



GILBERTO ALVES DE MIRANDA SILVA

**BIOFORTIFICAÇÃO DE ARROZ DE TERRAS
ALTAS COM O MICRONUTRIENTE ZINCO NO
ESTADO DO MARANHÃO.**

LAVRAS – MG

2022

GILBERTO ALVES DE MIRANDA SILVA

**BIOFORTIFICAÇÃO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS COM O
MICRONUTRIENTE ZINCO NO ESTADO DO MARANHÃO.**

Monografia apresentada ao Colegiado do Curso
de Agronomia para a obtenção do título de
bacharel em Agronomia.

Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho

(Orientadora)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

2022

GILBERTO ALVES DE MIRANDA SILVA

**BIOFORTIFICAÇÃO DE ARROZ DE TERRAS ALTAS COM O
MICRONUTRIENTE ZINCO NO ESTADO DO MARANHÃO.**

Monografia apresentada ao Colegiado do Curso
de Agronomia para a obtenção do título de
bacharel em Agronomia.

Msc. Felipe Pereira Cardoso

UFLA

Msc. Camila Soares Cardoso da Silva

UFLA

Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho

UFLA

Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho

(Orientadora)

LAVRAS-MG

2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus, por toda a força e capacidade de resiliência perante os desafios que a vida proporciona.

Agradeço a minha mãe, Lara, por nunca medir esforços de estar presente e pronta para auxiliar e ser boa ouvinte que é, meu pai Gilberto, por ser um exemplo e meu maior ídolo em toda a vida, minha irmã Maria Flávia, por ser uma das maiores forças que me motivam a seguir e também à minha namorada Maria Isabela, por estar sempre presente e aguentar vários desafios que a vida proporciona.

A todos os amigos que fiz nesses cinco anos de graduação, não só os que a UFLA me proporcionou conhecer, mas também à todas as pessoas que de certa forma somaram para meu crescimento pessoal.

Ao grupo MelhorArroz, por todos os ensinamentos e também por todo o crescimento pessoal e profissional que o convívio proporcionou, a professora Flávia, por sempre apoiar e acreditar nos seus alunos. Também ao professor Bruno Henrique, por todo tempo e crescimento que seu grupo foi importante e abriu portas.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), por toda a estrutura e professores que auxiliaram na minha formação profissional.

RESUMO

A biofortificação agronômica é uma técnica na qual, por meio do manejo de solos e também da adubação, se tem como objetivo a adição de nutrientes que possam ser absorvidos e armazenados pelas plantas, afim de obter alimentos mais saudáveis para a alimentação humana e animal. Nesse sentido, o arroz (*Oryza sativa*) é uma cultura que deve ser utilizada para essa finalidade, pelo fato de ser o carboidrato base para mais da metade da população mundial, sendo consumido em todos os quatro quadrantes do globo. O objetivo principal desse trabalho foi verificar qual genótipo consegue translocar uma maior quantidade de Zinco em suas estruturas, e também como a aplicação do micronutriente pode interferir sobre as outras características fenotípicas das linhagens. Os experimentos foram instalados nos municípios de São Matheus do Maranhão e Itapecuru Mirim, ambos localizados no estado do Maranhão, foram utilizados 20 materiais, sendo 4 genótipos comerciais e 16 genótipos que constituem o Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da EMBRAPA, com o delineamento em blocos casualizados (DBC). Os tratamentos foram constituídos pela aplicação ou não de sulfato de Zinco no estágio fenológico de emborrachamento. Após a tabulação dos dados, as análises serão realizadas do software Sisvar®. Foi possível notar que o zinco influencia na incidência de doenças, principalmente mancha de grãos, sendo que os materiais tratados apresentaram uma menor incidência da doença e também há materiais que apresentam uma maior capacidade de translocar o zinco em seu metabolismo.

Palavras – Chaves: Biofortificação, *Oryza sativa*, Zinco

ABSTRACT

Agronomic biofortification is a technique in which, through soil management and fertilization, the objective is to add nutrients that can be absorbed and stored by plants, in order to obtain healthier food for human and animal consumption. . In this sense, rice (*Oryza sativa*) is a crop that should be used for this purpose, as it is the base carbohydrate for more than half of the world's population, being consumed in all four quadrants of the globe. The main objective of this work was to see which genotype can store a greater amount of zinc in its structures, as these materials have a greater potential to be biofortified, and also how the application of the micronutrient can interfere with the other phenotypic characteristics of the materials. The experiments were installed in the municipalities of São Matheus do Maranhão and also Itapecuru Mirim, both located in the state of Maranhão, 20 materials were used, 4 commercial materials and 16 genotypes that constitute the Embrapa Highland Rice Genetic Improvement Program with a randomized block design (DBC). The treatments consisted of the application or not of zinc sulfate at the phenological stage of rubberization. After tabulating the data, the analyzes will be performed using the Sisvar® software. It was possible to notice that zinc influences the incidence of diseases, mainly grain stain, and the treated materials had a lower incidence of the disease and there are also materials that have a greater ability to incorporate zinc in their metabolism

Keywords: Biofortification, *Oryza sativa*, Zinc

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1 A planta de arroz (<i>Oryza sativa</i>).....	7
2.2. Fases de crescimento e desenvolvimento da planta de arroz	14
2.4. Sistemas de produção da cultura do arroz.....	19
2.5 Macro e Micronutrientes na Cultura do Arroz.	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5 CONCLUSÕES	34

1 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos do mundo, ao ser comparado com as demais culturas que são produzidas no mundo, ele se destaca por ocupar o segundo lugar em quantidade e área plantada, perdendo somente para o trigo.

É consumido nos quatro quadrantes do mundo e também é a fonte de carboidrato básica para mais de 50% da população mundial, sendo um alimento que é de suma importância para toda a segurança alimentar da população global.

O Brasil é o nono maior produtor mundial, sendo que os maiores estados produtores são: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Mato Grosso, Tocantins, Maranhão e Pará. Vale a pena ressaltar que, no Brasil, o arroz é produzido em dois tipos de sistema de produção, inundado ou sequeiro. Sendo que o primeiro corresponde a cerca de 75% da produção dos grãos no país.

Com o início da pandemia da COVID-19, foi um produto básico que subiu o valor de maneira exponencial, mostrando ainda mais a importância do produto como sendo base na alimentação humana e animal.

Assim, faz-se de suma importância ser possível selecionar materiais que possuam uma maior capacidade de absorver nutrientes que são essenciais para a saúde humana, principalmente micronutrientes. Com o objetivo de que o consumo desses alimentos, no dia a dia, seja capaz de suprir a demanda nutricional de seres humanos e também outros animais que se alimentam de resíduos das plantas.

Vale ressaltar que com o aumento populacional, houve um aumento na demanda de alimentos que pudessem e fossem capaz de suprir toda essa demanda da população. Esse crescimento na produtividade levou a ocorrência de materiais que são menos ricos em nutrientes em nutrientes essenciais (KUTMAN, 2018).

Dessa forma, muitas pessoas, no âmbito global e nacional, passaram a sofrer com um outro tipo de problema, mesmo com a sua demanda por alimentos básicos tendo sido supridas, a fome oculta. Que pode ser descrita como a deficiência de micronutrientes na dieta básica sendo que é um problema que afeta mais de 2 bilhões de pessoas e seus problemas são graves e podem causar, além da morte, um comprometimento físico e mental (FAO, 2020).

O Zinco (Zn), é considerado um micronutriente e tem sua translocação e absorção nas plantas em uma quantidade menor do que quando comparado aos macronutrientes. É essencial para as plantas e está envolvido no metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios, formação do pólen, precursores da auxina e também está relacionado com genes e tolerância ambiental. É um nutriente que apresenta uma deficiência comum em solos brasileiros e pode ser caracterizada pelos seguintes sintomas: esterilidade das espiguetas, clorose, redução no tamanho das plantas e menos tolerância a estresses abióticos (SHIVAY; PRASAD, 2017).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A planta de arroz (*Oryza sativa*)

O arroz é uma espécie da família *Poaceae*, antiga família das gramíneas, que, devido a sua alta taxa de autofecundação, é considerada uma planta autógama. É uma planta anual, adaptada a solos alagados, mas que se desenvolve bem em terras altas, ou seja, solos não alagados. O seu ciclo pode ser dividido em dois grandes estádios, o vegetativo e também o reprodutivo.

2.1.1 Órgãos vegetativos

- Raiz

A planta de arroz apresenta um sistema radicular fasciculado (SOARES, 2005) que é característico das plantas que são da família *Poaceae*. Durante o ciclo da cultura, ela apresenta dois tipos de raízes seminais e secundárias.

As raízes seminais ou temporárias são constituídas da raiz seminal primária, ou radícula oriunda do embrião. É composta por até oito raízes delgadas e curtas, pouco ramificadas e de duração temporária. Sua principal função é absorver água e nutrientes quando as plantas se encontram no seu estágio inicial de desenvolvimento (SOARES, 2005).

As raízes secundárias se originam como uma forma de substituir as raízes temporárias, se origina dos nós dos colmos (EMBRAPA, 2008). A função dessas raízes se dá no sentido de sustentação e também vão estar presentes até o final do ciclo da cultura.

Vale ressaltar que o sistema radicular da cultura do arroz apresenta uma estrutura especializada para a o armazenamento de ar atmosférico, devido ao fato de a cultura ser adaptada à solos alagados.

- Caule

O caule do arroz é constituído por um colmo principal e por um conjunto variável de colmos primários, secundários e terciários. Os colmos são formados por regiões, as ocas e as maciças que são denominados entrenós e nós, respectivamente. Podem atingir até 40 cm. (EMBRAPA, 2008).

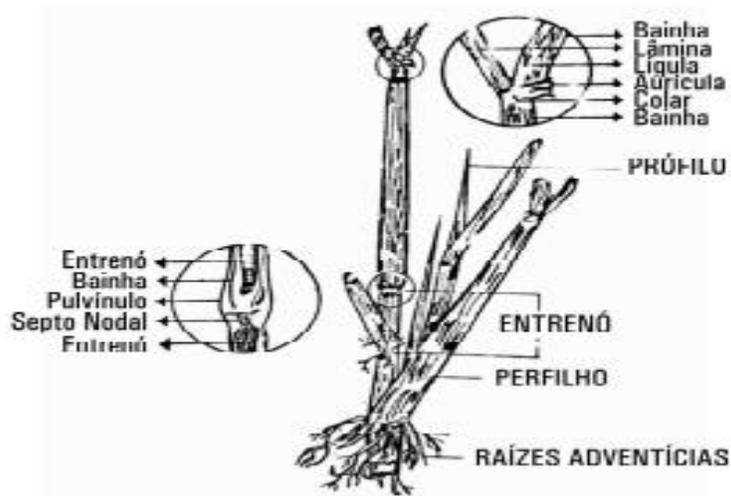
A junção do colmo com as folhas são denominados perfilhos, vale ressaltar que o número de perfilhos pode variar entre plantas.

- Folhas

As folhas podem variar em número de 10-20 e se distribuem alternadamente ao longo do colmo, sendo que elas se fixam no colmo através de uma estrutura conhecida como bainha. Normalmente são compostas pelas estruturas: bainha, limbo, lígula e aurícula. A primeira folha, conhecido como prófilo, não possui lâmina foliar (SOARES, 2005).

O limbo foliar das plantas normalmente é linear ou linear laceolada e séssil, podendo apresentar comprimento, largura, coloração e ângulo e pubescência variáveis, segundo a cultivar. Vale ressaltar que apresentam estômatos em ambos os lados da lâmina foliar. (SOARES, 2005).

Figura 1. Estruturas vegetativas plantas de arroz



Fonte: EMBRAPA (2008)

A bainha foliar é uma estrutura na qual a base se encontra o nó, envolve o entrenó imediatamente superior. Normalmente é glabra. Vale ressaltar que o engrossamento

observado logo acima da inserção da bainha é denominado pulvino e pode ser confundido com um nó. (SOARES, 2005).

2.1.2 Órgãos reprodutivos

- Panícula

É um conjunto de flores que se encontra inserido na parte superior da planta de arroz, dando origem à uma inflorescência.

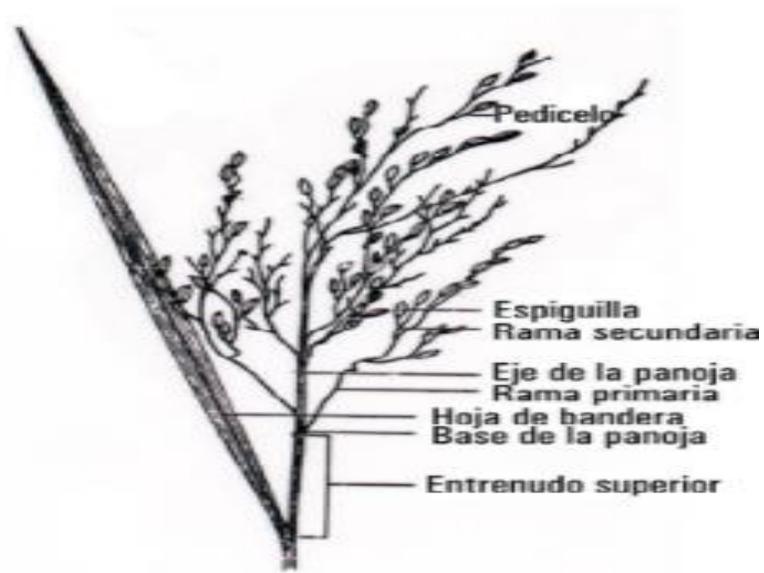
São constituídas por três partes:

Pedúnculo ou pescoço – é o entrenó superior do colmo no qual se forma a panícula, é separado da ráquis pelo nó ciliar. (SOARES, 2005)

Ráquis – é o eixo principal da panícula e vai desde o nó ciliar até o ápice. As ramificações se iniciam a partir de seus nós. Ramificação do tipo racimosa. As espiguetas são ramificações que partem a partir da extremidade das ramificações e são unidas pelo pedicelo. (SOARES, 2005)

Espiguetas – é a unidade básica da inflorescência. Na teoria são compostas por três flores, sendo que somente uma se desenvolve. É o conjunto formado pelos dois pares de brácteas superiores, dois pares inferiores e também pelas flores. (EMBRAPA, 2008).

Figura 2. Panículas plantas de arroz.



Fonte: EMBRAPA (2008).

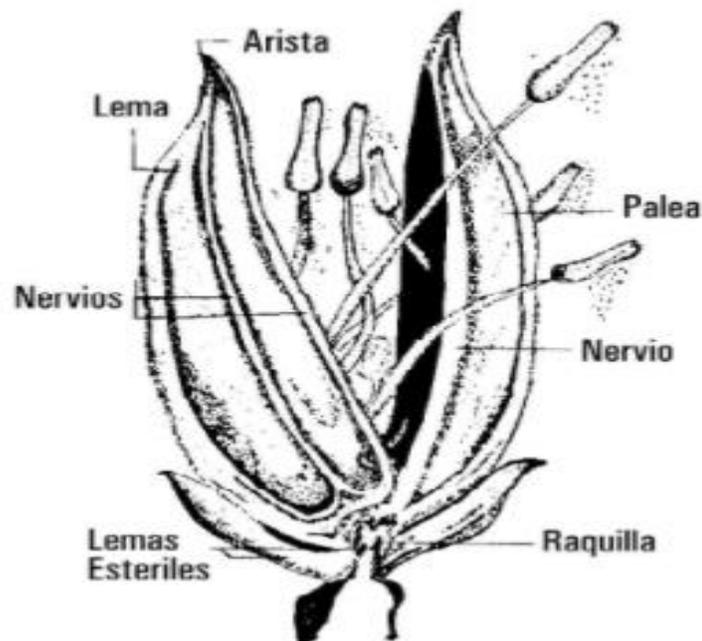
- Flor

A flor de uma planta de arroz, não apresenta cálice e corola, pois é uma flor que é considerada aclamídea. Contudo, apresenta um perianto reduzido chamado lodículas, que nada mais é do que uma estrutura transparente, além dos órgãos masculino e feminino. (EMBRAPA, 2008)

O masculino, também conhecido como androceu, é formado pelas anteras, em número de seis, as quais contém os grãos de pólen o filete que seliga a base da flor. (EMBRAPA, 2008).

O feminino, ou gineceu, consiste em um ovário com um óvulo do estilete e de dois estigmas plumosos, geralmente com variação na coloração do branco ao violeta.

Figura 3. Estruturas reprodutivas flores do arroz.



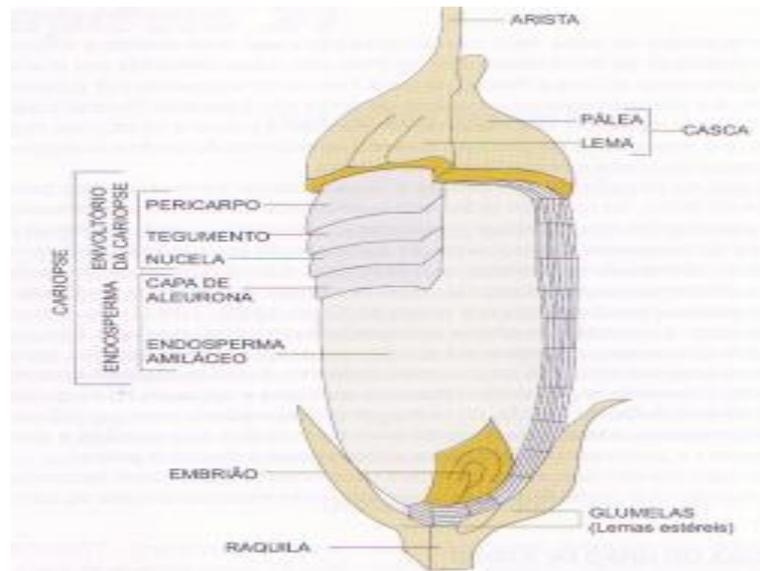
Fonte: EMBRAPA (2008)

- Semente e fruto

O grãos de arroz é formado por um ovário completamente desenvolvido, a lema, a pálea, a ráquila, as lemas estéreis e arista. O grão sem a presença da casca é denominado do tipo cariopse, e é protegido por uma estrutura chamada pericarpo, sendo que este último é dividido em três partes: endocarpo, mesocarpo e exocarpo.

Da fusão entre o grãos de pólen e o ovário, se dá a formação do embrião, que nada mais é do que uma planta em miniatura que, após o processo germinativo, vai dar origem a uma nova planta. O mesmo é formado pelas seguintes estruturas: folhas embrionárias, plúmula, e a radícula, ou seja, raiz embrionária. (EMBRAPA, 2008). Vale ressaltar que é a principal estrutura utilizada na alimentação humana e animal e apresenta um alto potencial energético.

Figura 4. Estruturas grão de arroz



Fonte: VIEIRA, RABELO, 2006.

2.2. Fases de crescimento e desenvolvimento da planta de arroz

A planta de arroz apresenta o seu ciclo de desenvolvimento dividido em 3 grandes períodos, que se distinguem entre si por conta de variações morfológicas nas plantas, sendo eles: vegetativo, reprodutivo e de maturação, totalizando um ciclo que pode variar de 90 – 200 dias

- Fase vegetativa

Se inicia no momento no qual a planta de arroz passa pelo processo de germinação (emissão da radícula e coleóptilo) e termina quando ocorre a diferenciação do primórdio floral ou da panícula (SOARES, 2012).

É dividida ainda em duas subfases:

- a) Subfase vegetativa básica ou ativa

É um período de crescimento que é de suma importância para a indução do primeiro primórdio floral. Nesse momento, a planta de arroz é insensível ao fotoperíodo e também é um período mais ou menos fixo para cada cultivar comercial. Pode durar um período de 25-65 dias, dependendo da cultivar.

b) Subfase vegetativa fotossensitível ou lenta

Subfase na qual as plantas apresentam um crescimento foliar mais lento que a fase anterior. Pode ser muito curto ou inexistente em cultivares precoces ou que são insensíveis ao fotoperíodo. É uma fase que se localiza entre a subfase vegetativa básica e o início da diferenciação do primórdio floral. O seu tamanho está ligado com o comprimento do dia para a indução floral.

- Fase reprodutiva

Se inicia com a diferenciação floral, vai até a floração, polinização e se finaliza com a fase da fertilização.

Nesta fase ficam situados os períodos mais críticos da cultura, pelo fato de que é nesse estágio no qual são definidos os componentes de produção da planta. Também é o estágio no qual a cultura está mais suscetível ao ataque de doenças e pragas (SOARES, 2012). Vale ressaltar que o estresse hídrico é um dos fatores que mais limitam a produção.

Ela pode ser subdividida em quatro principais etapas, alongação dos colmos (entrenós), estágio de emborrachamento, estágio de exserção da panícula e, por fim, o estágio de floração.

- Fase de maturação

É a última etapa no desenvolvimento dos grãos da planta de arroz. Após o óvulo ser fertilizado, se inicia o desenvolvimento do endosperma

e pode se tornar visível em poucos dias (SOARES, 2012). Pode ser dividido em três principais estádios.

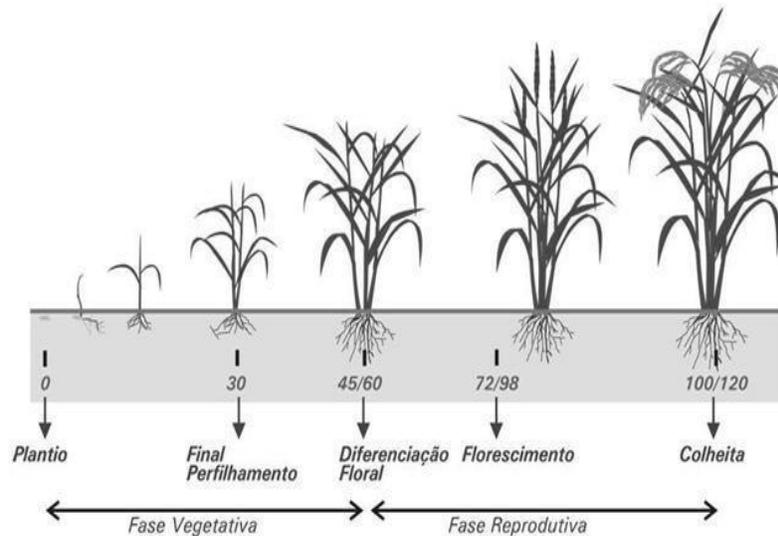
Estádio de grão leitoso – Logo após a fertilização, os carboidratos são rapidamente translocados da bainha e dos colmos para dar início a formação dos grãos.

Estádio de massa – Estádio no qual os grãos passam a ficar mais consistentes, entre três a cinco dias até complementar seu desenvolvimento total (26 à 30 dias).

Estádio de maturação – É quando o grão se encontra completamente maduro, ou seja, o endosperma já completou o seu total desenvolvimento.

A maturação fisiológica ocorre com cerca de 28-30% de umidade.

Figura 5. Estádios Fenológicos da cultura do arroz.



Fonte: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/fases_fenologicas_arroz

2.3. Influência condições climáticas sobre a cultura do arroz.

O arroz é uma planta que se desenvolve nas mais diversas condições climáticas, sendo que hoje ele é cultivado desde a latitude 53°LN até 40° LS. Sendo assim, ele é cultivado desde as montanhas frias do Nepal até as terras secas da África e América do Sul (SOARES, 2012).

Vale ressaltar algumas das condições climáticas que mais influencia a cultura do arroz, como: temperatura, fotoperíodo e também a umidade presente em um determinado local.

- Temperatura

A cultura do arroz requer mais calor e umidade do que qualquer outro cereal cultivado. A amplitude térmica durante o ciclo do arroz pode variar de 20°C até 38°C.

Altas temperaturas podem prejudicar a cultura do arroz, principalmente em locais sob baixa umidade. Temperaturas acima de 35°C, podem atrapalhar, especialmente, nos estádios de emborrachamento, exserção da panícula e floração. Além de que a esterilidade de espiguetas aumentam (SOARES, 2012). Vale ressaltar que em cada estágio de desenvolvimento da planta, requer uma amplitude térmica diferente.

- Umidade

Umidade pode ser resumido, basicamente, como a presença ou não de água em um sistema de produção.

No sistema produtivo irrigado, a umidade não é um problema, entretanto, no sistema sequeiro, a umidade pode ser um fator limitante para a produtividade do sistema, principalmente se o estresse hídrico ocorrer nos estádios de desenvolvimento no estágio reprodutivo.

Alguns autores consideram que, para o arroz sequeiro, não deve ocorrer menos de 200mm de chuva por mês durante o ciclo total da cultura (SOARES, 2012).

- Fotoperíodo

A planta de arroz, no geral, é considerada uma planta neutro, ou seja, plantas tardias e precoces, quando plantadas no mesmo dia, tendem a florescer no mesmo dia, normalmente. Vale ressaltar que o arroz é uma planta de dia curto.

Uma das influência que o fotoperíodo pode apresentar na cultura do arroz é que, por conta de ser uma planta de dia curto, fotoperíodos curtos (menos de 13 horas), normalmente apressam o ciclo da cultura, sendo que fotoperíodos logos (mais de 13 horas), prolongam a fase vegetativa (SOARES, 2012).

2.4. Sistemas de produção da cultura do arroz

A cultura de arroz pode ser cultivada em dois diferentes tipos de sistema de produção, terras altas ou sequeiro, ou então o de várzea ou inundado. Sendo que há diferenças consideráveis entre os dois sistemas, principalmente no que diz respeito a manejo de solo e fertilidade.

a) Sistema de várzea ou inundado

A grande parte da produção de arroz no Brasil é proveniente do ecossistema várzeas, onde a orizicultura irrigada é responsável por cerca de 75% da produção de arroz do país, sendo ela considerada como estabilizadora da safra nacional, pelo fato de não depender tanto de fatores climáticos como o sequeiro (EMBRAPA, 2021).

Somente os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, maiores produtores nacionais, foram responsáveis por mais de 63% da formação de estoque da cultura no país.

b) Sistema de terras altas

O que caracteriza o sistema de terras altas ou de sequeiro é o não uso da irrigação no processo produtivo.

É uma cultura que por ser uma cultura mais rústica, que demanda uma menor quantidade de insumos e tolera bastante os solos ácidos brasileiros, é muito utilizada em áreas de abertura nos solos brasileiros (EMBRAPA, 2003).

Pelo fato de apresentar uma maior sensibilidade a fatores climáticos, quando comparado ao arroz irrigado, apresenta uma produtividade menor. Entretanto, várias técnicas podem ser utilizadas como forma de suplementação da

quantidade de água demandada, principalmente irrigação por aspersão. (EMBRAPA, 2021).

Existem várias linhas de pesquisa que tentam mitigar a diferença de produtividade entre os dois sistemas, principalmente quando se diz em relação ao melhoramento genético e a obtenção de cultivares que venham a ser mais resistentes à estresses hídricos.

2.5 Zinco na nutrição de plantas

O Zinco (Zn) é classificado, quimicamente, como um metal de transição, possui coloração branco-azulada e propriedades lustrosas e diamagnéticas. É o 23º elemento mais abundante na crosta terrestre e também é responsável pela formação de diversos sais. É muito utilizado desde a antiguidade e também, vale a pena ressaltar a sua função em diversas classes enzimáticas que são de suma importância para o metabolismo das plantas (WANI et al., 2017).

Vale ressaltar que a disponibilidade natural nos solos está diretamente ligado com a composição da rocha mãe e os teores naturais podem estar em uma faixa que variam de 10 – 100 mg.kg⁻¹ (KABATA-PENDIAS, 2010; MERTENS J., 2013). É sabido que ele é absorvido pelas plantas na forma de Zn²⁺ ou por meio de ligações diretas com ácidos orgânicos, sendo que o micronutriente é acumulado no sistema radicular até que venha a ser translocado via xilema, para a parte aérea (NOULAS; TZIOUVALEKAS; KARYOTIS, 2018).

A disponibilidade do micronutriente nos solos, normalmente é baixa e costuma ser limitada por uma gama muito grande de fatores, entre eles pode-se destacar a relação adsorção – dessorção no sistema. Também vale a pena ressaltar o teor de argila, teor de carbonato de cálcio, umidade do solo e concentração de outros

nutrientes, como o ferro e o fósforo que causam disputa pelo sítio de absorção no sistema radicular (SHARMA et al., 2013).

- **Ferro (Fe)**

O ferro é um dos constituintes de uma gama muito grande de metabólitos, podendo também ser parte integrante de algumas proteínas e de enzimas mitocondriais relacionadas com a cadeia transportadora de elétrons (CTE), também sendo um cofator de algumas enzimas (MENDES, 2009).

O primeiro sintoma de deficiência de ferro pode ser identificado por uma clorose internerval das folhas mais novas. Com o tempo, toda a planta fica amarelada sendo que, quando a deficiência está em um estágio mais avançado, as folhas podem se tornar translúcidas. (EMBRAPA, 2008).

É um nutriente que a absorção é muito influenciada por fatores climáticos. Em condições nas quais o solo está muito saturado por água, ocorre a formação de cátions Fe^{2+} e uma diminuição dos cátions de Fe^{3+} , o que aumenta a absorção do nutriente e, conseqüentemente, ocorre uma intoxicação das plantas.

Figura 6. Deficiência de Ferro (Fe) em plantas de arroz.



Fonte:

<http://unisagro.com/pastaarquivos/111Seja%20o%20Doutor%20do%20Seu%20Arroz.pdf>

Zinco (Zn)

Atua como constituintes de algumas enzimas desidrogenases, ou como cofator de algumas enzimas, podendo ser encontrado em uma concentração média de 27 – 150 mg.kg⁻¹ (MENDES, 2009).

Sua deficiência é uma das que mais afetam o desenvolvimento das plantas cultivadas, resultando em uma pequena expansão foliar e encurtamento dos internódios das plantas.

Sua deficiência é uma coloração verde esbranquiçada que se inicia na base na nervura central, sendo que as folhas apresentam uma expansão proeminente na zona da clorose, a medida que a folhas se torna mais velha, ela pode adquirir uma coloração ferruginosa, sendo essa a característica típica da deficiência (EMBRAPA, 2009).

Vale a pena ressaltar que um excesso de concentração de Zn pode influenciar, diretamente a absorção de Fe, causando uma deficiência induzida de Fe.

Figura 7. Deficiência de Zinco (Zn) em folhas de arroz.



Fonte:

<http://unisagro.com/pastaarquivos/111Seja%20o%20Doutor%20do%20Seu%20Arroz.pdf>

2.6 Biofortificação como estratégia de combate a fome oculta

É uma técnica agronômica na qual visa e objetiva-se ao aumento qualitativo dos alimentos que serão, posteriormente, utilizados na alimentação humana e animal. É um conceito que ganhou mais de espaço e notoriedade a partir do momento no qual iniciou a busca por melhorar e reduzir, de maneira significativa, as deficiências que estão diretamente relacionadas com a baixa qualidade dos alimentos ingeridos. Esse processo pode ser realizado via melhoramento genético ou então por técnicas agronômicas, ou seja, via adubação (BOUIS; SALTZMAN; BIROL, 2019).

Com a intensificação dos sistemas de produção e a busca incansável por atingir novos tetos produtivos com o uso de novas cultivares agrícolas, não houve uma compensação de micronutrientes, ocorrendo uma diminuição na qualidade nutricional dos alimentos vegetais (SHIVAY; PRASAD, 2017), e conseqüentemente um maior agravamento de problemas nutricionais em seres humanos. A desnutrição e, principalmente, a insegurança alimentar afetam a maior parte da população mundial (FAO, 2020).

É possível notar que em países em desenvolvimento o consumo de alimentos de qualidade é baixo. Sendo assim, a biofortificação genética e agrônômica é uma solução sustentável econômico, social e ambientalmente, frente a problemática da desnutrição, devido ao fato de que a biofortificação causa um incremento no teor de minerais na alimentação base humana (SINGH; PRASAD, 2014).

Já tem sido observado que plantas de sementes com altos teores de minerais apresentam maior germinação, vigor e melhor desenvolvimento inicial em condições de estresses bióticos e abióticos.

Mesmo que grande parte dos nutrientes sejam assimilados via solo, há uma gama muito grande de características que influenciam na disponibilidade dos mesmos para as plantas. No Zn, fontes como sulfato de zinco ($ZnSO_4$), quelatos de ácido orgânico Zn (Zn-EDTA, Zn-DTPA, Zn-glicina e Zn-arginina), nanopartículas e nanoquelatos de Zn podem ser utilizadas em aplicações foliares (BENKEBLIA, 2020).

Benkeblia (2020), sugere-se que as aplicações foliares de Zn devem ser posicionadas entre o pré-florescimento e enchimento de grãos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em duas cidades do estado brasileiro, Maranhão. A primeira cidade São Mateus do Maranhão, se localiza a cerca de 180km da capital do estado, São Luiz. Tem uma altitude de 44m, com as seguintes coordenadas geográficas 4°02'24"S e 44°28'12" O, sendo caracterizada pelo clima tropical seco, com duas estações do ano bem definidas, uma chuvosa e outra seca. O outro ambiente foi Itapecuru-mirim, a cerca de 108km da capital do estado. Tem uma altitude inferior a 100m, com as seguintes coordenadas geográficas 3°23'34"S e 44° 21'32"O, sendo caracterizada pelo clima seco, com um baixo regime pluviométrico.

Foram avaliados 20 genótipos de arroz, sendo quatro já cultivares comerciais, que serviram como testemunha e 16 materiais de elite oriundos do Programa de Melhoramento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (tabela 1). Ocorreu a aplicação de Sulfato e Zinco no estágio de desenvolvimento conhecido como emborrachamento. O delineamento do ensaio foi em Blocos Casualizados (DBC), sendo que cada material foi repetido oito vezes em cada localidade, sendo que em quatro vezes houve a aplicação de sulfato de zinco e no restante não houve aplicação. As parcelas eram formadas por quatro linhas com quatro metros cada uma, a densidade de plantio foi de 80sementes/metro, seguindo recomendações para a cultura no local onde o experimento foi realizado. O manejo, ou seja, os tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações da cultura para a região. Foi realizada a aplicação de sulfato de zinco na dosagem de 3kg/hectares no estágio de desenvolvimento do emborrachamento, ou seja, no pré – florescimento.

Foram avaliados a resistência das plantas à incidência de doenças, a produtividade final estimada de cada material, florescimento, quantidade de ferro e zinco translocados por cada material.

Resistência a doenças – foram avaliadas algumas doenças, as quais apresentam uma maior importância para a cultura do arroz, sendo elas: Escaldadura (*Rynchosporium secalis*), Mancha parda (*Bipolaris oryzae*), Brusone panícula (*Magnaporthe oryzae*) e Mancha de grãos, que é uma doença causada por um complexo fúngico. As avaliações foram realizadas de forma visual seguindo uma metodologia proposto pelo International Rice Research Institute (IRRI, 1996):

- Nota 1: menos de 5% de folhas e/ou panículas infectadas;
- Nota 3: de 5 a 10% de folhas e/ou panículas infectadas;
- Nota 5: de 11 a 25% de folhas e/ou panículas infectadas;
- Nota 7: de 26 a 50% de folhas e/ou panículas infectadas;
- Nota 9: mais que 50% de folhas e/ou panículas infectadas;

Produtividade de grãos (kg/ha): peso dos grãos da parcela após colheita e secagem.

Metodologia quantificação nutrientes no interior das plantas: A quantificação dos nutrientes no interior das plantas foi feita seguindo a metodologia apresentada por Shrivastava; Gupta, 2011.

Análise estatística: Assim que se realizou a coleta dos dados, foram realizados os testes de pressuposições da ANOVA que se referem a homogeneidade, normalidade e independência. Sendo os pré-requisitos atendidos, foram realizadas as análises de variância individuais e conjuntas por meio do programa SISVAR.

As análises de variância individuais foram realizadas considerando o delineamento em blocos casualizados, com dois fatores, se empregando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + b_j + z_k + gz_{ik} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : observação referente ao genótipo i , na repetição j , dentro do fator com ou sem zinco k ;

μ : constante associada às observações (média geral);

g_i : efeito fixo do genótipo i ($i = 1, 2, \dots, 5$);

b_j : efeito fixo do bloco j ($j = 1, 2, 3$);

z_k : efeito fixo do fator zinco k ($k = 1, 2$);

$(gz)_{ik}$: efeito fixo da interação do i -ésimo genótipo com o fator zinco k ;

e_{ijk} : é o efeito do erro experimental associado à observação, sendo $e_{ijk} \sim N(0, 2\sigma_e)$

Tabela 1 - Caracterização materiais utilizados no experimento.

Identificação	Nome da cultivar/Linhagem
1	BRS Esmeralda
2	AN Cambará
3	BRS A502
4	BRS A503
5	AB 162640
6	AB 172729

7	AB 172735
8	AB 182017
9	AB 102033
10	AB 182046
11	AB 182112
12	AB 152623
13	AB 152625
14	AB 172713
15	AB 172727
16	AB 172732
17	AB 172733
18	AB 172737
19	AB 172738
20	AB 172791

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliados os seguintes caracteres para a determinação da influência do Zinco nas características agronômicas de plantas de arroz. A severidade das seguintes doenças: Escaldadura; Mancha parda; Brusone na panícula; Mancha de grãos. Também os caracteres produtividade, dias para o florescimento, acúmulo do micronutriente Ferro (Fe) e do micronutriente Zinco (Zn).

Tabela 2. Resumo análise conjunta dos caracteres: Mancha de grãos, Mancha Parda, Escaldadura e Brusone de panícula.

FV	GL	Escaldadura	Mancha Parda	Mancha de grãos	Brusone panícula
AMBIENTE (A)	1	241.502*	42.778*	17.112*	9.4531 ^{ns}
APLICAÇÃO (A')	1	1.0125 ^{ns}	0.2531 ^{ns}	0.6125 ^{ns}	0.2531 ^{ns}
MATERIAL (M)	19	11.8755 ^{ns}	0.2860 ^{ns}	0.6440*	0.7952*
A X A'	1	0.1125 ^{ns}	1.1281 ^{ns}	0.6125 ^{ns}	0.2531 ^{ns}
A X M	19	12.2375 ^{ns}	0.4294 ^{ns}	12.376 ^{ns}	0.7952 ^{ns}
A' X M	19	11.2375 ^{ns}	0.2465 ^{ns}	0.2309 ^{ns}	0.1741 ^{ns}
A X A' X M	19	10.8375 ^{ns}	0.2531 ^{ns}	0.3098 ^{ns}	0.1741 ^{ns}
BLOCO/A	3	3.1250 ^{ns}	2.0031 ^{ns}	0.4041 ^{ns}	0.6031 ^{ns}
ERRO	237	147.9875	0.3786	0.3514	0.2824
MÉDIA		2.5812	2.0031	1.8062	1.7187
CV (%)		30.61	30.72	32.82	45.35

^{ns} e *, não significativo, significativo, a 5%, respectivamente pelo teste F.

Segundo a tabela 2, é possível notar que a incidência de doenças deu um valor significativo, principalmente para mancha de grãos, escaldadura e mancha

parda, evidenciando que algum dos locais apresentou uma maior propensão a incidência de doenças, seja por conta de condições ambientais ou então por conta de fatores de manejo. É sabido que a cidade de São Mateus do Maranhão apresenta um maior índice pluviométrico, esse pode ser o fator que mais influencie na ocorrência de doenças em um determinado local ser mais elevado. Também é possível notar que os resultados apresentaram um coeficiente de variação elevado, mostrando que pode ter ocorrido alguns erros na avaliação a nível de campo, principalmente no caractere brusone de panícula.

Tabela 3. Resumo análise conjunta dos caracteres: Produtividade, Florescimento, Zinco e Ferro.

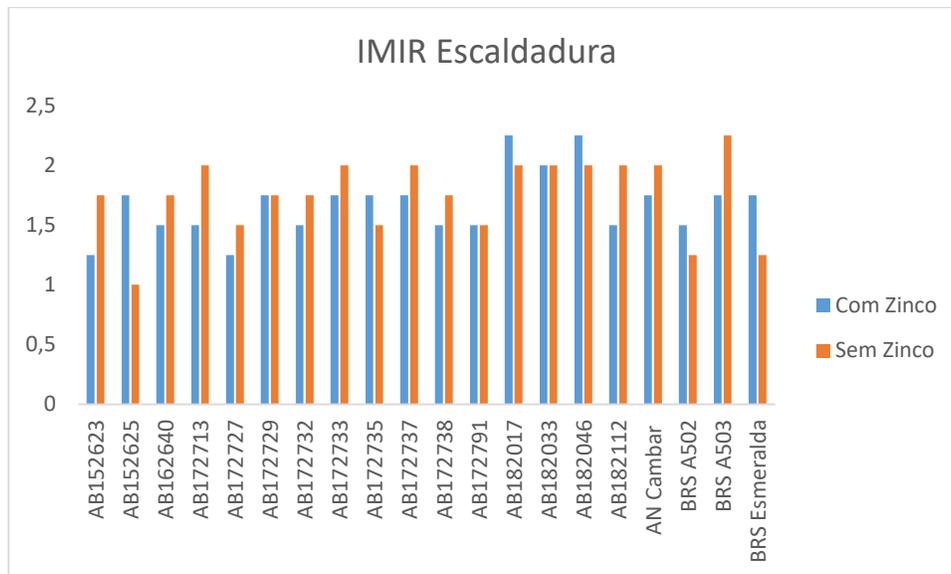
FV	GL	Produtividade	Florescimento	Ferro	Zinco
AMBIENTE (A)	1	1094006275.3125*	12751.2500*	0.1711 ^{ns}	72.20 ^{ns}
APLICAÇÃO O (A`)	1	4927537.8125 ^{ns}	110.4500*	24.420*	0.128 ^{ns}
MATERIAL (M)	19	1879810.9210 ^{ns}	81.4440*	3.7133 ^{ns}	82.90*
A X A`	1	3667961.2500 ^{ns}	108.1125*	21.528*	149.6*
A X M	19	3700632.2204 ^{ns}	67.00*	6.104*	67.63*
A` X M	19	2420571.3651 ^{ns}	18.1473 ^{ns}	5.0568 ^{ns}	27.14 ^{ns}
A X A` X M	19	30372999.079 ^{ns}	12.0072 ^{ns}	4.4645 ^{ns}	23.99 ^{ns}
BLOCO/A	3	6709453.9533 ^{ns}	28.045 ^{ns}	3.2695 ^{ns}	94.92*
ERRO	237	172755.4878	16.2715	3.2000	29.65

MÉDIA	4047.3750	69.0312	3.169	25.91
CV (%)	32.90	5.84	56.08	21.02

^{ns} e *, não significativo, significativo, a 5%, respectivamente pelo teste F.

Já em relação a tabela 3, é possível observar que em relação ao florescimento, tivemos sim uma diferença significativa, mas não em relação a aplicação ou não do sulfato de zinco, e sim devido à uma diferença natural entre os materiais. No experimento foram utilizadas cultivares mais tardias e também mais precoces, dessa forma, a diferença se dá nesse sentido. Já em relação a translocação do micronutriente ferro, também houve uma diferença significativa, entretanto, apresentou um coeficiente de variação elevado e isso pode ser causa de um problema de avaliação. Já em relação ao caractere produtividade, vale a pena ressaltar que houve uma diferença significativa em relação ao local, principalmente pelo fato de que em São Mateus do Maranhão houve uma maior incidência de doenças.

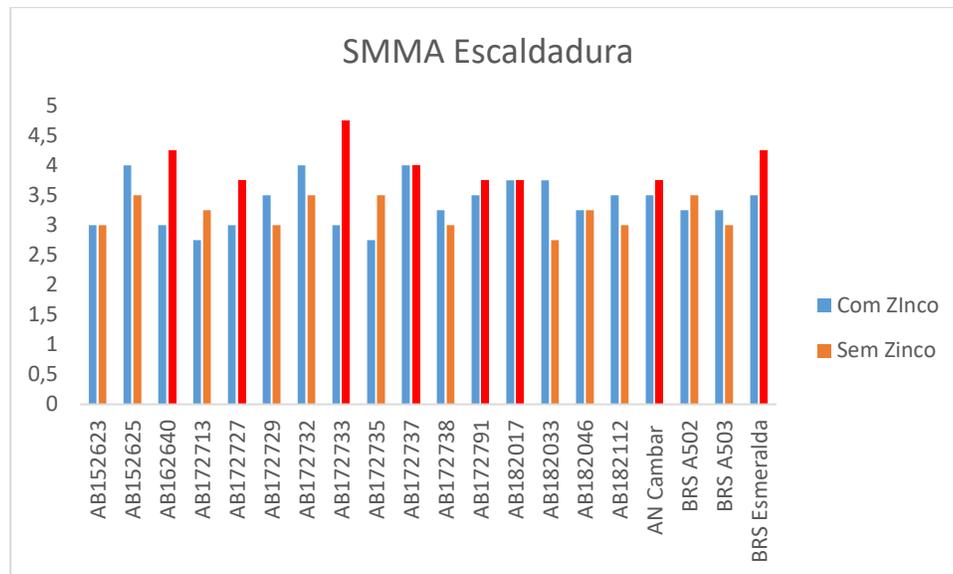
Figura 8. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para o caractere escaldadura em Itapecuru – Mirim.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

É possível observar, pela figura 8, que não ocorreu diferenças significativas na incidência da doença escaldadura, no ambiente de Itapecurum Mirim, também é possível notar que a aplicação de sulfato de zinco não causou nenhuma diferença significativa nos materiais.

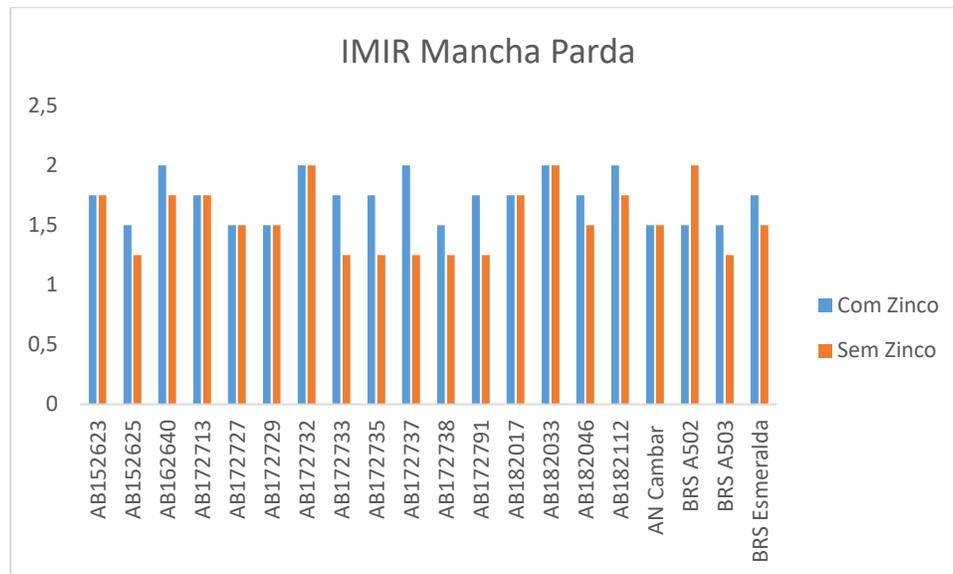
Figura 9. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para o caractere escaldadura em São Mateus do Maranhão.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

Em relação a figura 9, é possível observar que a incidência da doença foi maior em São Mateus do Maranhão, quando comparado com o ambiente anterior, e também foi possível observar que alguns genótipos, que não sofreram a aplicação do sulfato de zinco apresentaram uma maior incidência das doenças, como é o caso da BRS Esmeralda, AN Cambar, AB172733, AB 172727 e AB162640. Sendo, nesses casos, uma diferença significativa que mostra que, em alguns materiais, o sulfato de zinco influenciou causando uma diminuição na severidade de doenças.

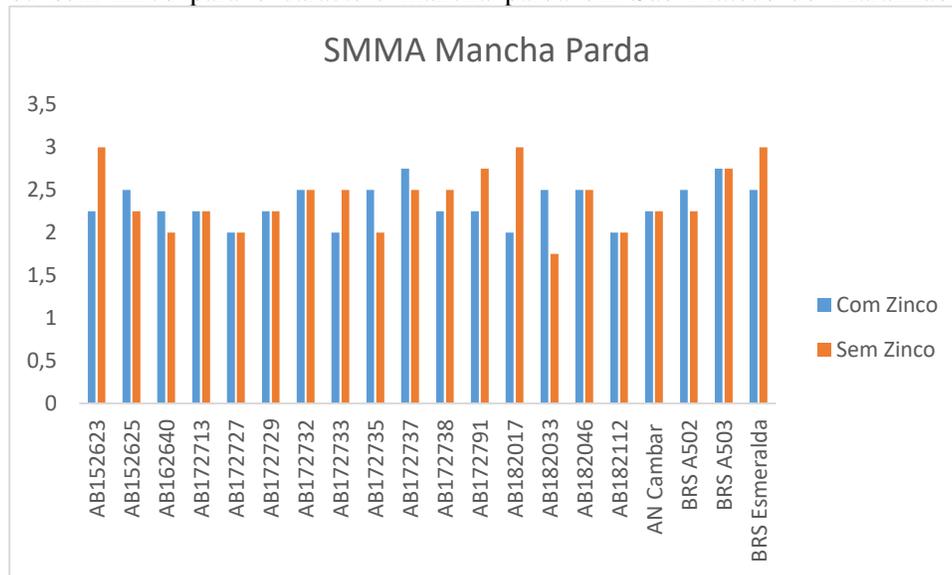
Figura 10. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para o caractere mancha parda em Itapecuru – Mirim.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

Já em relação a figura 10, é possível notar que, estatisticamente, não havia dado significativo a incidência de doenças e a figura com as tabelas serviu para demonstrar isso de uma forma mais clara.

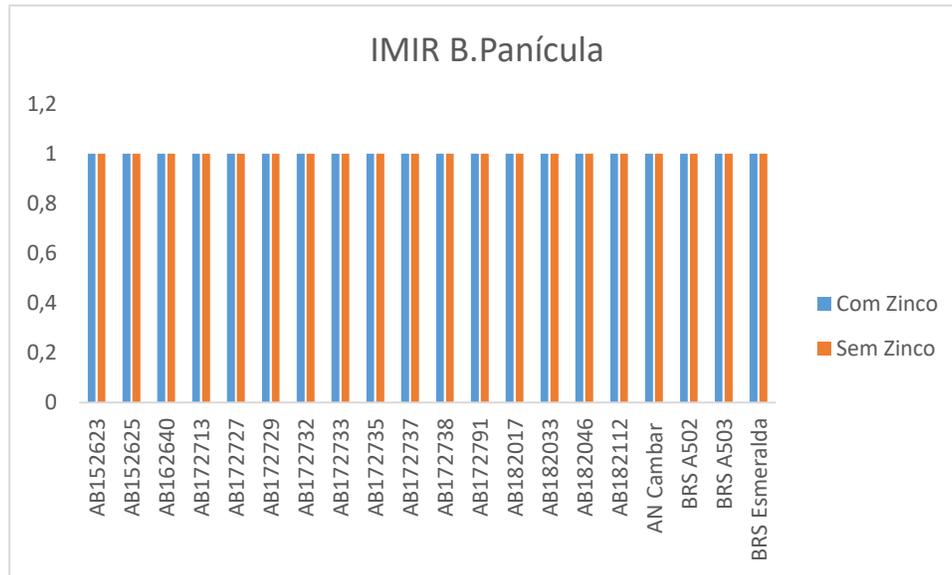
Figura 11. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para o caractere mancha parda em São Mateus do Maranhão.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

Também é possível notar que não houve diferenças significativas entre o tratamento com zinco ou sem, mesmo que a incidência tenha sido maior nesse ambiente.

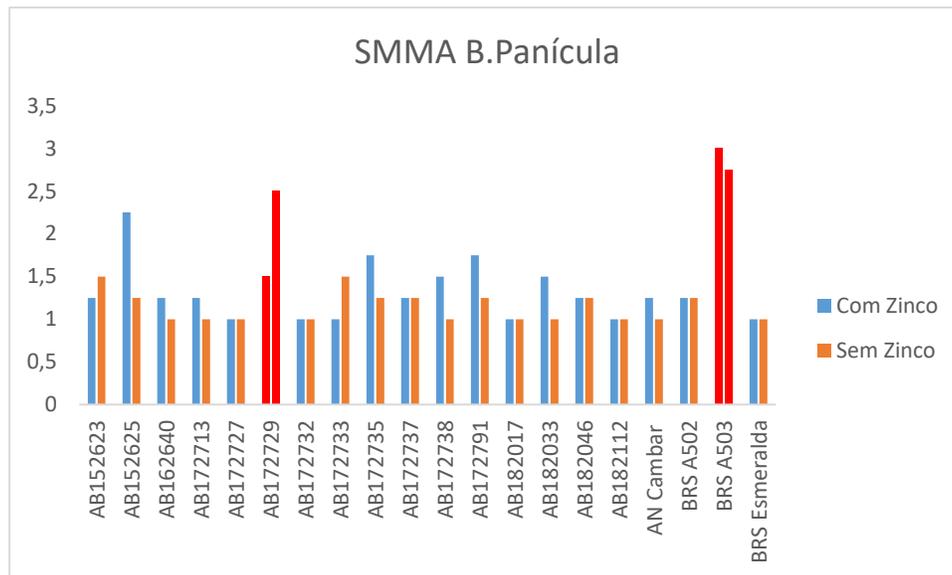
Figura 12. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para o caractere Brusone de panícula em Itapecuru - mirim.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

É possível notar que na localidade de Itapecuru – Mirim, a incidência da doença brusone foi extremamente baixa, pelo fato de que todos os materiais apresentaram a mesma pontuação.

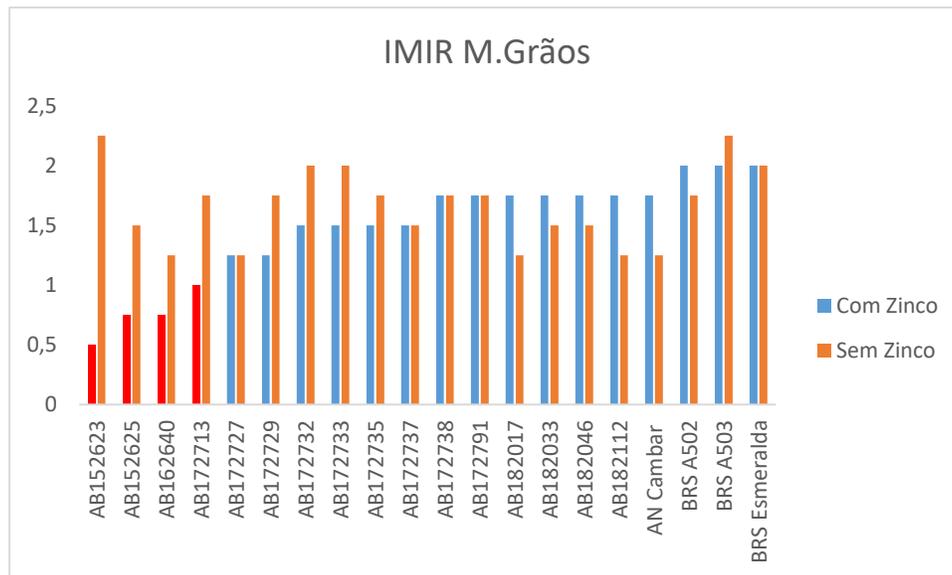
Figura 13. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para o caractere Brusone de panícula em São Mateus do Maranhão.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

É possível notar que, nessa localidade, ocorreu uma maior incidência da doença, sendo que pode destacar dois genótipos que apresentaram uma maior suscetibilidade a mesma: BRS A503 e também a AB172729. Em relação a BRS A03, é uma linhagem recém lançada da EMBRAPA e o fato de apresentar uma alta suscetibilidade pode ser preocupante, já a linhagem AB172729 está em fase de teste e pode continuar no programa de melhoramento.

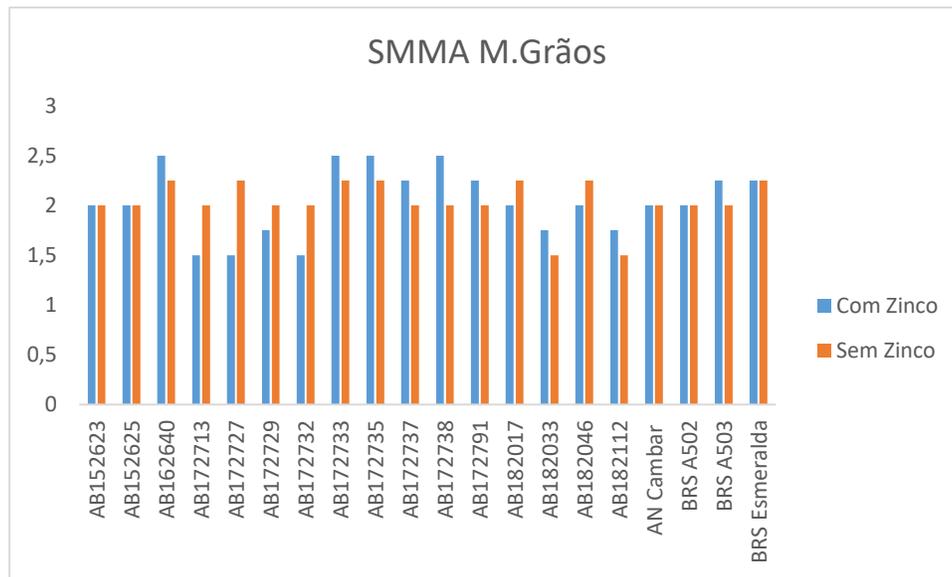
Figura 14. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para o caractere mancha de grãos em Itapecurum – mirim.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

Em relação a doença mancha de grãos, é possível notar que alguns materiais apresentaram uma maior incidência da doença quando não ocorreu a aplicação do sulfato de zinco. Isso mostra que o sulfato de zinco pode reduzir a severidade da doença mancha de grãos como foi o caso que aconteceu nos genótipos AB152623, AB152625, AB162640 e AB172713.

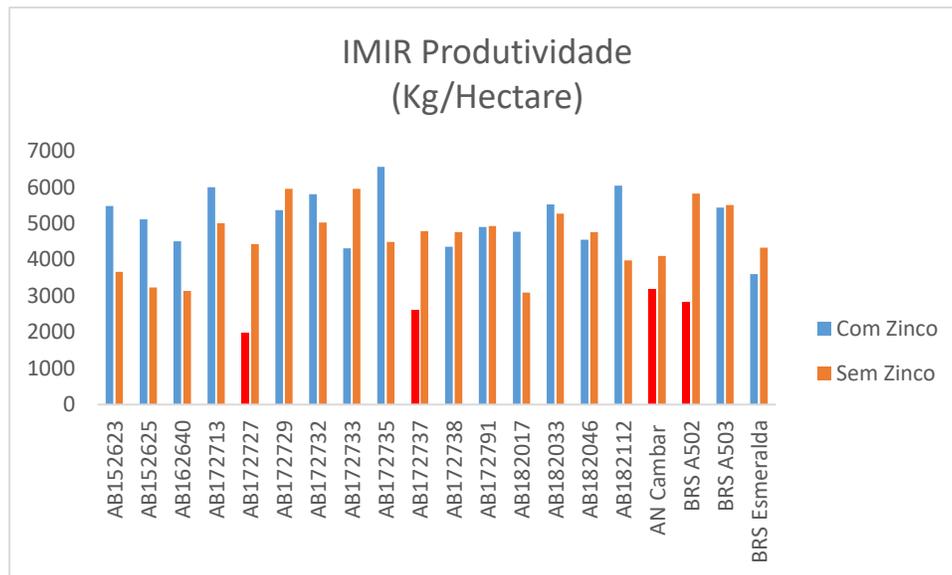
Figura 15. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para o caractere mancha de grãos em São Mateus do Maranhão.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

É possível notar que, em São Mateus do Maranhão, o comportamento foi diferente e não ocorreu diferença significativa entre os materiais que sofreram o tratamento e os que não sofreram.

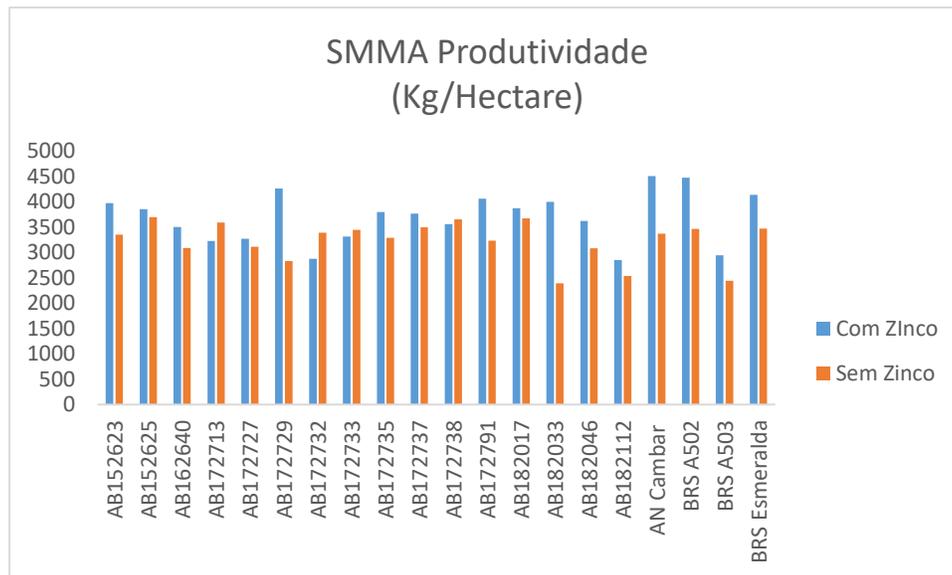
Figura 16. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para produtividade em Itapecuru – Mirim.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

É possível notar que, no caso da produtividade, houve alguns materiais que apresentaram uma baixa produtividade, mesmo tratados com sulfato de zinco, é o caso da AB172727, AB172735, AN Cambar e BRS A502. Entretanto, de forma geral, é possível afirmar que a média geral de produtividade dos ensaios foi a cima da média nacional. Haja visto que a média nacional para arroz sequeiro está na casa dos 4000kg/hectare (EMBRAPA, 2020).

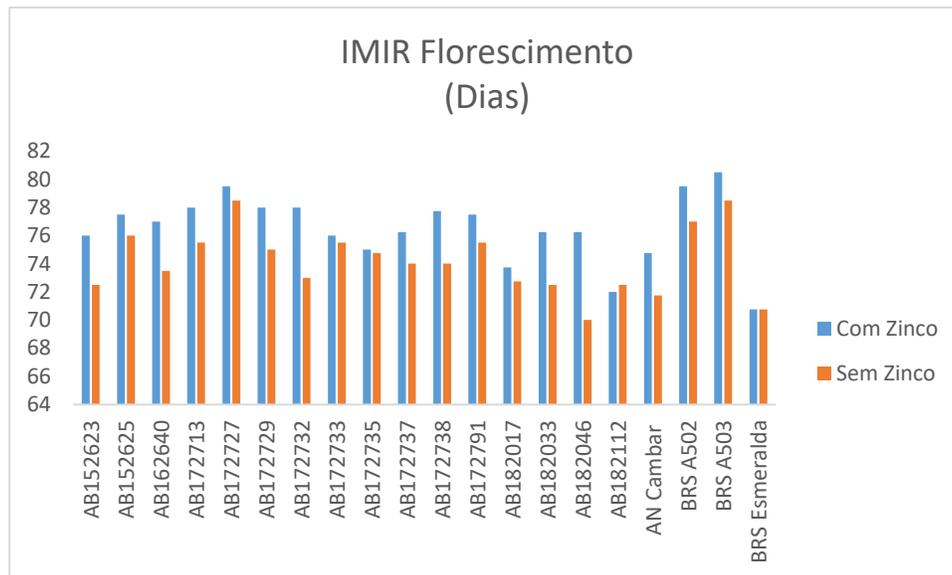
Figura 17. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para produtividade em São Mateus do Maranhão.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

Já na cidade de São Mateus do Maranhão, pode-se notar que houve um decréscimo na produtividade média, que se deve pelo fato de ter ocorrido algum fato biótico ou abiótico que possa ter vindo interferir na mesma. Entretanto, vale a pena ressaltar que não houve diferenças significativas e, conseqüentemente, não houve influência positiva da aplicação do sulfato de zinco na produtividade.

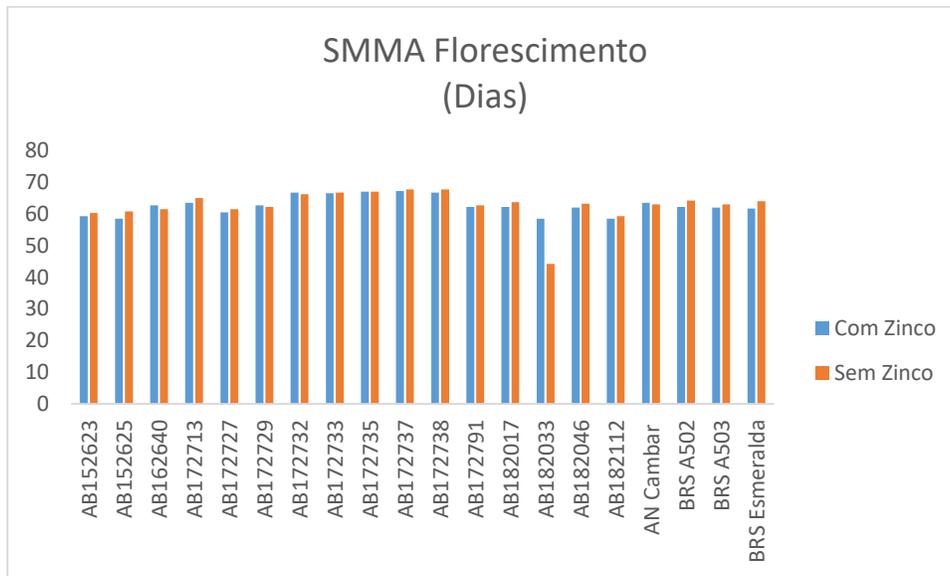
Figura 18. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para florescimento em Itapecuru Mirim.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

Já em relação ao florescimento, vale a pena ressaltar que as diferenças se deram no sentido das diferenças naturais entre os genótipos, ou seja, genótipos que são naturalmente mais tardios, permaneceram mais tardios e os precoces também se mantiveram como sendo precoce. Podendo destacar a BRS Esmeralda, como sendo a testemunha para precocidade no ensaio, com um florescimento na casa dos 70 dias.

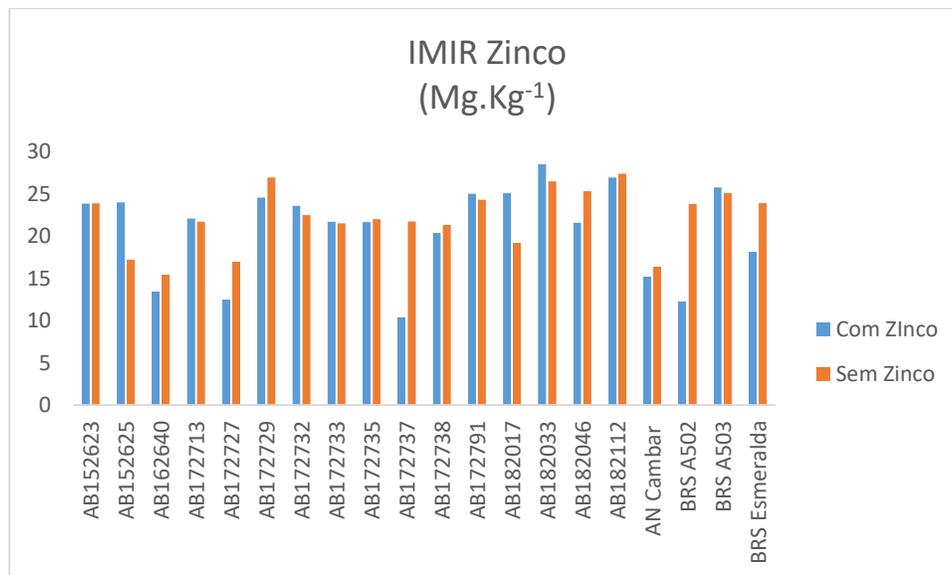
Figura 19. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para florescimento em São Mateus do Maranhão.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

Já em São Mateus do Maranhão, os genótipos apresentaram uma diminuição em seu ciclo, seja influenciado por fatores bióticos ou fatores abióticos que fizeram com que essa diminuição ocorresse. Também vale ressaltar que não houve diferenças significativas entre os materiais que sofreram o tratamento com sulfato de zinco e os que não sofreram.

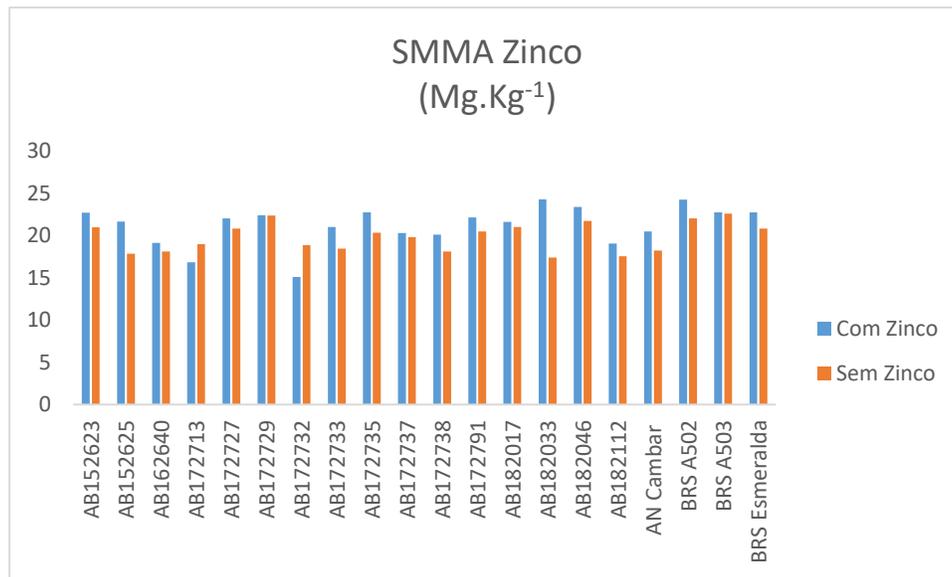
Figura 20. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para translocação de sulfato de zinco em Itapecurum - Mirim.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

Em relação a translocação do micronutriente zinco, é possível observar que os materiais que não sofreram com a aplicação, mas que apresentaram uma alta concentração do nutriente em seu interior, apresentam uma grande capacidade e afinidade e capacidade natural de incorporar o micronutriente em seu metabolismo, sendo de suma importância para um programa de melhoramento no qual visa a incorporação dessa característica em um genótipo de interesse.

Figura 21. Classificação materiais dos materiais em relação ao tratamento com ou sem zinco para translocação de sulfato de zinco em São Mateus do Maranhão.



Teste de médias Scott-knott. Com F em 0,05, ou seja, 5% de probabilidade.

É possível notar que não houve diferenças significativas na translocação dos materiais que apresentam uma grande quantidade para a absorção do zinco, sendo que com ou sem o tratamento a quantidade de zinco no interior das plantas foi a mesma.

Já em relação ao micronutriente Ferro (Fe), devido à um alto coeficiente de variação será necessário que o experimento ocorra novamente, com novas avaliações para se conseguir obter dados mais confiáveis que venham a ser mostrados e debatidos com profundidade e clareza sobre o tema.

5 CONCLUSÕES

Foi possível notar que a aplicação de sulfato de zinco tornou materiais mais suscetíveis a brusone de panícula, ainda mais suscetíveis, como é o caso da BRS A503.

Em relação a mancha de grãos é possível observar que os materiais AB172727, BRS A502, AB182112, AB162640 e AB172737 sofreram uma diminuição significativa na incidência das doenças.

Em relação ao zinco, foi possível notar que alguns materiais apresentam uma maior capacidade de translocar o nutriente, como: AB152623, AB172732, AB182112, AB172738, AB172713, AB172791 e BRS A503.

Ele não influencia na absorção de Ferro e também é possível notar que materiais que tem uma grande quantidade de translocar o zinco, mantêm essa capacidade mesmo quando não sofreram o tratamento com sulfato de zinco.

REFERÊNCIAS

Soares, Antônio Alves Cultura do arroz/ Antônio Alves Soares. 2. ed. rev. --
Lavras : UFLA, 2005. 130 p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Descritores Botânicos Agronômicos e fenológicos do Arroz (*Oryza sativa*), 2008. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc_226_000fyvibndf02wx5ok0ejlyhdmukfs5o.pdf.

Soares, Antônio Alves Cultura do arroz/ Antônio Alves Soares. 2. ed. rev. --
Lavras : UFLA, 2012. 119 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Descritores Botânicos Agronômicos e fenológicos do Arroz (*Oryza sativa*), 2021. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe75wint02wx5eo7qw4xeclygdut.html>

Seja doutor do seu arroz, 1995.

Nutrição mineral e adubação da cultura do arroz de sequeiro / Carlos Alberto Costa Veloso... [et al.]. – Belém, PA : Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 29 p. – (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1983-0513 ; 360).

MENDES A. M. S., Introdução a Fertilidade do Solo: Curso de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2009.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE – IRRI. Standard Evaluation System for Rice. Manila, 1996. 52p.

CAKMAK, I.; KUTMAN, U. B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science*, v. 69, n. 1, p. 172–180, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *Statistical Databases: Resources*. Rome: FAO, 2020.

SHIVAY, Y. S.; PRASAD, R. Food Crops: Zinc and Iron Biofortification. In: *Encyclopedia of Soil Science*. CRC Press. p. 933-938, 2017.

WANI, A. L. et al. Zinc: An element of extensive medical importance. *Current Medicine Research and Practice*, v. 7, n. 3, p. 90–98, 2017.

KABATA-PENDIAS, A. *Trace elements in soils and plants*. 4 ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

MERTENS J., S. E. Zinc. In: *Heavy Metals in Soils. Environmental Pollution*. Dordrecht: Springer, 2013. p. 465–493.

NOULAS, C.; TZIOUVALEKAS, M.; KARYOTIS, T. Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v. 49, n. October 2017, p. 252–260, 2018.

SHARMA, A. et al. Zinc - An Indispensable Micronutrient. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v. 19, n. 1, p. 11–20, 2013.

BOUIS, H. E.; SALTZMAN, A.; BIROL, E. Improving nutrition through biofortification. In: *Agriculture for improved nutrition: seizing the momentum*. p. 47–57, 2019.

SINGH, M. K.; PRASAD, S. K. Agronomic aspects of zinc biofortification in rice (*Oryza sativa* L.). *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, v. 84, n. 3, p. 613–623, 2014.

BENKEBLIA, N. (Ed.). Vitamins and Minerals Biofortification of Edible Plants. John Wiley & Sons, 2020.

SHRIVASTAVA, A.; GUPTA, V. B. Methods for the determination of limit of detection and limit of quantitation of the analytical methods. *Chronicles of Young Scientists*, v. 2, n. 1, p. 21–25, 2011.