISTAT para o sistema operacional Windows. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, 2002. v.4, n.1, p.71-78.

SILVA, K. J, D. e. Estatística da produção de feijão-caupi. Pelotas: Grupo Cultivar, 2009. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=880>>. Acesso em: 3 dez. 2013.

SINGH, B.B. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. In Singh, R.J.; Jauhar, P.P. (Ed). Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement. Boca Raton, FL, USA: Boca CRC Press, 2005. v.1, p. 117-162.

SANTOS, J. F. dos; GRANGEIRO, J.I.T.; BRITO, C.H.; SANTOS, M.C.C.A. Produção e componentes produtivos de variedades de feijão-caupi na microrregião cariri paraibano. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, jan./abr. 2009a. v. 6, n. 1, p. 214-222.

SANTOS, J.F. dos; GRANGEIRO, J.I.T.; BRITO, L.M.P.; OLIVEIRA, M.M. de; OLIVEIRA M.E.C. Novas variedades de caupi para a microrregião do Brejo Paraibano. Tecnologia & Ciência Agropecuária. João Pessoa, PB, set.2009b. v.3, n.3, p. 7-12.

SANTOS, J. F. dos; GRANGEIRO, J. I. T; OLIVEIRA, M. E. C. de. Produção de feijão-macassar no Brejo Paraibano. Tecnologia & Ciência Agropecuária. jun. 2011.João Pessoa, PB, v.5, n.2, p.17-21.

SCHEEREN P. L.; CARVALHO J. L. V.; NUTTI M. R.; CAIERÃO E.; BASSOI M. C.; ALBRECHT J. C.; CASTRO R. L.; MIRANDA M. Z.; TORRES G. A. M.; TIBOLA C. S. Biofortificação em trigo no Brasil. In: Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, Terezina–Piauí, Anais: IV Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, 2011.

TER BRAAK, C.J.F. & P. SMILAUER. CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, Microcomputer Power, 2002, 500p.

TERRÉS, C. et al. Zinc levels in foods from southeastern Spain: relationship to daily dietary intake. Food Additives and Contaminants, 2001. York, v. 18, n. 8, p. 687-695,

VILARINHO, A. A.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA; M. M; RIBEIRO V. Q. BRS Xiquexique: Cultivar de Feijão-caupi rica em ferro e zinco para cultivo em Roraima. Boa vista: Embrapa Roraima, 2008. (Comunicado técnico 16).

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S. A.; CAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. Journal of Plant Nutrition, 1997. v.20, n.4-5, p.461-471.