



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**ESCOLA DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FERTILIZAÇÃO NITROGENADA COMO FERRAMENTA PARA  
MITIGAÇÃO DE EFEITOS DO DÉFICIT DE RADIAÇÃO SOLAR NO  
ARROZ IRRIGADO**

**RENATA DE CASTRO MARQUES CARVALHO**

Orientador:

**Prof. Dr. Alexandre Bryan Heinemann**

Co-orientadora:

**Profa. Dra. Moemy Gomes de Moraes**

SETEMBRO - 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação       Tese       Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

**Exemplos:** Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

Renata de Castro Marques Carvalho

#### 3. Título do trabalho

FERTILIZAÇÃO NITROGENADA COMO FERRAMENTA PARA MITIGAÇÃO DE EFEITOS DO DÉFICIT DE RADIAÇÃO SOLAR NO ARROZ IRRIGADO

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM       NÃO<sup>1</sup>

**[1]** Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

**a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Renata De Castro Marques Carvalho, Discente**, em 06/10/2023, às 12:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Bryan Heinemann, Usuário Externo**, em 06/10/2023, às 20:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4106165** e o código CRC **3CF2AFCD**.

---

**Referência:** Processo nº 23070.051296/2023-01

SEI nº 4106165

**RENATA DE CASTRO MARQUES CARVALHO**

**FERTILIZAÇÃO NITROGENADA COMO FERRAMENTA PARA  
MITIGAÇÃO DE EFEITOS DO DÉFICIT DE RADIAÇÃO SOLAR NO  
ARROZ IRRIGADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás,  
como requisito parcial para à obtenção do título de  
Doutora em Agronomia.

**Área de concentração:** Produção Vegetal.

Orientador:

**Prof. Dr. Alexandre Bryan Heinemann**

Coorientadora:

**Profa. Dra. Moemy Gomes de Moraes**

Goiânia, GO – Brasil  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Carvalho, Renata de Castro Marques

Fertilização nitrogenada como ferramenta para mitigação de efeitos  
do déficit de radiação solar no arroz irrigado [manuscrito] / Renata de  
Castro Marques Carvalho. - 2023.

LXXV, 75 f.: il.

Orientador: Prof. Alexandre Bryan Heinemann; co-orientador  
Moemy Gomes de Moraes.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de  
Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia,  
2023.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Intensidade Luminosa. 2. *Oryza sativa* L.. 3. Manejo nutricional.  
4. Potencial de Produtividade. I. Heinemann, Alexandre Bryan, orient.  
II. Título.

CDU 631/635



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

## ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº PPGA/060/2023 da sessão de Defesa de Tese de **Renata de Castro Marques Carvalho** que confere o título de Doutora em Agronomia, na área de concentração em Produção Vegetal.

Aos seis dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e três, a partir das oito horas e trinta minutos, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada "FERTILIZAÇÃO NITROGENADA MITIGA O EFEITO DO DÉFICIT DE RADIAÇÃO SOLAR NO ARROZ IRRIGADO". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Doutor Alexandre Bryan Heinemann (Embrapa Arroz e Feijão) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutor Luís Fernando Stone (Embrapa Arroz e Feijão), membro titular externo; Professor Marcos Paulo dos Santos (IFMS), membro titular externo, Professor Rodrigo de Souza Silva (UniAraguaia), membro titular externo e Professora Elaine Fernanda da Silva (UniAraguaia), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Doutor Alexandre Bryan Heinemann, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos seis dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e três.

### TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

FERTILIZAÇÃO NITROGENADA COMO FERRAMENTA PARA MITIGAÇÃO DE EFEITOS DO DÉFICIT DE RADIAÇÃO SOLAR NO ARROZ IRRIGADO



Documento assinado eletronicamente por **RODRIGO DE SOUZA SILVA, Usuário Externo**, em 06/10/2023, às 15:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Bryan Heinemann, Usuário Externo**, em 06/10/2023, às 20:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luís Fernando Stone, Usuário Externo**, em 07/10/2023, às 07:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elaine Fernanda da Silva, Usuário Externo**, em 10/10/2023, às 09:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



---

Documento assinado eletronicamente por **MARCOS PAULO DOS SANTOS**, **Usuário Externo**, em 10/10/2023, às 19:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4106148** e o código CRC **231A58F6**.

---

Referência: Processo nº 23070.051296/2023-01

SEI nº 4106148

Venham, escutem todos vocês que temem a Deus. Eu lhes contarei tudo o que ele fez por  
minha vida.

Deus realmente me escutou, atendeu a voz da minha oração.  
Bendito seja Deus, que não rejeitou a minha oração, nem retirou de mim sua misericórdia.

**Salmo 66, vers. 16, 19-20.**

Sei que a bondade e a fidelidade me acompanharão todos os dias da minha vida, e voltarei  
à casa do Senhor enquanto eu viver.

**Salmo 23, 6**

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelas bênçãos concedidas, pelo cuidado incomparável e por não retirar de mim a Sua inescrutável misericórdia.

À minha filha Ana Laura, por trazer leveza aos meus dias e por me acompanhar nesta etapa. Amo você infinitamente minha pequena.

Ao meu esposo Alan, meu companheiro e sustento nos dias difíceis. Obrigada por toda ajuda, pela compreensão, por ser tão dócil e por me amar.

À minha fiel intercessora, Aparecida Bueno, a quem Deus me concedeu a graça de chamar de mamãe. Mãe, sem a senhora eu não conseguiria vencer os obstáculos. Nunca me cansarei de dizer que te amo.

Ao meu pai Reginaldo Nunes, meu porto seguro. Pai, te amo até a eternidade. O senhor é o maior exemplo de homem na minha vida.

Ao meu amado irmão Ricardo, por ter abdicado de seus desejos para ajudar na minha formação acadêmica. Admiro você e toda sua força. Estaremos sempre juntos.

À minha avó Ana Bueno (*in memoriam*), que me mostrou que tudo acontece conforme a vontade e permissão de Deus.

À minha querida amiga e comadre Daniela Moreira, que sempre ecoou palavras de afeto, de incentivo e esteve comigo desde a infância.

Ao meu sogro Otaídes e minha sogra Ângela, pelo apoio, pela torcida. Vocês são importantes para mim.

Ao Prof. Dr. Alexandre Bryan, pela orientação durante o doutorado.

À Profa. Dra. Moemy Gomes, por todo conhecimento transmitido

Aos amigos que me ajudaram durante os experimentos: Adarias Osterno, Aline Rodrigues, Caio Teodoro, Elen Pereira, Dayana Abdala, Juracy Neto, Luís Augusto e Michel Aldrighi. Obrigada pela companhia.

Ao técnico agrícola da Embrapa Arroz e Feijão, Afonso Ribeiro, por toda ajuda, pela amizade e por todo o esforço na condução dos trabalhos de campo.

Ao João Ananias, funcionário da Embrapa Arroz e Feijão, pela ajuda no campo e por sempre deixar mais alegre o ambiente de trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Palmital da Embrapa Arroz e Feijão: Ademar, Antônio, Bebeto, Francisco, João Batista, Leandro, Ricardo e Sérgio, por toda ajuda e pelo empenho no trabalho de vocês.

À Embrapa Arroz e Feijão, pela oportunidade oferecida e por todo o apoio na condução dos trabalhos de campo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG, pela dedicação e conhecimento transmitido.

Por fim, agradeço a todos aqueles que participaram, direta ou indiretamente, da minha trajetória. Sem a contribuição de vocês nada disso seria possível.

**Com os olhos cheios d'água minha sincera gratidão a todos vocês!**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 CULTURA DO ARROZ IRRIGADO: ASPECTOS ECONÔMICOS, EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS E NUTRICIONAIS E CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ESTUDADOS</b> .....	<b>19</b>
2.1 CULTURA DO ARROZ.....	19
2.2 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA DO ARROZ.....	20
2.3 RADIAÇÃO SOLAR E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO ARROZ.....	21
2.4 ADUBAÇÃO NITROGENADA E SUA INTERAÇÃO COM A RADIAÇÃO SOLAR NA CULTURA DO ARROZ .....	24
2.5 CARACTERÍSTICAS DAS CULTIVARES ESTUDADAS .....	25
2.5.1 Cultivar BRS Catiana .....	26
2.5.2 Cultivar IRGA 424 RI .....	27
2.6 PERSPECTIVAS DA PESQUISA.....	27
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
3.1 Descrição dos Experimentos .....	29
3.2 Delineamento Experimental .....	32
3.3 Avaliação de Trocas Gasosas .....	33
3.4 Coleta de plantas, extração e quantificação de carboidratos não estruturais.....	33
3.5 Coleta de plantas e determinação do teor de nitrogênio total.....	34
3.6 Coleta de plantas para determinação da produtividade e seus componentes .....	35
3.7 Análise de rendimento de grãos após o beneficiamento.....	35
3.8 Análises estatísticas .....	36
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>51</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>52</b>

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Análise física e química do solo da área experimental, localizada na Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO, nas safras 2019/2020 e 2020/2021 -----31

**Tabela 2.** Concentração de carboidratos solúveis na folha (CSF) e no colmo (CSC) e amido na folha (AMF) e no colmo (AMC) nas cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de nitrogênio (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e condições de luminosidade (NS – não sombreado e S – sombreado), na safra 2019/2020, na Estação Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO----- 39

**Tabela 3.** Concentração de carboidratos solúveis na folha (CSF) e no colmo (CSC) e amido na folha (AMF) e no colmo (AMC) nas cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de nitrogênio (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e condições de luminosidade (NS – não sombreado e S – sombreado), na safra 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----40

**Tabela 4.** Número de panículas (NP), massa de 1000 grãos (M1000), matéria seca da folha (MSF) e do colmo (MSC) e produtividade (Prod.) das cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de nitrogênio (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e condições de luminosidade (NS – não sombreado e S – sombreado), na safra 2019/2020, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa e Feijão, município de Goianira, GO-----41

**Tabela 5.** Número de panículas (NP), massa de 1000 grãos (M1000), matéria seca da folha (MSF) e do colmo (MSC) e produtividade (Prod.) das cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e condições de luminosidade (NS – não sombreado e S – sombreado), na safra 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----42

**Tabela 6.** Rendimento (%) de grãos inteiros das cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), nas condições não sombreada (NS) e sombreada (S), na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----43

**Tabela 7.** Data de colheita em dias após a emergência (DAE) das cultivares IRGA 424 RI e BRS Catiana, submetidas a doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), nas condições não sombreada e sombreada, nas safras 2019/2020 e 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----64

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Estação meteorológica instalada na área experimental não sombreada (NS) e sombreada (S), na Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----29

**Figura 2.** Radiação solar global ( $R_s$  MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) na condição não sombreada (RADNS) e sombreada (RADS) e temperaturas máximas e mínimas (°C) nos ambientes com sombreamento (TMAXS, TMINNS) e sem sombreamento (TMAXNS, TMINNS) durante as safras 2019/2020 (A, C) e 2020/2021 (B, D), na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----30

**Figura 3.** Ilustração das épocas em que foram realizadas as aplicações de nitrogênio em cobertura nos experimentos -----31

**Figura 4.** Sombrite instalado na área do estudo localizada na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----32

**Figura 5.** Fotossíntese líquida ( $P_N$ ) (A, B), concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ) (C, D), condutância estomática ( $g_s$ ) (E, F), transpiração (E) (G, H) nas cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas às condições não sombreada (NS) e sombreada (S) e doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) nas safras 2019/2020 e 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente, à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----38

**Figura 6.** Teor de N total na planta (g N kg<sup>-1</sup> MS<sup>-1</sup>) nas cultivares Irga 424 RI e BRS Catiana submetidas às condições não sombreada (NS) e sombreada (S) e doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) nas safras 2019/2020 e 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente, à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----40

**Figura 7.** Box Plot da produtividade das cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, nas doses de 50 e 180 kg N ha<sup>-1</sup>, nas condições não sombreada (NS) e sombreada (S), nas safras 2019/2020 (A) e 2020/2021 (B)-----65

**Figura 8.** Matriz de correlação entre as variáveis nitrogênio total (N.total), matéria seca do colmo (MSC), matéria seca da folha (MSF), massa de 1000 grãos (P1000), número de panículas (NP), dose de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e produtividade (kg ha<sup>-1</sup>), nas cultivares Catiana não sombreada (A, C) e sombreada (B, D) e Irga 424 RI não sombreada (E, G) e sombreada (F, H), nas safras 2019/2020 e 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----66

**Figura 9.** Visão da área experimental antes do sombreamento (A) e após o sombreamento (B), na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----67

**Figura 10.** Cultivar IRGA 424 RI (a) e BRS Catiana (b) na condição não sombreada (NS) e sombreada (S), na safra 2019/2020, na Estação Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----68

**Figura 11.** Grãos de arroz das cultivares IRGA 424 RI nas doses 50 kg N ha<sup>-1</sup> (A) e 180 kg N ha<sup>-1</sup> (B) e BRS Catiana 50 kg N ha<sup>-1</sup> (A) e 180 kg N ha<sup>-1</sup> (B) na condição não sombreada (NS) e sombreada (S), na Estação Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO-----69

## ABREVIações

**AMF** – Amido na folha

**AMC** – Amido no colmo

**C0<sub>2</sub>** – Dióxido de carbono

**CNE** – Carboidratos não estruturais

**CSF** – Carboidrato solúvel na folha

**CSC** – Carboidrato solúvel no colmo

**C<sub>i</sub>** – Concentração interna de CO<sub>2</sub>

**DAE** – Dias após a emergência

**E** – Transpiração

**Embrapa** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**g<sub>s</sub>** – Condutância estomática

**IRGA** – Instituto Rio Grandense do Arroz

**MS** – Matéria Seca

**MSF** – Matéria seca da folha

**MSC** – Matéria seca do colmo

**N** - Nitrogênio

**NP** – Número de panículas

**NPK** – Nitrogênio, fósforo e potássio.

**NS** – Não Sombreado

**M1000** – Massa de 1000 grãos

**PAR** – Radiação Fotossinteticamente Ativa

**Prod** – Produtividade

**P<sub>N</sub>** – Fotossíntese líquida

**Rs** – Radiação global

**S** – Sombreado

## RESUMO

CARVALHO, R. C. M. **Fertilização nitrogenada como ferramenta para mitigação de efeitos do déficit de radiação solar no arroz irrigado**. 2023. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia. Universidade Federal de Goiás, 2023<sup>1</sup>.

O arroz é parte da rotina alimentar da população brasileira. A nível mundial é considerado uma das espécies com maior potencial para o combate à fome. O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do arroz. A radiação solar é um dos elementos do clima que mais interferem na produtividade da cultura. No Brasil, o arroz é cultivado em diferentes regiões, cujas localizações apresentam uma oferta distinta de radiação solar ao longo do ciclo. Esse é um dos fatores que explicam as diferenças produtivas nas regiões. Alguns trabalhos apontam que o fornecimento de nitrogênio em cobertura minimiza os danos causados pelo déficit de radiação solar na cultura do arroz irrigado. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi determinar o impacto do déficit de radiação solar em duas cultivares de arroz irrigado e investigar se o fornecimento de nitrogênio minimiza os efeitos provocados por esse déficit. Foram conduzidos dois ensaios de campo, referentes as safras de 2019/2020 e 2020/2021. Os trabalhos foram realizados na estação experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, no município de Goianira-Goiás. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos no desenho de parcelas subdivididas, com o sombreamento como parcela principal, a dose de nitrogênio como subparcela e as cultivares como sub-sub-parcela. As cultivares estudadas foram a BRS Catiana e IRGA 424 RI. A fonte de nitrogênio utilizada foi a ureia, nas doses de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N (aplicada em uma única vez, no estágio V2) e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N (parcelada em três épocas, V2; V3 e V6, com as respectivas doses de 50; 50 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N). As parcelas sob restrição de luz foram cobertas com uma tela de propileno preta com capacidade de atenuação de 30% da radiação solar global, instalada no início do florescimento das plantas (R4) e permaneceu até a maturidade

---

<sup>1</sup>Orientador: Prof. Dr. Alexandre Bryan Heinemann. Embrapa Arroz e Feijão.  
Coorientadora: Prof. Dra. Moemy Gomes de Moraes. ICB-UFG.

fisiológica (R9). Quinze dias após a instalação do sombreamento, avaliou-se as trocas gasosas das plantas, com auxílio do analisador de gás por infravermelho. Nessa mesma época coletou-se amostras de plantas para análise de carboidratos não estruturais (CNE) e teor de nitrogênio total. Na ocasião da colheita foi amostrada uma linha de 1,0 m para a análise dos componentes de rendimento. A produtividade foi obtida por meio da colheita de 10 m de linha. Avaliou-se o rendimento de grãos inteiros, a partir do beneficiamento de uma amostra de 100 gramas em cada parcela experimental. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). O sombreamento reduziu a concentração de carboidratos não estruturais na folha e no colmo das cultivares na condição sombreada. O teor de nitrogênio na planta teve redução em condições de restrição de luz. As trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração interna de  $\text{CO}_2$  e transpiração) sofreram interferência em razão da disponibilidade de radiação solar. Em condições de sombreamento, houve menor rendimento de grãos inteiros. O aumento da aplicação de nitrogênio em cobertura permitiu uma recuperação nas trocas gasosas, carboidratos não estruturais, teor de nitrogênio na planta, produtividade e rendimento de grãos inteiros, em condições limitantes de radiação solar. A cultivar IRGA 424 RI teve maior capacidade de ajuste na condição sombreada, em comparação à BRS Catiana, o que implicou em maior produtividade nessa condição. Na condição não sombreada e na maior dose de N ( $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a cultivar BRS Catiana, apresentou produtividade superior à IRGA 424 RI. A aplicação de nitrogênio em cobertura é uma estratégia de manejo que pode ser aplicada para minimizar o impacto do déficit de radiação solar na cultura do arroz irrigado.

**Palavras-chave:** Intensidade luminosa, *Oryza sativa* L., manejo nutricional, potencial de produtividade.

## ABSTRACT

CARVALHO, R. C. M. Nitrogen fertilization as a tool to mitigate the effects of solar radiation deficit in irrigated rice. 2023. 70 f. Thesis (Doctorate in Agronomy: Crop Production) – School of Agronomy, Federal University of Goiás, Goiânia, 2023<sup>2</sup>

Rice is part of the routine diet of the Brazilian population. Worldwide, it is considered one of the species with the greatest potential for combating hunger. Nitrogen is the nutrient most required by the rice crop. Solar radiation is one of the elements of the climate that most affects crop productivity. In Brazil, rice is grown in different regions, whose locations have a different supply of solar radiation throughout the cycle. This is one of the factors that explains the differences in productivity between regions. Some studies have shown that the supply of nitrogen as a top dressing minimizes the damage caused by solar radiation deficit in irrigated rice. In view of the above, the aim of this study was to determine the impact of the solar radiation deficit on two cultivars of irrigated rice and to investigate whether the supply of nitrogen minimizes the effects caused by this deficit. Two field trials were conducted for the 2019/2020 and 2020/2021 harvests. The work was carried out at the Palmital Farm experimental station, belonging to Embrapa Rice & Beans, in the municipality of Goianira-Goiás. The experimental design was randomized blocks, with four replications. The treatments were arranged in a subdivided plot design, with shading as the main plot, the nitrogen dose as the subplot and the cultivars as the sub-sub-plots. The cultivars studied were BRS Catiana and IRGA 424 RI. The nitrogen source used was urea, at doses of 50 kg ha<sup>-1</sup> of N (applied just once, at the V2 stage) and 180 kg ha<sup>-1</sup> of N (spread over three seasons, V2; V3 and V6, with the respective doses of 50; 50 and 80 kg ha<sup>-1</sup> of N). The light-restricted plots were covered with a black propylene screen with an attenuation capacity of 30% of global solar radiation, which was installed at the start of flowering (R4) and remained in place until physiological maturity (R9). Fifteen days after the shading was installed, the plants' gas exchange was assessed using an infrared gas analyzer. At the same time, plant samples were taken for analysis of non-structural carbohydrates (NSC) and total nitrogen content. At harvest time, a 1.0 m row was sampled for analysis of yield components. Yield was obtained by harvesting 10 m of the row. Whole grain yield was assessed by

---

<sup>2</sup>Orientador: Prof. Dr. Alexandre Bryan Heinemann. Embrapa Arroz e Feijão.  
Co-orientadora: Prof. Dra. Moemy Gomes de Moraes. ICB-UFG.

processing a 100 gram sample from each experimental plot. The data was submitted to analysis of variance and the means were compared using the Tukey test ( $p < 0.05$ ). Shading reduced the concentration of non-structural carbohydrates in the leaf and stem of the cultivars in the shaded condition. The nitrogen content in the plant was reduced under conditions of light restriction. Gas exchange (net photosynthesis, stomatal conductance, internal CO<sub>2</sub> concentration and transpiration) was affected by the availability of solar radiation. Under shaded conditions, there was a lower yield of whole grains. Increased nitrogen application allowed for a recovery in gas exchange, non-structural carbohydrates, nitrogen content in the plant, productivity and whole grain yield, under conditions of limited solar radiation. The IRGA 424 RI cultivar had a greater ability to adjust in the shaded condition compared to BRS Catiana, which implied higher productivity in this condition. In the unshaded condition and at the highest dose of N (180 kg ha<sup>-1</sup>), the BRS Catiana cultivar showed higher productivity than IRGA 424 RI. Applying nitrogen as a top dressing is a management strategy that can be applied to minimize the impact of solar radiation deficit on irrigated rice crops.

**Key-words:** Ecophysiology, light intensity, *Oryza sativa* L., nutritional management, yield potential.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) possui grande importância, pois é fonte primária de alimentação para mais de um terço da população mundial. Sua produção global em 2021 foi de 756,74 milhões de toneladas, o que corresponde por cerca de 22% da produção de grãos no cenário mundial (USDA, 2022). O Brasil participa com aproximadamente 11,22 milhões de toneladas (2,17% da produção mundial) e destaca-se como único país não-asiático entre os 10 maiores produtores (FAO, 2022). No Brasil, o arroz ocupa o quarto lugar em área plantada com culturas anuais (IBGE, 2020). Mesmo com sua importância, o setor sofre com a competitividade de outras culturas mais rentáveis, tais como a soja e milho (Conab, 2019), além de restrições ambientais, principalmente em função da radiação solar e temperatura (Zhou, 2021).

Analisando-se a produtividade da cultura do arroz no cenário nacional, verifica-se que a Região Sul é a maior produtora, com rendimento médio de 8,5 t ha<sup>-1</sup>, respondendo por mais de 80% da produção do país. A Região Norte, ocupa a segunda posição com produtividade média de 6,1 t ha<sup>-1</sup>, seguida da Região Centro-Oeste, com produtividade média de 5,6 t ha<sup>-1</sup>. Na quarta posição está a região Nordeste, com produtividade média de 6,09 t ha<sup>-1</sup>. Por sua vez, a região Sudeste é a última colocada, onde a produção de arroz exerce pouca expressão no cenário nacional (Conab, 2023).

A produção obtida na região tropical do país não é suficiente para atender a demanda local. Dessa forma, há uma dependência do arroz produzido no Sul do país para suprir o mercado (Conab, 2015). Essa dependência representa um problema logístico na distribuição dos grãos, tornando-o mais caro, além de gerar um problema de segurança alimentar. Nesse contexto, é necessário entender os fatores que interferem na produtividade nas regiões produtoras, incluindo regiões de clima tropical e buscar estratégias que permitam minimizar esses efeitos.

Excluindo-se o fator tecnológico, pode-se afirmar que as maiores produtividades obtidas em regiões de clima temperado, como é o caso da região Sul, é condicionada pela maior oferta de radiação solar durante os meses correspondentes ao cultivo (Duarte Junior et al., 2021; Yuan et al., 2021; Heinemann et al., 2019). No Brasil,

a disponibilidade de radiação solar é variável, conforme a região (Pereira et al. 2017). O arroz cultivado na região tropical sofre interferência da menor disponibilidade de radiação solar acumulada durante o ciclo, o que resulta em produtividades inferiores a regiões com condições de maior disponibilidade de radiação solar (Santos et al., 2017a).

A radiação solar é um dos elementos climáticos mais determinantes para o bom desenvolvimento das culturas (Liu, 2014). Na cultura do arroz, o déficit de radiação solar, reduz em até 70% a produtividade dos grãos, principalmente, quando ocorre limitação nas fases reprodutiva e de maturação (Sun et al., 2012; Deng et al., 2015; Wang et al., 2015; Chen et al., 2019; Panda et al., 2019; Zhong et al., 2021).

A dinâmica do desenvolvimento da cultura do arroz é determinada por fatores genéticos, sendo ajustada por fatores ambientais, como a radiação solar (Sun et al. 2016; Pan et al., 2016). Dessa forma, a compreensão dos elementos climáticos determinantes para as plantas torna-se imprescindível, pois, permite a definição de estratégias de manejo que podem gerar ganhos de produtividade.

Uma das principais estratégias de manejo no cultivo do arroz é o fornecimento dos nutrientes minerais em doses adequadas (Spiertz, 2010). O nitrogênio (N) é o nutriente mineral mais requerido na cultura do arroz irrigado, proporcionando retornos em produtividade bastante significativos (Snyder & Slaton, 2001; Vitousek et al., 2009; Makino, 2011; Zhao et al., 2012; Jiang et al., 2016). O N está entre os elementos minerais mais acumulados na cultura do arroz irrigado (Fageria, 2006) e, em muitos casos, representa um dos principais fatores limitantes para o desenvolvimento adequado das plantas (Santos et al., 2017b). O suprimento adequado de nitrogênio em cobertura, possibilita o aumento do índice de área foliar, perfilhamento, número de panículas por área, número de grãos por panícula, massa de grãos, além de reduzir a esterilidade de espiguetas (Mingotte et al., 2015)

Há evidências que o fornecimento de N, minimiza o efeito prejudicial do déficit de radiação solar na cultura do arroz (Ren et al., 2003). Nesse sentido, Pan et al. (2016) avaliaram o efeito do nitrogênio e do sombreamento em três cultivares de arroz irrigado. Os autores verificaram que a redução na oferta de radiação solar ocasionou perdas de produtividade em torno de 2,3 t ha<sup>-1</sup>. Nos tratamentos sob déficit de radiação solar e com fornecimento de N na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>, a produtividade foi em média 15% superior ao tratamento com a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Os autores apontaram que o aumento na dose de N em cobertura representa uma estratégia de manejo para minimizar as quedas de produtividade em razão da menor disponibilidade de radiação solar.

Sabendo que a radiação solar é um fator limitante para o bom desenvolvimento da cultura do arroz, torna-se necessário o investimento em pesquisas que busquem alternativas que minimizem os efeitos prejudiciais do déficit de radiação solar na cultura do arroz irrigado, bem como verificar o comportamento das principais cultivares frente à restrição de radiação solar.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi: (a) verificar o impacto do déficit de radiação solar em duas cultivares de arroz irrigado, (b) avaliar se a aplicação de nitrogênio em dose mais alta minimiza os danos causados pela restrição da radiação solar e (c) investigar o comportamento das cultivares em cada cenário avaliado.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **CULTURA DO ARROZ IRRIGADO: ASPECTOS ECONÔMICOS, EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS E NUTRICIONAIS E CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ESTUDADOS<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Trabalho elaborado conforme as normas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA-UFG)

## **2 CULTURA DO ARROZ IRRIGADO: ASPECTOS ECONÔMICOS, EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS E NUTRICIONAIS E CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ESTUDADOS**

### **2.1 CULTURA DO ARROZ**

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma planta hidrófila, pertencente à família das gramíneas com mecanismo fotossintético do tipo C-3. O gênero *Oryza* compreende cerca de 22 espécies que estão distribuídas pelas regiões da Ásia, África, América do Sul e América Central. Dentre as espécies catalogadas, apenas duas são cultivadas: *O. sativa* e *O. glaberrima* (Chang, 1996).

A espécie *Oryza sativa*, tem como centro de origem a Ásia e *Oryza glaberrima* é originária da África Ocidental (Pereira, 2002). *O. sativa* é a espécie mais cultivada e paulatinamente vem substituindo *O. glaberrima*. Atualmente, o arroz asiático (*O. sativa*) é subdividido em duas subespécies principais: Índica e Japônica. As cultivares de arroz pertencentes à subespécie Índica tem predominância nos trópicos e subtropicais, enquanto as da subespécie Japônica prevalecem em regiões temperadas (Mackill & Lei, 1997). Entre os fatores que diferenciam as subespécies Índica e Japônica, pode-se citar os caracteres morfológicos. As cultivares da subespécie Índica apresentam grãos mais longos e finos e os da subespécie Japônica apresentam grãos largos e curtos (Matsuo, 1997). De acordo com Mackill et al. (1996) a classificação do arroz nessas duas subespécies é de grande importância para os melhoristas, uma vez que, ela indica a adaptação a ambientes específicos e dessa forma influencia nas estratégias de melhoramento para a utilização de germoplasma.

## 2.2 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA DO ARROZ

Em todos os continentes, o arroz é cultivado e consumido. Assim, em razão da sua composição nutricional, produção e área de cultivo, é considerada uma das plantas com grande potencial para combate à fome no mundo. Para a população da Ásia, África e América Latina constitui a fonte primária de energia, representando a base alimentar para os povos em regiões pouco desenvolvidas. De acordo com Santos (2004), o arroz é a espécie com maior potencial de aumento de produção a nível mundial, uma vez que, apresenta ampla adaptação às diferentes condições de cultivo.

O continente asiático se destaca como o maior produtor de arroz, concentrando mais 90% do total produzido no mundo. O segundo lugar é ocupado pelas Américas, com 5,2% da produção total, seguido pela África, Europa e Oceania, com 3,6%; 0,6% e 0,1%, respectivamente. O Brasil é o único país fora do continente asiático no ranking dos maiores produtores, ocupando a décima posição, com produção por volta de 11 milhões de toneladas ao ano (FAO, 2022).

Segundo dados da Conab (2023), a região Sul concentra mais de 80% da produção de arroz no Brasil. Nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, a área destinada ao cultivo de arroz irrigado fica em torno de 10%, sendo responsável por cerca de 11% da produção brasileira, nesse sistema de cultivo. As regiões Nordeste e Sudeste são responsáveis por 2,9 e 0,43%, respectivamente, da produção nacional.

Na região Sul, o estado que desponta como maior produtor de arroz é o Rio Grande Sul (RS), com uma área plantada de 862,6 mil hectares (ha) e produtividade de 8,04 t ha<sup>-1</sup>. Em segunda posição, está o estado de Santa Catarina, com 146,6 mil ha de área plantada e produtividade média equiparada ao RS. Na região Norte, segunda maior produtora, o estado do Tocantins é destaque, com uma área de plantio de cerca de 88,1 mil ha e produtividade de 6,04 t ha<sup>-1</sup>. Na região Centro-Oeste, o estado do Goiás lidera a produção com área plantada de aproximadamente 14,6 mil ha com produtividade média de 5,59 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2022; CONAB, 2023).

Na safra 2022/2023 a área destinada ao cultivo de arroz no Brasil foi de 1.479, 6 hectares. Desse total, mais de 70% foram cultivados no sistema de irrigação por inundação e o restante no sistema de terras altas (CONAB, 2023). No panorama geral, há tendência de redução da área plantada do arroz de terras altas, em quase todos os estados produtores, em razão da competitividade com áreas de soja e milho, uma vez que são cultivadas no mesmo período, e apresentam maior rentabilidade, principalmente nos estados com maiores áreas plantadas nesse sistema, como Mato Grosso e Maranhão. No sistema irrigado, também houve redução na área plantada, e as projeções apontam que essa redução pode se intensificar (MAPA, 2021; CONAB, 2023).

As informações disponíveis na literatura apontam que paulatinamente o arroz vem perdendo espaço para culturas com maior rentabilidade e que sofrem menor influência de elementos climáticos. Considerando a tradição do consumo de arroz no Brasil e em outras regiões do mundo, e analisando-se as projeções de área plantada, torna-se necessário, o investimento em pesquisas que apresentem alternativas para a obtenção de melhores produtividades nas diferentes regiões produtoras de arroz.

### 2.3 RADIAÇÃO SOLAR E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO ARROZ

A radiação solar é a energia radiante emitida pelo Sol, sob a forma de radiação eletromagnética. Essa energia é distribuída de forma desigual pela superfície terrestre, conforme a latitude e a época do ano. Alguns fatores como turbidez atmosférica, cobertura de nuvens, topografia do terreno e tipo de cobertura da superfície, interferem na intensidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre (Almeida, 2016).

A radiação solar é um dos elementos climáticos que contribui significativamente para o sucesso no cultivo do arroz. A disponibilidade de radiação solar é limitante nas fases reprodutiva (diferenciação da panícula à floração) e de maturação (floração à maturação fisiológica dos grãos) (Steinmetz et al., 2013). Nessas fases, ocorre aumento da demanda por carboidratos, em razão da formação e enchimento das espiguetas que atuam como drenos. Sendo assim, uma redução na produção de carboidratos provoca declínio na produtividade.

No Brasil, o arroz é cultivado em quase todos os estados, em latitudes que variam desde 5° Norte até 33° Sul. Dessa forma, a cultura é submetida a condições climáticas distintas, o que interfere na produtividade das plantas (Steinmetz et al., 2006). As maiores produtividades observadas na região subtropical do país, são atribuídas em grande parte à maior disponibilidade de radiação solar durante o ciclo da cultura (Silva et al., 2004).

A disponibilidade média de radiação solar é variável nas distintas regiões produtoras de arroz do Brasil, implicando em diferenças produtivas (Santos et al., 2017a). Segundo Heinemann et al. (2009), a análise da disponibilidade de radiação solar, durante o ciclo da cultura do arroz, em diferentes regiões produtoras do Brasil, mostra que o valor mais alto ocorre na região de Xanxerê, Santa Catarina ( $22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) e, os mais baixos são registrados em Sena Madureira, Acre ( $16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) e em Porto Velho, Rondônia ( $17 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Nas outras regiões produtoras, a radiação solar varia de 18 a  $21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Para Yoshida & Parao (1976), o número de espiguetas aumenta quando o índice de radiação solar está próximo de  $21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Dessa forma, a produtividade em Sena Madureira no Acre e Porto Velho em Rondônia pode ser afetada pela menor disponibilidade de radiação solar.

De acordo com estudo feito por Santos et al. (2017a), na região Centro-Oeste do Brasil ocorre diminuição da produtividade em comparação à produtividade observada na região Sul, devido ao menor acúmulo de radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) durante o período reprodutivo da cultura. Nesse mesmo estudo, também foi observado que há uma diferença importante em relação a PAR acumulada, se comparados os ambientes tropical e subtropical, sendo observados até  $400 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  de PAR acumulada no ambiente subtropical, enquanto no tropical a PAR acumulada ficou próxima a  $300 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

Segundo Funari & Tarifa (2017), a menor produtividade obtida na região tropical do Brasil, comparada a região subtropical, entre outros fatores, é resultado da época de cultivo, que coincide com os períodos de precipitação e maior nebulosidade. Dessa forma, a radiação solar que chega até as plantas sofre uma redução expressiva, impactando nos processos fisiológicos. Para regiões tropicais, o decréscimo no rendimento pode chegar a 70%, caso as plantas sejam submetidas a baixos níveis de radiação (Yoshida & Parao, 1976). Klering et al. (2008) verificaram que em anos com maiores disponibilidades de radiação solar, são obtidos os maiores rendimentos. De acordo com Rossato (2021), a cada dia nublado, ou seja, com menor radiação solar incidente, as perdas produtivas são de cerca de  $28 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ,  $126 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  e  $142 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  nas fases vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos, respectivamente.

A radiação solar interceptada é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento das plantas, sendo considerada combustível para o processo fotossintético (Lopes & Lima, 2015). A produção de biomassa pelas plantas é resultante da conversão de energia luminosa em compostos orgânicos complexos. Sob baixa disponibilidade de radiação solar, há tendência de redução da atividade fotossintética e, conseqüentemente, menor produção de fotoassimilados, implicando em menor acúmulo de matéria seca (Taiz et al., 2017).

Na cultura do arroz, o déficit de radiação solar resulta em maior altura de planta, uma vez que ocorre alongamento do colmo (Liu et al., 2014). Observa-se também, o aumento da área foliar (Liu et al., 2009). O conteúdo de clorofila é aumentado sob restrição de radiação solar, entretanto, ocorre redução na fotossíntese (Wang et al., 2015). O perfilhamento das plantas é menor, com conseqüente queda no número de panículas por planta e espiguetas por panícula (Dutta et al., 2017). Além disso, ocorre diminuição no número espiguetas férteis e na massa dos grãos, resultando em queda de produtividade (Liu et al., 2014; Dutta et al., 2017; Panda et al., 2019).

A demanda de radiação solar pela cultura do arroz é variável conforme a fase fenológica (Steinmetz, 2013). De acordo com Murty & Sahu (1987) a restrição de radiação solar limita o arroz em todas as fases de desenvolvimento, reduzindo a produtividade em até 70%. Durante a fase vegetativa, ocorre redução no número de perfilhos por planta. Já na fase reprodutiva, há aumento de esterilidade de espiguetas, além de menor massa dos grãos (Dutta et al., 2017). Apesar do déficit de radiação solar causar danos na fase vegetativa, os prejuízos são mais expressivos quando a restrição de luz ocorre nas fases reprodutiva e de maturação (Liang et al., 2015).

Em trabalho realizado por Liu et al. (2009), a limitação de radiação solar na fase vegetativa, comparado ao controle, aumentou a área da folha bandeira e o teor de açúcar solúvel em 33,86% e 30,23%, respectivamente. No entanto, o número de perfilhos reduziu em 26,72%. Nesse mesmo estudo, os autores verificaram que o número de espiguetas férteis e a massa de 1000 grãos, diminuíram 8,65% e 4,81%, respectivamente. A produtividade sob restrição de luz foi 39,56% inferior ao tratamento controle. Deng et al. (2009) verificaram que a redução de 50% na disponibilidade de radiação solar diminuiu o número de panículas por planta e espiguetas por panícula e a produtividade foi 17,3% inferior ao controle.

Embora, esteja bem documentado na literatura que a cultura do arroz apresenta alta exigência de radiação solar, alguns pontos sobre o porquê isso acontece ainda não estão bem

elucidados. Aliado a isto, sabe-se que os diferentes materiais genéticos disponíveis no mercado apresentam comportamentos distintos frente a esse fato. Dessa forma, é necessário ter mais clareza dos fatores atrelados a esses comportamentos, permitindo a definição de estratégias de manejo que proporcionem melhores resultados produtivos.

## 2.4 ADUBAÇÃO NITROGENADA E SUA INTERAÇÃO COM A RADIAÇÃO SOLAR NA CULTURA DO ARROZ

O nitrogênio (N) é o elemento com maior predominância na atmosfera (78,3%). No entanto, apesar dessa abundância, a forma  $N_2$ , presente no ar, não é diretamente aproveitável pelas plantas (Prado, 2008). Depois do carbono, hidrogênio e oxigênio, o N é o elemento que existe em maior quantidade nos organismos vivos. O nitrogênio é fundamental para o desenvolvimento de todas as plantas cultivadas, que o requerem em grande quantidade (Lopes & Lima, 2015).

O N está associado a diversos processos fisiológicos nas plantas, como constituinte da molécula de clorofila, enzimas, proteínas e ácidos nucleicos (Taiz et al., 2017). Dessa forma, as principais reações bioquímicas nas plantas requerem a participação do N, sendo, portanto, um dos elementos absorvidos em maiores quantidades pelas plantas cultivadas (Cantarella & Novais, 2007).

O suprimento de nitrogênio (N) via aplicação de adubos nitrogenados é imprescindível para a obtenção de altos índices produtivos na cultura do arroz irrigado. O N é o nutriente mais requerido pela cultura, proporcionando retornos em produtividade bastante significativos (Snyder & Slaton, 2001). Na cultura do arroz, o fornecimento adequado de nitrogênio permite o aumento dos componentes do rendimento, como número de panículas, número de grãos por panícula, massa de 1000 grãos, além de reduzir a esterilidade de espiguetas, o que resulta em maior produtividade (Fageria et al., 2011).

De acordo com Wang (2017), a deficiência de N na planta de arroz resulta em menor acúmulo de matéria seca, com conseqüente queda no rendimento. Ao comparar fontes e doses de N, Fageria et al. (2011) verificaram que a matéria seca da parte aérea e a produtividade aumentaram de forma quadrática quando a dose de N aumentou de 0 para 400 mg kg solo<sup>-1</sup>. Fageria & Barbosa Filho (2001) e Fageria & Baligar (2005) relataram o aumento da altura da

planta e da biomassa da parte aérea com o aumento da dose de N. Além do efeito no aumento da produtividade, a aplicação de N em cobertura melhora as características bioquímicas dos grãos, tais como, teor de carboidratos e proteínas (Mingotte et al., 2015; Zhou et al., 2015).

De acordo com estudo feito Sajjad et al. (2021), em plantas cultivadas em condições de estresse abiótico, assim como ocorre sob déficit de radiação solar, há diminuição na absorção do nitrogênio, interferindo nos processos fisiológicos nos quais o N participa. Para Liu et al. (2014), a alocação de N para a panícula é comprometida em condições de restrição de radiação solar, diminuindo o número de espiguetas férteis, a massa dos grãos e a produtividade. Dessa forma, o fornecimento de nitrogênio em maiores doses é uma estratégia de manejo para minimizar o impacto negativo do déficit de radiação solar.

Conforme relatado por Shi et al. (2023), a suplementação adequada com nitrogênio atua como indutor de resistência para as plantas em condições de déficit de radiação solar, minimizando o efeito negativo da menor disponibilidade de luz. Em estudo feito por Pan et al. (2016), verificou-se que a aplicação de nitrogênio na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> em plantas sob restrição de radiação solar reduziu as perdas de produtividade. Houve melhoria da taxa fotossintética nas plantas sob restrição de luz e dose de 180 kg N ha<sup>-1</sup> quando comparadas as plantas sob restrição de luz e dose de 120 kg N ha<sup>-1</sup>. As plantas cultivadas em condições de restrição de luz na dose de 180 kg N ha<sup>-1</sup>, produziram mais espiguetas férteis, espiguetas por panícula, além de apresentarem maior massa de grãos e rendimento.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS DAS CULTIVARES ESTUDADAS

A escolha das cultivares utilizadas neste estudo foi feita considerando a importância que estes materiais representam no cenário nacional. Segundo Maliszewski (2021), a cultivar BRS Catiana tem ampla aceitação entre os produtores, compondo mais de 50% da área plantada com arroz irrigado no Tocantins, além de possuir resistência à brusone, uma das principais doenças na cultura do arroz (Scheuermann & Nesi, 2021), e apresentar grãos classificados na linha *premium*. Já a cultivar IRGA 424 RI, segundo levantamento do Instituto Rio Grandense do Arroz, lidera o ranking de área plantada na região Sul do Brasil, sendo semeada em mais de 60% das áreas (IRGA, 2023). Além de integrarem o portfólio das cultivares mais plantadas no

Brasil, os materiais utilizados neste estudo apresentam alto potencial produtivo e têm grande aceitabilidade dos grãos no mercado.

### 2.5.1 Cultivar BRS Catiana

A BRS Catiana é uma cultivar que foi desenvolvida pela Embrapa por meio de cruzamento simples entre as cultivares IRGA 417 e BRS Jaburu, com intuito de disponibilizar para o produtor um material com maior resistência à brusone, rusticidade, potencial produtivo e qualidade de grãos (Morais et al., 2016).

Segundo a Embrapa (2018), a BRS Catiana é uma cultivar de ampla adaptação, com elevado potencial produtivo ( $\sim 11.329 \text{ kg ha}^{-1}$ ), excelente qualidade de grãos (63% de rendimento de grãos inteiros), resistência moderada às principais doenças encontradas nas lavouras de arroz irrigado, tolerância ao acamamento e presença de *stay green* (senescência tardia).

A BRS Catiana apresenta ciclo médio, com duração entre 121 e 135 dias. Os resultados dos ensaios de valor de cultivo e uso da BRS Catiana mostraram que, em média, o ciclo da cultivar durou aproximadamente 15 dias a mais na região subtropical, onde o florescimento ocorreu 104 dias após a emergência (DAE). Na região tropical, o florescimento ocorreu aos 89 DAE.

Os resultados da análise de desempenho dessa cultivar mostraram que ela apresenta ampla adaptação de cultivo, sendo indicada para os seguintes estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Pará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Roraima, Rio Grande do Sul, Sergipe, São Paulo e Tocantins. A altura média das plantas foi de 103 e 94 cm, nas regiões tropical e subtropical, respectivamente. A produtividade foi superior na região subtropical ( $\sim 9050 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Na porção tropical brasileira a produtividade foi  $7253 \text{ kg ha}^{-1}$  (Rangel et al., 2019).

## 2.5.2 Cultivar IRGA 424 RI

A cultivar IRGA 424 RI foi lançada no ano de 2013 pelo Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA). Esse material foi obtido pelo método de retrocruzamento, sendo a linhagem PCW16 doadora do gene de tolerância aos herbicidas do grupo das imidazolinonas e a cultivar IRGA 424 o genitor recorrente (Grohs et al., 2021).

A cultivar IRGA 424 RI foi desenvolvida para a região Sul do Brasil, sendo atualmente a cultivar mais plantada no Rio Grande do Sul, onde é semeada em 54% da área orizícola do estado (IRGA, 2023). A produtividade desse material na região Sul do Brasil alcança em média 13.000 kg ha<sup>-1</sup>, apresentando altura média de planta de 90 cm, ciclo médio, com duração de 133 dias (Lopes, 2014). Apesar de ter sido desenvolvida para a região Sul do Brasil, a IRGA 424 RI destaca-se pelo alto potencial produtivo também na região tropical, alcançando produtividade por volta de 11.000 kg ha<sup>-1</sup> (Santos et al., 2017a).

## 2.6 PERSPECTIVAS DA PESQUISA

O arroz é culturalmente parte da dieta alimentar da população brasileira. De acordo com informações divulgadas pela CONAB, IBGE e MAPA, há uma tendência de redução da área cultivada com arroz nas próximas décadas, em virtude da substituição por culturas com maior rentabilidade. Essa redução na área plantada e, conseqüentemente, na produção pode gerar aumento no valor do produto ao consumidor final, assim como tem sido observado nos últimos anos.

Outro fator a ser considerado é a forte relação entre os elementos climáticos, tais como a radiação solar e a produtividade do arroz irrigado. Sabe-se que a redução na oferta de radiação solar implica em menores produtividades da cultura. Considerando que a produção de arroz irrigado está distribuída em todas as regiões brasileiras, e que há variações na disponibilidade de radiação solar nessas regiões ao longo do ciclo da cultura, é esperado que a produtividade também apresente variações de acordo com a região.

Atualmente, a região Sul do Brasil produz a maior parte do arroz consumido no país. A produção obtida nessa região é resultante do maior investimento tecnológico, além de

condições climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Por ser a região que mais produz arroz no Brasil, há uma dependência do arroz produzido nessa região, o que do ponto de vista logístico representa um problema, uma vez que eleva o custo do produto, além de ser, também, um problema de segurança alimentar.

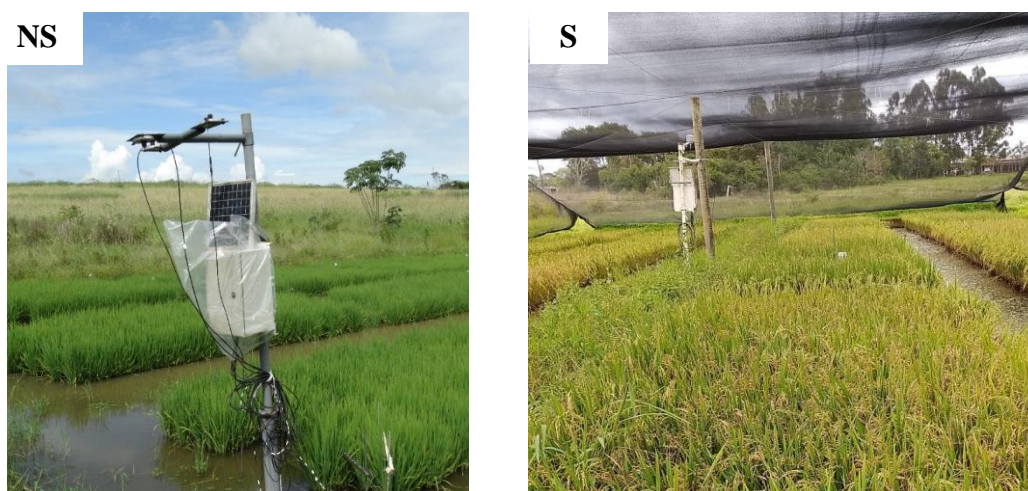
Diante do contexto apresentado, trabalhos que avaliem estratégias para manejo desses fatores de produção contribuem na ampliação da produção e produtividade do arroz no cenário nacional.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição dos Experimentos

Os experimentos de campo foram conduzidos durante os meses de (outubro/19 - fevereiro/20) e (novembro/20 – março/21), correspondendo às safras de 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira-Goiás (Latitude 16° 26' 46" S, longitude 49° 25' 35" W e altitude de 761 m). O clima do local, segundo o Sistema Internacional de Koppen é do tipo Tropical de savana (Aw), apresentando regime pluvial bem definido, com período de chuvas entre outubro-março e seco de abril-setembro.

A temperatura do ar (°C) e a radiação solar ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) durante o período do experimento foram monitoradas por meio da instalação de estações meteorológicas, nos ambiente sem sombreamento (NS) e com sombreamento (S) (Fig. 1). Os sensores foram programados para registrar as informações a cada 10 minutos. Os dados meteorológicos obtidos durante o período do estudo são apresentados na Figura 2.



**Figura 1.** Estação meteorológica instalada na área experimental não sombreada (NS) e sombreada (S), na Fazenda Palmital pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, Goianira, GO.



**Figura 2.** Radiação solar global (Rs MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) na condição não sombreada (RADNS) e sombreada (RADS) e temperaturas máximas e mínimas (°C) nos ambientes com sombreamento (TMAXS, TMINNS) e sem sombreamento (TMAXNS, TMINNS) durante as safras 2019/2020 (A, C) e 2020/2021 (B, D), na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.

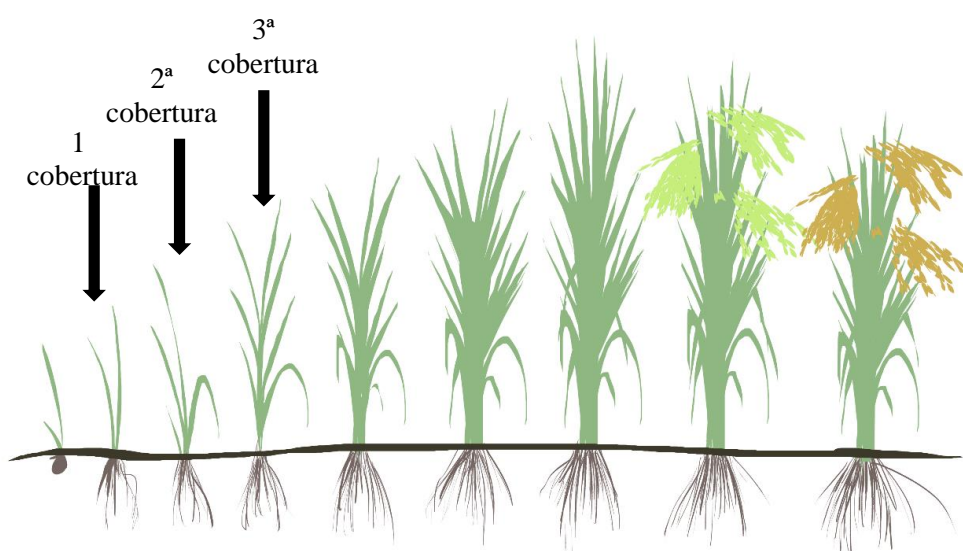
Na pré-semeadura realizou-se a roçagem mecanizada para limpeza da área. Em seguida, fez-se o preparo do solo com uma aração e três gradagens. A semeadura foi realizada em linhas, espaçadas em 0,17 m e 80 sementes por metro. As plantas daninhas foram controladas com a aplicação em pré-emergência do herbicida Ronstar® 250 BR (Oxadiazon), na dose de 2 L ha<sup>-1</sup>, do produto comercial. Na pós-emergência (15 DAE), fez-se a aplicação do herbicida Clincher® (Cialofope butílico + Nafta aromática) na dose de 1 L ha<sup>-1</sup>. A inundação da área foi realizada aos 17 dias após a emergência, aplicando-se uma lâmina de água de aproximadamente 10 cm. As práticas culturais foram feitas de acordo com as recomendações técnicas para o cultivo do arroz irrigado (Santos et al., 2006).

A adubação de base foi realizada de acordo com a análise de solo (Tabela 1) e a necessidade da cultura, aplicando-se 280 kg ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação 5-30-15. A fonte de nitrogênio utilizada em cobertura foi a ureia, nas doses de 50 e 180 kg N ha<sup>-1</sup>, parceladas em três épocas, conforme ilustrado na Figura 3. A dose de 50 kg N ha<sup>-1</sup> foi aplicada em uma única vez, no estágio vegetativo V2 (formação do colar na segunda folha no colmo principal). A dose

de 180 kg ha<sup>-1</sup> foi parcelada em três épocas, em V2, V3 (formação do colar na terceira folha no colmo principal) e V6 (formação do colar na sexta folha no colmo principal).

**Tabela 1.** Análise física e química do solo da área experimental, localizada na Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO, nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

	Safra 2019/2020	Safra 2020/2021
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	5,3	5,2
	-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----	
<b>Ca</b>	22,5	21,9
<b>Mg</b>	7,8	6,4
<b>Al</b>	2	2
<b>H+Al</b>	29	30
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----	
<b>P</b>	25,4	27
<b>K</b>	59	81
<b>Cu</b>	5,9	7,1
<b>Zn</b>	5,0	4,5
<b>Fe</b>	496,4	1040,3
<b>Mn</b>	14,7	16,8
	-----g kg <sup>-1</sup> -----	
<b>M.O</b>	28,0	
<b>Argila</b>	317	
<b>Silte</b>	186	
<b>Areia</b>	498	



**Figura 3.** Ilustração das épocas em que foram realizadas as aplicações de nitrogênio em cobertura nos experimentos (Adaptado: Counce et al. 2000).

As cultivares utilizadas foram a BRS Catiana, um material com ampla adaptação de cultivo, elevado potencial produtivo, presença de *stay green* (senescência tardia) e ciclo médio de 121-135 dias (Morais et al., 2016) e IRGA 424 RI, uma cultivar de alto potencial produtivo e ciclo médio de 120-133 dias, com resistência a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (Grohs et al., 2021).

No estágio reprodutivo R4 (uma ou mais flores da panícula em antese), metade das parcelas experimentais foram submetidas ao sombreamento, que permaneceu até o estágio R9 (completa maturidade da panícula). O sombreamento foi feito com o uso de uma tela de polietileno de alta densidade preta, com 30% de atenuação da radiação solar sobre uma estrutura de madeira de 3 m de altura, para garantir a ventilação adequada e cobrir totalmente as respectivas parcelas sombreadas (Fig. 4).



**Figura 4.** Sombrite instalado na área do estudo localizada na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.

### 3.2 Delineamento Experimental

Os tratamentos foram dispostos no desenho de parcelas subdivididas, com o sombreamento como parcela principal, as cultivares de arroz como subparcela e a dose de nitrogênio sub-sub-parcela. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A área da parcela experimental foi de 15 m<sup>2</sup>.

### 3.3 Avaliação de Trocas Gasosas

Para a determinação das trocas gasosas nos experimentos, utilizou-se o analisador de gases por infravermelho (IRGA; LCpro +, ADC BioScientific). A oferta de radiação fotossinteticamente ativa pelo equipamento foi fixada em  $1200 \mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , adotando-se o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e a temperatura ambiente. As leituras foram efetuadas sempre em dias sem nebulosidade, durante a manhã, no intervalo entre 8h e 12 h. As medidas foram feitas escolhendo-se uma planta ao acaso, em cada parcela experimental, utilizando-se a folha bandeira, que estivesse livre de lesões e sem sintomas de deficiência nutricional.

Foram registradas leituras da taxa fotossintética ( $P_N$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). As avaliações foram feitas aos 95 e 115 DAE, para as safras 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente.

### 3.4 Coleta de plantas, extração e quantificação de carboidratos não estruturais

Para a análise de carboidratos não estruturais (CNE) foram coletadas quatro plantas em cada parcela experimental, 15 dias após a instalação do sombreamento. As plantas foram coletadas no período da manhã, no intervalo entre 8h-9h.

As plantas foram separadas em folhas e colmos e levadas a estufa a  $50^\circ \text{C}$  durante 24 horas. Após a secagem realizou-se a moagem manual das amostras que foram armazenadas em tubos Falcon. Pesou-se 15 mg de matéria seca (MS), que foram submetidas à extração exaustiva dos carboidratos, com solubilização em álcool a 80% e incubação em banho-maria a  $80^\circ \text{C}$  durante 15 minutos (Costa et al., 2021). O extrato foi centrifugado a 2500 rpm durante 10 minutos para a separação do sobrenadante. Essa etapa foi repetida por quatro vezes e todos os sobrenadantes foram reunidos em um microtubo eppendorf. O teor de carboidratos solúveis na folha (CSF) e colmo (CSC) foi determinado pelo método fenol-sulfúrico proposto por Dubois et al. (1956). Em tubos de ensaio, alíquotas do extrato foram adicionadas a uma solução de fenol a 5%, e a reação foi iniciada com a adição de ácido sulfúrico concentrado. As leituras foram feitas em um espectrofotômetro (Elx800, BioTex) a 490 nm. Para o cálculo, foi utilizada

uma curva padrão elaborada com soluções aquosas de D-glicose, e os resultados foram expressos em mg de carboidratos solúveis g<sup>-1</sup> de matéria seca.

A concentração de amido nas folhas (AMF) e no colmo (AMC) foi extraído do material vegetal após a extração exaustiva, de acordo com Amaral et al. (2007). As amostras de folhas e colmos foram solubilizadas com a enzima alfa-amilase termoestável (Megazyme®) diluída em tampão acetato de sódio 0,1 M, pH 5,0 e incubadas em banho-maria por 30 minutos a 75°C. Esse procedimento foi realizado duas vezes em sequência. Em seguida, foi feita a solubilização com amiloglicosidase (Megazyme®) diluída em tampão acetato de sódio 0,1 M, pH 4,6 e incubação a 50° C em banho-maria. Esse procedimento foi efetuado duas vezes. Em seguida, adicionou-se ácido perclórico para a precipitação das proteínas. O amido obtido após a extração enzimática foi quantificado utilizando o reagente glicose oxidase e peroxidase (GOD/POD) (Labtest Diagnóstica S.A., Lagoa Santa, MG, Brasil, Ref. 133), seguido de incubação em placa quente a 37°C durante 15 minutos. O desenvolvimento da cor foi analisado num espectrofotômetro de placa (Elx800, BioTeK) a 490 nm. A quantificação do amido foi feita de acordo com as instruções da Megazyme e os resultados foram expressos em mg de amido g<sup>-1</sup> MS, com base na curva padrão de glicose.

### 3.5 Coleta de plantas e determinação do teor de nitrogênio total

No mesmo período de coleta de plantas para a quantificação de carboidratos não estruturais, ou seja, 15 dias após a instalação do sombreamento, coletou-se quatro plantas em cada parcela experimental para a determinação do teor de nitrogênio total. Após a coleta, as plantas foram levadas para o laboratório, onde foi feita a separação e eliminação das folhas em estado de senescência e eliminação das raízes. As plantas foram acondicionadas em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C, por um período de 48 horas.

Em seguida, foi feita a moagem das plantas em moinho do tipo Wiley, com peneira inferior a 60 mesh. Entre uma amostra e outra, o moinho foi aspirado, a fim de evitar mistura entre as amostras. Após a moagem, o material vegetal foi acondicionado em sacos plásticos devidamente identificados. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão. A quantificação do teor de nitrogênio total na planta foi feita de acordo com a metodologia de Kjeldahl, modificado por Galvani & Gaertner (2006).

### 3.6 Coleta de plantas para determinação da produtividade e seus componentes

No estágio R9, realizou-se a colheita manual do experimento, quando os grãos apresentavam umidade entre 20-24%. Fez-se a amostragem de uma área útil de 10 m em cada parcela experimental para a determinação da produtividade de grãos. Após a colheita, as plantas foram acondicionadas em sacos de pano, devidamente identificados e colocadas para secagem a pleno sol até a obtenção de massa constante. Em seguida, procedeu-se com a trilhagem das plantas para a obtenção dos grãos. O material obtido foi abanado e pesado, e a produtividade extrapolada para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Para avaliação dos componentes de produtividade e matéria seca, coletaram-se plantas em 1 m de linha em cada parcela experimental. As plantas foram separadas em colmo+bainha, lâminas foliares e panículas. A matéria seca foi obtida por secagem em estufa a  $65^\circ \text{C}$ , por 48 horas. Obteve-se as seguintes variáveis: número de panículas (NP), massa de 1000 grãos (M1000), matéria seca folha (MSF) e matéria seca do colmo (MSC).

### 3.7 Análise de rendimento de grãos após o beneficiamento

O rendimento de grãos foi determinado a partir do beneficiamento de uma amostra de 100 g de arroz com casca, em cada parcela experimental. As amostras foram beneficiadas em engenho de prova marca Suzuki®. Os grãos com casca foram acondicionados no reservatório do engenho, onde procedeu-se à etapa de descascamento. Em seguida, os grãos foram polidos, por um período de um minuto. Após essa etapa, realizou-se a separação dos grãos inteiros e fez-se a pesagem em balança de precisão em gramas.

### 3.8 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Utilizou-se o software R (R Core Team, 2023) para a análise estatística dos dados.

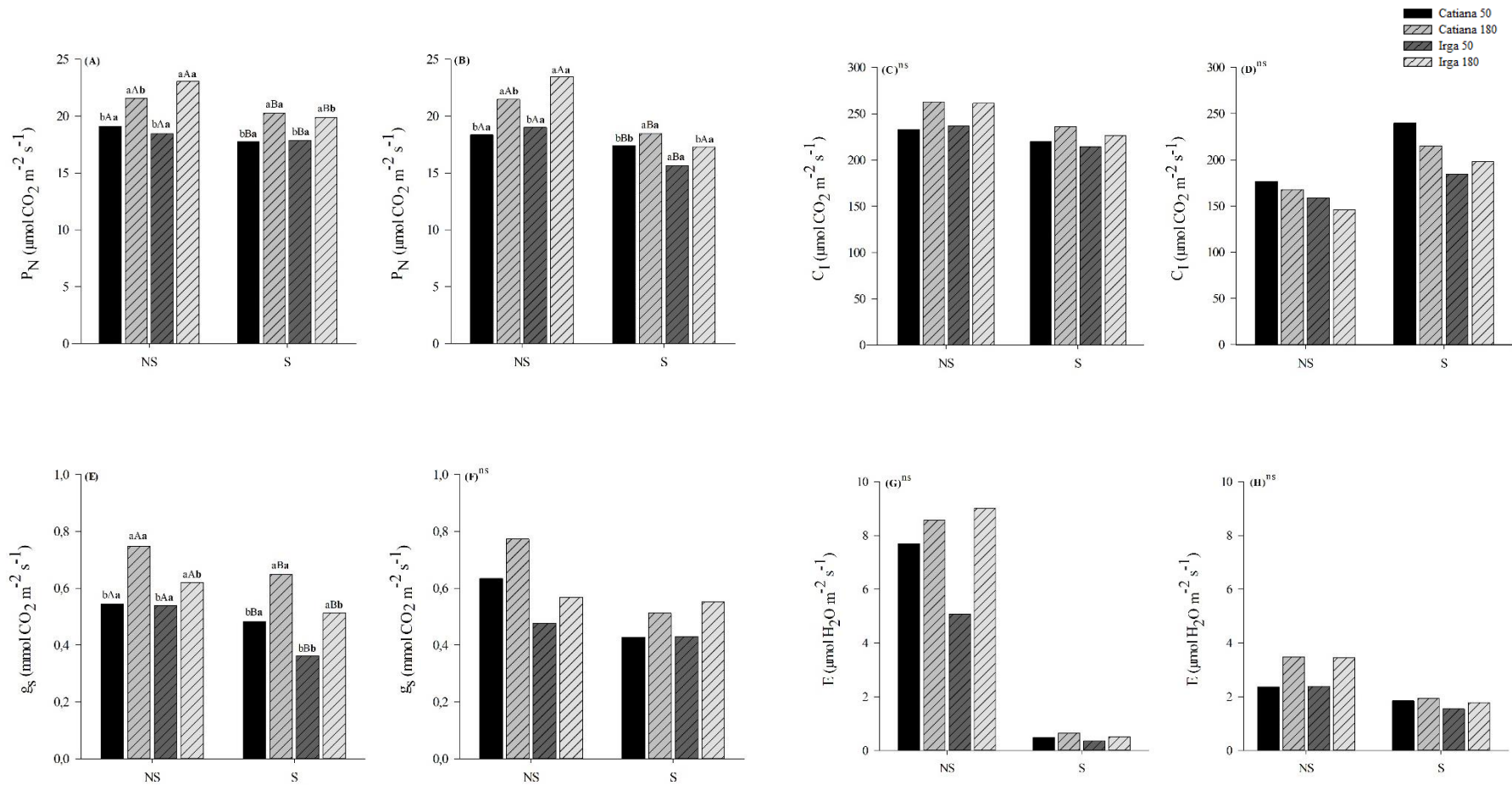
## 4 RESULTADOS

O déficit de radiação solar reduziu a  $P_N$  (fotossíntese líquida) das cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, em ambas as safras (Fig. 6A e 6B). O aumento do N de 50 para 180 kg ha<sup>-1</sup> incrementou a  $P_N$  das cultivares, em NS e S. Comparando as cultivares, verificou-se que a BRS Catiana teve maior redução na  $P_N$ , em comparação à IRGA 424 RI, na condição sombreada.

A concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ) foi maior na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>, em ambas as cultivares e condições de disponibilidade de radiação solar, na safra 2019/2020 (Fig. 6C). Embora, tenha sido discreta, houve uma redução na  $C_i$  com o sombreamento. Na safra 2020/2021 (Fig. 6D), na condição não sombreada, a  $C_i$  foi menor na dose de 180 kg N ha<sup>-1</sup>. No sombreamento, o aumento da dose de N resultou em maior  $C_i$ , exceto para a BRS Catiana, em 2020/2021.

A condutância estomática ( $g_s$ ) das cultivares foi reduzida com o sombreamento, nas safras 2019/2020 e 2020/2021 (Fig. 6E e 6F). O aumento do nitrogênio em cobertura resultou em incremento da condutância estomática, nas duas cultivares e safras.

Na condição de menor incidência de radiação solar, houve redução na taxa de transpiração ( $E$ ) das cultivares em ambas as safras (Fig. 6G e 6H). A aplicação de N em cobertura aumentou a transpiração das cultivares, especialmente na condição não sombreada. As cultivares tiveram um comportamento semelhante na taxa de transpiração, em razão das doses de N e condições de luz.



**Figura 5.** Fotossíntese líquida (P<sub>N</sub>) (A, B), concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) (C, D), condutância estomática (g<sub>s</sub>) (E, F), transpiração (E) (G, H) nas cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas às condições não sombreada (NS) e sombreada (S) e doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) nas safras 2019/2020 e 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente, à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO. \*médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si na mesma cultivar e condição de luminosidade entre as doses de 50 e 180 kg N ha<sup>-1</sup>. \*médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si na mesma dose de N e condição de luminosidade entre as cultivares. \*letras minúsculas em negrito não diferem si na mesma dose de N e cultivares nos ambientes NS e S. ns: não significativo.

Os resultados obtidos a partir da análise de carboidratos não estruturais (CNE) mostraram que o sombreamento reduziu a concentração de carboidratos solúveis na folha (CSF) e no colmo (CSC) e amido na folha (AMF) e no colmo (AMC), nas cultivares IRGA 424 RI e BRS Catiana, em ambas as safras (Tab. 2 e 3). Os resultados revelaram que para a cultivar IRGA 424 RI a redução na concentração de CNE sob déficit de radiação solar é menor em comparação a BRS Catiana. Esses resultados convergem com os obtidos para a P<sub>N</sub> (Fig. 6 A e 6B) O aumento na aplicação de N minimizou o impacto do déficit de radiação solar nas variáveis, CSF, CSC, AMF e AMC, nas duas cultivares (p<0,05).

Nos dois anos de cultivo, a cultivar IRGA 424 RI teve maior acúmulo de CSF, CSC, AMF e AMC, na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, a pleno sol e no sombreamento em comparação a BRS Catiana. Nas safras 2019/2020 e 2020/2021, o teor de CSF e CSC na BRS Catiana foi maior que na IRGA 424 RI, na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, sem restrição de radiação solar. Na safra 2020/2021, não houve diferença significativa na concentração de AMF e AMC entre as cultivares nos diferentes tratamentos (doses de N e disponibilidade de luz) (Tabela 3).

**Tabela 2.** Concentração de carboidratos solúveis na folha (CSF) e no colmo (CSC) e amido na folha (AMF) e no caule (AMC) nas cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de nitrogênio (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e condições de luminosidade (NS – não sombreado e S – sombreado), na safra 2019/2020, na Estação Experimental da Embrapa Arroz e Feijão, Goianira, GO.

	BRS CATIANA				IRGA 424 RI			
	50		180		50		180	
	----- kg ha <sup>-1</sup> de N-----							
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
CSF	30,00	22,42	45,67	33,32	35,05	26,05	40,07	37,00
mg g <sup>-1</sup> MS	aBb*	bBb	aAa	bAa	aBa	aBa	aAb	aAb
CSC	67,19	59,31	120,81	106,24	94,37	67,19	118,50	112,79
mg g <sup>-1</sup> MS	aBb	bBb	aBa	bAa	aBa	bBa	aAb	bAb
AMF	19,37	15,68	25,21	18,72	22,21	17,50	21,23	19,83
mg g <sup>-1</sup> MS	aBb	bBb	aAa	bAa	aBa	bBa	aAb	bAb
AMC	23,73	20,14	30,02	25,31	27,73	24,44	28,56	26,82
mg g <sup>-1</sup> MS	aBb	bBb	aAa	bAa	aBa	bBa	aAb	bAb

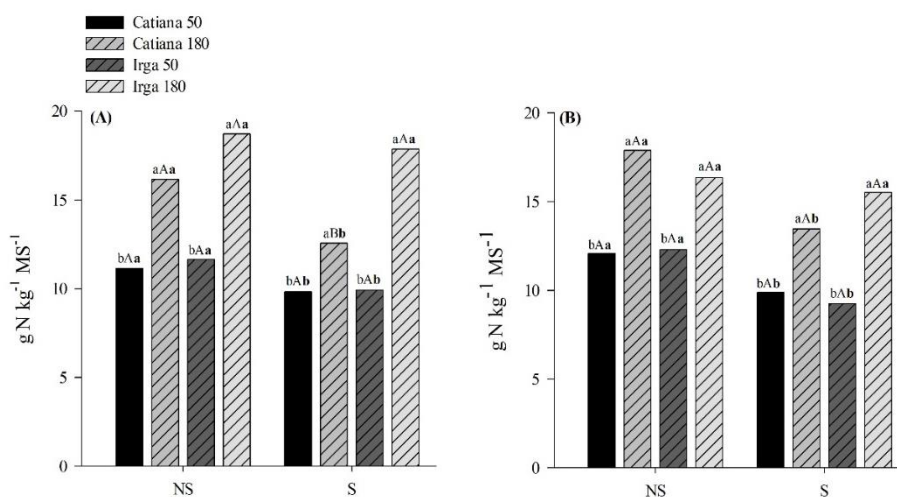
\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma cultivar e dose de N nas condições NS e S. \*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma cultivar e condição de luz nas diferentes doses de N. \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula em negrito não diferem entre si na mesma dose de N e condição de luz entre as cultivares. \*significativo ao nível de 0,05.

**Tabela 3.** Concentração de carboidratos solúveis na folha (CSF) e no colmo (CSC) e amido na folha (AMF) e no colmo (AMC) nas cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de nitrogênio (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e condições de luminosidade (NS – não sombreado e S – sombreado), na safra 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.

	BRS CATIANA				IRGA 424 RI			
	50		180		50		180	
	----- kg ha <sup>-1</sup> de N-----				----- kg ha <sup>-1</sup> de N-----			
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
CSF	14,60	7,77	24,12	19,90	19,59	10,89	21,22	20,90
mg g <sup>-1</sup> MS	<b>aBb*</b>	<b>bBb</b>	<b>aAa</b>	<b>bAa</b>	<b>aBa</b>	<b>bBa</b>	<b>aAb</b>	<b>bBb</b>
CSC	46,39	19,81	120,04	81,36	67,51	31,05	90,55	83,52
mg g <sup>-1</sup> MS	<b>aBb</b>	<b>bAb</b>	<b>aAa</b>	<b>bBa</b>	<b>aBa</b>	<b>bBa</b>	<b>aAb</b>	<b>bAb</b>
AMF	20,43	15,43	24,51	20,33	21,24	16,04	23,52	21,79
mg g <sup>-1</sup> MS	<b>aBa</b>	<b>bBa</b>	<b>aAa</b>	<b>bAa</b>	<b>aBa</b>	<b>bBa</b>	<b>aAa</b>	<b>bBa</b>
AMC	20,30	18,92	24,56	21,97	21,26	19,68	23,34	21,27
mg g <sup>-1</sup> MS	<b>aBa</b>	<b>aAa</b>	<b>aAa</b>	<b>bBa</b>	<b>aBa</b>	<b>aAa</b>	<b>aAa</b>	<b>aAa</b>

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma cultivar e dose de N nas condições NS e S. \*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma cultivar e condição de luz nas diferentes doses de N. \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula em negrito não diferem entre si na mesma dose de N e condição de luz entre as cultivares. \*significativo ao nível de 0,05.

Os dados obtidos para o teor de nitrogênio na planta mostraram que houve redução no acúmulo de N, em condições de menor disponibilidade de radiação solar (Fig. 7A e 7B). Houve resposta positiva no teor de nitrogênio na planta com o aumento da dose de N em cobertura.



**Figura 6.** Teor de N total na planta (g N kg<sup>-1</sup> MS<sup>-1</sup>) nas cultivares BRS Catiana e Iriga 424 RI submetidas as condições não sombreada (NS) e sombreada (S) e doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) nas safras 2019/2020 (A) e 2020/2021 (B) na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente, à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si na mesma cultivar e condição de luminosidade entre as doses de 50 e 180 kg N ha<sup>-1</sup>. \*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si na mesma dose de N e condição de luminosidade entre as cultivares.\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula em negrito não diferem si na mesma dose de N e cultivar nos ambientes NS e S. \*Significativo ao nível de 5%.

Na condição não sombreada o incremento no teor de N, com o aumento da dose de N, foi de 27% e 8,19%, na safra 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente, para a BRS Catiana. Na IRGA 424 RI, o incremento foi de 79% (safra 2019/2020) e 41,69% (safra 2020/2021). A redução no acúmulo de nitrogênio, causada pelo sombreamento foi mais expressiva na BRS Catiana, quando comparada a IRGA 424 RI. Observou-se reduções de 3,59 g N kg<sup>-1</sup> MS (2019/2020) e 4,43 g N kg<sup>-1</sup> MS (2020/2021), na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N e no sombreamento, na BRS Catiana. Já na IRGA 424 RI, nas mesmas condições, a redução foi de 0,86 e 1,84 g N kg<sup>-1</sup> MS, nas safras 2019/20 e 2020/2021, respectivamente.

Os dados de componentes de produtividade e produtividade são apresentados nas Tabelas 4 e 5. Houve diferença significativa na produtividade e componentes de produtividade entre as doses de nitrogênio, disponibilidade de radiação solar e cultivares de arroz, tanto na safra 2019/2020 quanto na safra 2020/2021 (p<0,05).

**Tabela 4.** Número de panículas (NP), massa de 1000 grãos (M1000), matéria seca da folha (MSF) e do colmo (MSC) e produtividade (Prod.) das cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de nitrogênio (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e condições de luminosidade (NS – não sombreado e S – sombreado), na safra 2019/2020, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa e Feijão, município de Goianira, GO.

	BRS CATIANA				IRGA 424 RI			
	50		180		50		180	
	----- kg ha <sup>-1</sup> de N-----				----- kg ha <sup>-1</sup> de N-----			
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
NP	61,25	48,25	90,00	78,25	65,50	56,50	86,25	80,25
(m)	<b>aBb*</b>	<b>bBb</b>	<b>aAa</b>	<b>bAb</b>	<b>aBa</b>	<b>bBa</b>	<b>aAb</b>	<b>bAa</b>
M1000	20,76	15,70	24,25	20,39	21,14	19,66	23,80	22,45
(g)	<b>aBa</b>	<b>bBb</b>	<b>aAa</b>	<b>bAa</b>	<b>aBa</b>	<b>bBa</b>	<b>aAa</b>	<b>bAa</b>
MSF	1,06	0,60	2,55	1,00	1,37	1,00	1,36	1,21
(g)	<b>aBb</b>	<b>bBb</b>	<b>aAa</b>	<b>bAa</b>	<b>aAa</b>	<b>bBa</b>	<b>aAb</b>	<b>aAb</b>
MSC	20,50	15,00	46,32	38,32	21,52	18,56	44,32	40,50
(g)	<b>aBa</b>	<b>bBb</b>	<b>aAa</b>	<b>bAa</b>	<b>aBa</b>	<b>bAa</b>	<b>aAa</b>	<b>aBa</b>
Prod	4754,76	4113,92	14129,56	9120,23	4993,60	4038,32	9260,41	9246,33
(kg ha <sup>-1</sup> )	<b>aBa</b>	<b>bBa</b>	<b>aAa</b>	<b>bAa</b>	<b>aBa</b>	<b>bBa</b>	<b>aAb</b>	<b>bAa</b>

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma cultivar e dose de N nas condições NS e S. \*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma cultivar e condição de luz nas diferentes doses de N. \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula em negrito não diferem entre si na mesma dose de N e condição de luz entre as cultivares. \*significativo ao nível de 0,05.

O NP reduziu significativamente com o sombreamento. Na BRS Catiana na safra 2019/2020, a redução foi de cerca de 13 panículas por metro, na dose de 50 kg N ha<sup>-1</sup>. Na dose

de 180 kg N ha<sup>-1</sup>, a redução foi de 11,75 panículas por metro. Na cultivar IRGA 424 RI, a redução no NP foi de nove e seis panículas metro<sup>-1</sup>, nas doses de 50 e 180 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente, no sombreamento. A M1000, MSF e MSC, também reduziram com o sombreamento. Verificou-se que a redução no NP, M1000, MSF, MSC, em razão do sombreamento na cultivar IRGA 424 RI, foi menor que na BRS Catiana. Na safra 2020/2021, foi observado o mesmo comportamento.

**Tabela 5.** Número de panículas (NP), massa de 1000 grãos (M1000), matéria seca da folha (MSF) e do colmo (MSC) e produtividade (Prod.) das cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e condições de luminosidade (NS – não sombreado e S – sombreado), na safra 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.

	BRS CATIANA				IRGA 424 RI			
	50		180		50		180	
	----- kg ha <sup>-1</sup> de N-----				----- kg ha <sup>-1</sup> de N-----			
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S
NP	62,51	49,37	86,00	73,34	66,32	53,04	84,31	79,35
(m)	aBa*	bBb	aAa	bAb	aBa	bBa	aAa	bAa
M1000	20,71	12,19	25,14	18,32	20,31	16,44	24,62	22,22
(g)	aBa	bBb	aAa	bAb	aBa	bBa	aAa	bAa
MSF	1,14	0,98	2,62	1,05	1,42	1,00	1,66	1,45
(g)	aBa	bBa	aAa	bAb	aBa	bBa	aAb	bAa
MSC	20,52	17,36	48,42	38,00	21,61	18,62	46,43	40,51
(g)	aBa	bBa	aAa	bAa	aBa	bBa	aAa	bAa
Prod.	3077,25	1318,64	7741,72	4513,89	3166,58	2492,72	6553,13	4690,13
(kg ha <sup>-1</sup> )	aBa	bBb	aAa	bAb	aBa	bBa	aAb	bAa

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma cultivar e dose de N nas condições NS e S.\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma cultivar e condição de luz nas diferentes doses de N.\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula em negrito não diferem entre si na mesma dose de N e condição de luz entre as cultivares. \*significativo ao nível de 0,05.

O sombreamento reduziu a produtividade das cultivares IRGA 424 RI e BRS Catiana, nos dois anos de cultivo. Na safra 2019/2020, a produtividade da BRS Catiana na condição não sombreada foi de 4754,76 kg ha<sup>-1</sup> e 14129,56 kg ha<sup>-1</sup>, nas doses de 50 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. No sombreamento a produtividade foi de 4113,92 kg ha<sup>-1</sup> na menor dose de N e 9120,23 kg ha<sup>-1</sup> na maior dose. Para a IRGA 424 RI, na condição a pleno sol e dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, a produtividade foi de 4993,60 kg ha<sup>-1</sup>. Com o aumento da dose de N a produtividade foi 9260,41 kg ha<sup>-1</sup>. No sombreamento a produtividade da IRGA foi de 4038,32 kg ha<sup>-1</sup> e 9246,33 kg ha<sup>-1</sup>, na menor e maior dose de N, respectivamente.

Na safra 2020/2021, foi observado comportamento semelhante à safra anterior. A produtividade da BRS Catiana, no NS, foi 3077,25 kg ha<sup>-1</sup> e 7741,72 kg ha<sup>-1</sup>, na menor e maior dose de N, respectivamente. No sombreamento a produtividade da Catiana foi 1318,64 kg ha<sup>-1</sup>, na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N e 4513,89 kg ha<sup>-1</sup>. Na IRGA, a produtividade no sombreamento foi de 2492,72 kg ha<sup>-1</sup> com 50 kg de N e 4690,13 kg ha<sup>-1</sup> com 180 kg de N. Em NS a produtividade nas doses de 50 e 180 kg N ha<sup>-1</sup>, foi de 3166,58 e 6553,13 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os resultados obtidos nas duas safras revelaram que a cultivar IRGA 424 RI apresentou uma redução menor de produtividade, em razão do sombreamento, quando comparada a BRS Catiana. Na cultivar IRGA 424 RI, com a dose de 180 kg N ha<sup>-1</sup>, a redução de produtividade provocada pelo sombreamento foi de 0,15% e 39,71%, nas safras 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente. Enquanto, para a BRS Catiana na mesma dose de N, a redução de produtividade em consequência do sombreamento foi de 54,90 e 72,59%, nas safras 2019/2020 e 2020/2021, respectivamente.

O rendimento de grãos inteiros foi afetado pelo déficit de radiação solar (Tabela 6). A porcentagem (%) de rendimento de grãos inteiros foi significativamente (p<0,05) menor na condição sombreada, na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N. Na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, não houve diferença significativa no rendimento de grãos inteiros, entre as condições não sombreada e sombreada, em ambas as cultivares e safras. Comparando-se as duas cultivares, verificou-se que elas apresentaram % de rendimento de grãos estatisticamente iguais. Os resultados apresentados neste trabalho mostram que a aplicação de nitrogênio em dose mais elevada, proporciona aumento na porcentagem de rendimento de grãos inteiros.

**Tabela 6.** Rendimento (%) de grãos inteiros das cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, submetidas a doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), nas condições não sombreada (NS) e sombreada (S), na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.

	Safra	BRS CATIANA				IRGA 424 RI			
		50		180		50		180	
		----- kg ha <sup>-1</sup> de N-----				----- kg ha <sup>-1</sup> de N-----			
	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	
Rendimento de grãos inteiros (%)	2019/2020	59,06 aBa*	50,33 bBa	66,20 aAa	65,14 aAa	59,98 aBa	50,88 bBa	67,51 aAa	65,16 aAa
	2020/2021	53,05 aBa	48,76 bBa	65,02 aAa	63,04 aAa	55,34 aBa	43,64 bAa	66,15 aAa	63,47 aAa

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma cultivar e dose de N nas condições NS e S. \*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si dentro da mesma

cultivar e condição de luz nas diferentes doses de N. **\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula em negrito não diferem entre si na mesma dose de N e condição de luz entre as cultivares. \*significativo ao nível de 0,05.**

## 5 DISCUSSÃO

O déficit de radiação solar afeta negativamente a cultura do arroz irrigado, especialmente, quando ocorre nas fases reprodutiva e de maturação de grãos (Ren et al., 2003). A compreensão dos efeitos do déficit de radiação solar na cultura do arroz torna-se necessária a fim de fornecer informações dos materiais e do manejo nutricional mais adequado para cada região, além de subsidiar informações para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas para situações limitantes de radiação solar.

Neste trabalho, houve influência significativa do sombreamento nas variáveis analisadas. Verificou-se que as trocas gasosas, acúmulo de carboidratos solúveis e amido, teor de nitrogênio na planta, produtividade e o rendimento de grãos inteiros foram reduzidos sob déficit de radiação solar. Esses resultados corroboram com os obtidos por Yang et al. (2014). Os autores avaliaram o efeito do déficit de luz solar em cultivares de arroz irrigado e verificaram que o sombreamento reduziu a taxa fotossintética, refletindo em menor produtividade. Sun et al. (2012) relataram que a taxa fotossintética da folha bandeira diminuiu significativamente quando a radiação solar foi reduzida para 40% da luz natural, resultando em diminuição no acúmulo de matéria seca, além de redistribuição alterada de fotoassimilados.

A fotossíntese é o processo no qual ocorre a transformação da energia luminosa em carboidratos (Kerbaui, 2019) que, por sua vez, dão suporte para a produção de matéria seca. Por ser um processo dependente de luz, toda e qualquer alteração na sua disponibilidade interfere na produção de fotoassimilados (Taiz et al., 2017). Segundo Daubresse et al. (2010), o sombreamento prejudica a fotossíntese das plantas, pois, além de favorecer a senescência das folhas, provoca a degradação dos cloroplastos e da Rubisco. Neste trabalho, ficou evidenciado que a taxa fotossintética da BRS Catiana e IRGA 424 RI, reduziu 17,9% e 3,15%, na condição sombreada, respectivamente. De acordo com Li et al. (2010), a redução na fotossíntese líquida influencia diretamente no acúmulo de matéria seca e no rendimento de grãos.

Além do sombreamento ter provocado redução na taxa fotossintética das plantas, houve redução no acúmulo de carboidratos solúveis e amido em ambas as cultivares e safras. A redução nessas variáveis pode ter interferido na produtividade obtida na condição sombreada

(Li et al., 2020). Segundo Mu et al. (2010), a fotossíntese é responsável pela síntese de carboidratos que auxiliam no enchimento de grãos e na produtividade. Sendo assim, a redução na fotossíntese é reportada como um fator limitante no acúmulo e translocação de carboidratos e conseqüentemente na produtividade das culturas (Zhang et al., 2006).

Neste estudo, verificou-se que o número de panículas, massa de 1000 grãos, matéria seca da folha e do colmo foram influenciados negativamente pelo déficit de radiação solar. Esses resultados estão de acordo com os estudos de Mu et al. (2010) e Zhang et al. (2006). Os autores relataram redução na massa de grãos e no número de panículas em condições de limitação de luz solar. Conforme relatado por Wu et al. (2017), a redução na massa dos grãos em razão do déficit de luz é causada pela queda na taxa fotossintética, que altera o suprimento dos carboidratos durante o enchimento da panícula, resultando em menor massa.

Alguns estudos mostraram que o sombreamento causa redução na produtividade, não só na cultura do arroz (Liu et al., 2014; Rossato, 2021), mas também em outras culturas, tais como: trigo (Li et al., 2010; Mu et al., 2010); milho (Zhang et al., 2016). Esses trabalhos relatam que a queda na produtividade é consequência da diminuição no número de panículas e na massa de 1000 grãos (Liu et al., 2009; Wang et al., 2015). Os resultados obtidos neste trabalho, mostraram que houve redução no número de panículas e na massa de 1000 grãos em condições de sombreamento. Para Yoshida (1972) e Yao et al. (2000), as plantas em condições de menor disponibilidade de radiação solar apresentam dificuldade na germinação do grão de pólen, o que leva ao aumento na esterilidade de espiguetas e, conseqüentemente, menor produtividade.

Na condição em que não houve restrição de radiação solar com a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, a BRS Catiana apresentou maior produtividade que a IRGA 424 RI. Já na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, tanto em NS e S, a cultivar IRGA teve produtividade superior à BRS Catiana. Esses resultados mostram que as cultivares estudadas têm respostas diferentes diante da aplicação de nitrogênio. Dessa forma, pode-se inferir que a cultivar IRGA 424 RI apresenta menor exigência nutricional para obtenção de melhores índices produtivos. Esses resultados corroboram com os obtidos por Polidoro (2021), que avaliou o efeito da dose de N em cultivares de arroz irrigado. O autor verificou que a cultivar IRGA 424 RI requereu menores doses de nitrogênio em cobertura para a obtenção de grãos mais pesados, em comparação à outra cultivar testada.

É oportuno salientar que o impacto do sombreamento foi distinto entre as cultivares. A BRS Catiana apresentou maior redução na taxa fotossintética sob déficit de radiação solar, o

que pode explicar em parte a produtividade obtida nessa condição. Já a cultivar IRGA 424 RI, teve maior estabilidade produtiva quando se compara os ambientes NS e S. Esses resultados mostram que essa cultivar apresenta mecanismos de ajuste às condições de estresse causado pela menor disponibilidade de luz. Pan et al. (2016), encontraram resultados semelhantes ao estudar diferentes cultivares de arroz chinesas, quanto à tolerância ao déficit de radiação. Segundo os autores, alguns materiais possuem maior capacidade de aclimação em condições de estresse, tal como, ocorre sob déficit de radiação solar, sendo esse mecanismo regulado, principalmente, por fatores genéticos intrínsecos ao material.

A diferença de produtividade entre as safras 2019/2020 e 2020/2021 foi evidente, obtendo-se produtividades superiores na safra 2019/2020. Um dos fatores que pode explicar esse fato é a radiação solar acumulada, na fase reprodutiva, na safra em questão. Em 2019/2020, a radiação solar acumulada na condição sombreada, foi de 583,07 MJ m<sup>-2</sup>. Em contrapartida, em 2020/2021, o acumulado foi de 262,65 MJ m<sup>-2</sup>. Os resultados deste trabalho corroboram os de Klering et al. (2018). Os autores verificaram que em anos com maior oferta de radiação solar são obtidas as maiores produtividades. De acordo com Yoshida & Parao (1976), pode haver ~70% de decréscimo no rendimento, caso ocorra baixos níveis de radiação solar na fase reprodutiva da cultura do arroz.

Avaliando-se o efeito da aplicação do nitrogênio em cobertura, verificou-se resposta positiva nas variáveis analisadas com o aumento da dose de N, especialmente no teor de nitrogênio na planta e produtividade. De acordo com a literatura, o manejo adequado de N em cobertura aumenta significativamente os componentes de produtividade e a produtividade da cultura do arroz irrigado (Fageria et al., 2007; Santos et al., 2017b). O N incrementa a concentração de carboidratos solúveis e amido na folha e no colmo além de aumentar a área foliar das plantas e a taxa fotossintética, resultando em maior rendimento (Peng et al. 2010; Sun et al., 2016).

Assim como relatado por outros autores (Zhang et al., 2017), neste trabalho também, se verificou aumento da fotossintética líquida com o aumento da dose de N, nas duas condições de disponibilidade de luz. De acordo com Pan et al. (2016), o suprimento de nitrogênio em maior quantidade potencializa a atividade da glutamina sintetase e nitrato redutase nas folhas, melhorando o teor de nitrogênio, o que leva a um aumento da taxa fotossintética. Ademais, o nitrogênio é constituinte de proteínas, ácidos nucleicos e da molécula de clorofila, que desempenham papel fundamental no processo fotossintético (Taiz et al., 2017).

Segundo Paixão (2018), a menor disponibilidade de N no processo metabólico das plantas tem comprovado que o nitrogênio é um dos nutrientes que tem limitado o aumento de produtividade das culturas agrícolas. A eficiência fotossintética das plantas envolve de forma direta o metabolismo do nitrogênio, uma vez que o N presente nas folhas é constituinte de proteínas envolvidas na fotossíntese.

A produtividade e seus componentes, teor de N na planta, rendimento de grãos inteiros, trocas gasosas e carboidratos não estruturais, sofreram menor impacto do sombreamento quando houve a aplicação de N na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>. O nitrogênio aplicado em cobertura minimizou os danos causados pelo déficit de radiação solar nas cultivares, especialmente na cultivar IRGA 424 RI, que demonstrou possuir mecanismos de ajuste diante da redução da intensidade de luz. Outros estudos também relataram que a aplicação de N em dose mais elevada mitigou o efeito da menor disponibilidade de luz (Poolman et al., 2013; Pan et al., 2016).

De acordo com Sajjad et al. (2021), em plantas cultivadas sob condições de estresse abiótico, assim como ocorre no déficit de radiação solar, há tendência de redução na absorção do nitrogênio, interferindo nos processos fisiológicos nos quais o N participa. Para Liu et al. (2014), a alocação de N para a panícula é comprometida em condições de restrição de radiação solar, diminuindo o número de espiguetas férteis, a massa dos grãos e a produtividade. A suplementação adequada com nitrogênio, segundo Shi et al. (2023), atua como indutor de resistência para as plantas em condições de déficit de radiação solar minimizando o efeito negativo da menor disponibilidade de luz.

A avaliação do rendimento de grãos inteiros é uma importante ferramenta para classificar a qualidade de uma cultivar após o processamento industrial (Balindong et al., 2018). Neste estudo, verificou-se que o rendimento de grãos inteiros é reduzido em condições de menor aplicação de nitrogênio, bem como, pelo déficit de radiação solar. Em estudo realizado por Silva et al. (2013), com a cultivar IRGA 422 CL, os autores relataram incremento no rendimento de grãos inteiros com o aumento da dose de nitrogênio em cobertura. De acordo com Huang et al. (2018), a redução de nitrogênio em cobertura proporciona menor rendimento de grãos inteiros.

De acordo com Krishnan & Rao (2005), o rendimento de grãos inteiros é amplamente afetado por fatores ambientais, tal como, a disponibilidade de radiação solar. Neste estudo, verificou-se que o sombreamento afetou o rendimento de grãos inteiros na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N. Entretanto, quando houve aumento da dose de N em cobertura (180 kg ha<sup>-1</sup>), não

houve diferença significativa para o rendimento de grãos das cultivares nas condições não sombreada e sombreada, indicando que o maior suprimento de N minimiza o impacto do déficit de radiação solar no que se refere ao rendimento de grãos inteiros.

## 6 CONCLUSÕES

1. A redução na disponibilidade de radiação solar na fase reprodutiva impacta negativamente as cultivares de arroz irrigado BRS Catiana e IRGA 424 RI.
2. Em condições de sombreamento, as trocas gasosas, o acúmulo de carboidratos solúveis e o teor de nitrogênio, são reduzidos.
3. A cultivar IRGA 424 RI tem maior capacidade de ajuste sob déficit de radiação solar, apresentando menor redução de produtividade nessas condições.
4. A cultivar BRS Catiana apresenta maior produtividade que a IRGA 424 RI, na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N e sem déficit de radiação solar.
5. O rendimento de grãos é menor no sombreamento e na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N.
6. O rendimento de grãos não é reduzido com o sombreamento, quando ocorre aplicação de nitrogênio em maior dose.
7. A aplicação de nitrogênio em maior dose minimiza os danos causados pelo déficit de radiação solar nas cultivares IRGA 424 RI e BRS Catiana.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos a partir deste estudo confirmam que o déficit de radiação solar provoca danos à cultura do arroz irrigado. Além de queda na produtividade, ocorrem também, redução na qualidade do grão após o beneficiamento. Ademais, verificou-se que as cultivares estudadas apresentam comportamento distinto quanto à limitação de radiação solar e respostas diferentes à aplicação de nitrogênio.

Os dados obtidos neste trabalho dão suporte à técnicos de campo na recomendação da cultivar mais adequada para cada situação. Considerando um cenário em que a radiação solar disponível durante o ciclo da cultura seja satisfatória e haja capacidade de investimento em adubação nitrogenada, a cultivar BRS Catiana é mais adequada. Em uma situação, em que a disponibilidade de radiação solar é limitante a IRGA 424 RI é o material mais adequado, uma vez que, ela apresenta maior estabilidade produtiva nessa condição. Esses resultados são importantes, pois, auxiliam na tomada de decisão, como foco na obtenção de melhores produtividades, considerando a situação existente.

Além disso, os resultados deste estudo, também subsidiam informações para o melhoramento genético na busca por materiais mais adaptados para condições de menor disponibilidade de radiação solar. Além do fato da disponibilidade de radiação solar variar de acordo com a localidade, sabe-se que, dentro do contexto de mudanças climáticas, existe uma tendência de redução na incidência de radiação solar. Dessa forma, o investimento em cultivares que sejam mais adaptadas às condições de limitação de luz é imprescindível para oferecer materiais que atendam a necessidade do mercado.

Ademais, os dados obtidos com este trabalho mostram que o aumento da dose de nitrogênio pode reduzir em parte o impacto negativo do déficit de radiação solar na cultura do arroz. Todavia, outros estudos são necessários, a fim de, avaliar o comportamento de outras cultivares de importância comercial, bem como, o envolvimento de outros nutrientes essenciais às plantas, na redução causada pelo estresse do sombreamento.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, H. A. de. **Climatologia aplicada a geografia**. Campina Grande: EDUEPB, 2016, 317 p.

CANTARELLA, Heitor; NOVAIS, R. F. Nitrogênio. **Fertilidade do solo**, v. 1, p. 375-470, 2007.

COSTA, N. B, et al. Distribution of non-structural carbohydrates in the vegetative organs of upland rice. **Agricultural Sciences**, v. 45, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A CULTURA DO ARROZ**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2015. Disponível em:<  
[https://biblioteca.conab.gov.br/ph182/pdf/2015\\_Cultura\\_do\\_arroz.pdf](https://biblioteca.conab.gov.br/ph182/pdf/2015_Cultura_do_arroz.pdf)>. Acesso em:<07 set. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de Grãos - safra 2018/19**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em:<  
<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em 18 set. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de Grãos - safra 2020/21**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Disponível em: <  
<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 23 set. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2022/2023**. Nono levantamento, Brasília, v. 10, p. 1-116, junho 2023.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000

CHANG, T. T. Rice – *Oryza sativa* and *Oryza glaberrima* (Gramineae – Oryzaceae). In: SMARTT, J.; SIMMONDS, H. W. (ed). **Evolution of crop plants**. 2. ed. UK: Longman Scientific & Technical, 1996. p. 147-155.

CHEN, H.; LI, Q, P.; ZENG, Y. L.; DENG, F.; REN, W. J. Effect of diferentes shading materials on grain yield and quality of rice. **Scientific Reports**, v. 9, 2019.

DAUBRESSE, M.; C.; VEDELE, D, F.; DECHORGNAT, J.; CHARDON, F.; GAUFICHON, L. SUZUKI, Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. **Annals of Botany**, v. 105, n. 7, p. 1141-1157, 2010.

DEBOUBA, M.; GOUIA, H.; SUZUKI, A.; GHORBEL. M. H.; NaCl stress effects on enzymes involved in nitrogen assimilation pathway in tomato *Lycopersicon esculentum* seedlings. **Journal Plant Physiology**, v. 163, p. 1247-1258, 2006.

DENG, F.; WANG, L.; YAO, X.; WANG, J. J. Effects of different-growing-stage shading on rice grain-filling and yield. **Journal of Sichuan Agricultural University**, v. 27, n. 3, p. 265-569, 2009.

DENG, N.; LING, X.; SUN, Y.; ZHANG, C.; FAHAD, S.; PENG, S.; CUI, K.; NIE, L.; HUANG, J. Influence of temperature and solar radiation on grain yied and quality in irrigated rice system. **European Journal of Agronomy**, v. 64, p. 37-46, 2015.

DUARTE JUNIOR, A. J.; STRECK, N. A.; ZANON, AL. J.; RIBAS, G. G.; SILVA, M. R.; CERA, J. C.; NASCIMENTO, M. F.; PILECCO, I. B.; PUNTEL, S. Rice yield potential as a function of sowing date in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 113, p. 1523-1534, 2021.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, FRED. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.

DUTTA, S.; PATE, G.; PATTANAYAK, A.; AOCHEN, C. Effect of low light intensity on key traits and genotypes of hilly rice (*Oryza sativa*) germplasm. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v. 5, n. 4, p. 463-471, 2017.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Catálogo de cultivares de arroz irrigado**. Brasília: DF, 2018. 32 p.

ERCOLI, L.; LULLI, L.; MARIOTTI, M.; MASONI, A.; ARDUINI, I. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen and temperature during grain filling. **Cereal Research Commun**, v. 38, p. 294-303, 2010.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Eficiência de uso de nitrogênio em genótipos de arroz de várzea. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 2079–2089, 2001.

FAGERIA, N. K. Nutrição mineral. In: **A cultura do arroz no Brasil**. SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (ed). 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006, cap. 11, p. 387-424.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 7, p. 1029-1034, 2007.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; COELHO, A. M. Growth, yield and yield componentes of lowland rice as influenced by ammonium sulfate and urea fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, p. 371-386, 2011.

FERNANDES, M. C. N.; BOTELHO, F. B. S.; SOUZA, K. R. D.; PEREIRA, G. C.; SILVA, C. S. C.; CASTRO D. G. Atividade da enzima nitrato redutase em arroz de terras altas sob condições de estresse hídrico. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 484-489, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.

**Estatísticas da FAO**. 2022. Disponível em:<

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em: 01 out. 2022.

GOEL, P.; SINGH, A. K. Abiotic stresses downregulate key genes involved in nitrogen uptake and assimilation in *Brassica juncea* L. **Plos One**, v. 10, 2015.

GROHS, M.; MASSONI, P. F. S.; SIQUEIRA, L. F. F. Antecipação da irrigação para o controle de plantas daninhas e aumento da produtividade. **Circular Técnica**, nº 09: Instituto Rio Grandense do Arroz. 2021, 12 p.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Arroz. In: MONTEIR, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009, cap. 2, p. 63-80.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; REBOLLEDO, M. C.; COSTA NETO, G. M. F.; CASTRO, A. P. Upland rice breeding led to increased drought sensitivity in Brazil. **Field Crops Research**, v. 231, p. 56-67, 2019.

HUANG, M.; CHEN, J.; CAO, F.; ZOU, Y. Increased hill density can compensate for yield loss from reduced nitrogen input in machine-transplanted double-cropped rice. **Field Crops Research**, v. 221, p. 333-338, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. 2020. Disponível em:<  
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 05 set. 2022.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Estimativas Safra 2022/2023**. Disponível em:< <https://irga.rs.gov.br/estimativas-safra-2022-2023>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

ITO, S.; HARA, T.; KAWANAMI, Y.; WATANABE, T.; THIRAPOM, K.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; MITSUI, T.; FUKUYAMA, T.; TAKAHASHI, Y.; SATO, T.; OHYAMA, T. Carbon and nitrogen transport during grain filling in rice under high-temperature conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, n. 5, 2009.

JIANG, Q.; DU, Y.; TIAN, X.; WANG, Q.; XIONG, R.; XU, G.; YAN, C.; DING, Y. Effect of panicle nitrogen on grain filling characteristics of high-yielding rice cultivars. **European Journal of Agronomy**, v.74, p. 185-192, 2016.

KIRDA, C.; DERICI, M. R.; SCHEPHERS, J. S. Yield response and N-fertilizer recovery of rained wheat growing in the Mediterranean region. **Fiel Crop Research**, v. 71, p. 113-122, 2001.

- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019, 430 p.
- KHAN, M. G.; SRIVASTAVA, H. S. Changes in growth and nitrogen assimilation in maize plants induced by NaCl and growth regulators. **Biology Plants**, v. 41, p. 93-99, 1998.
- KOBATA, T.; ISHI, H.; IWASAKI, H. A reduction in spikelet number fertility causes yield vulnerability in high-yielding rice. **Agronomy Journal**, v. 2019, n.2, p. 175-184, 2017.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.
- KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; CARGNELUTTI FILHO, A. C. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 549 - 558, 2008.
- KRISHNAN, P; RAO, A.V.S. Effects of genotype and environment on seed yield and quality of rice. **Journal of Agricultural Science**, v. 143, p. 283–292. 2005.
- LI, H.; JIANG, D.; WOLLENWEBER, B.; DAI, T.; CAO, W. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 267-275, 2010.
- LI, Q-P; DENG, F.; CHEN, H.; ZENG, Y-L.; LI, B.; ZHONG, X-Y, WANG, L.; ZHOU, W.; CHEN, Y.; REN, W-J. Shading decreases rice yield by impeding grain-filling progress after heading. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 5, p. 4018–4030, 2020.
- LIANG, C-G.; LIU, J.; WANG, Y.; XIONG, D.; DING, C-B, LI, T. Low light during grain filling stage deteriorates rice cooking quality, but not nutritional value. **Rice Science**, v. 22, n. 4, p. 197-206, 2015.
- LIU, Q.; WU, X.; CHEN, B.; MA, J.; G. J. Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality. **Rice Science**, v. 21, n. 5, p. 243-251, 2014.

LIU, Q-H.; ZHOU, X-B.; YANG, L-Q.; LI, T.; ZHANG, J. J. Effects of early growth stage shading on rice flag leaf physiological characters and grain growth at grain-filling stage. **Chinese Journal of Applied Ecology**, v. 29, n. 9, p. 2135-2141, 2009.

LOPES, M. C. B.; LOPES, S. I. G.; WEILER, R. L.; FUNCK, G. R. D. IRGA 424 RI: **Alternativa tecnologica para o controle do arroz vermelho e para alta produtividade**. 2014. Disponível em:< [https://www.sosbai.com.br/uploads/trabalhos/irga-424-ri-alternativa-tecnologica-para-o-controle-do-arroz-vermelho-e-para-alta-produtividade\\_536.pdf](https://www.sosbai.com.br/uploads/trabalhos/irga-424-ri-alternativa-tecnologica-para-o-controle-do-arroz-vermelho-e-para-alta-produtividade_536.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2023.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2015, 492 p.

MACKILL, D. J.; COFFMAN, W. R. GARRITY, D. P. **Rainfed lowland rice improvement**. Manila: International Rice Research Instituto, 1996, 242 p.

MACKILL, D. J.; LEI, X. Genetic variation for traits related to temperate adaptation of rice cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 37, p. 1340-1346, 1997.

MAKINO, A. Photosynthesis, grain yield, and nitrogen utilization in rice and wheat. **Plant Physiology**, v. 155, p. 125-129, 2011.

MALISZEWSKI, E. **Nova cultivar de arroz atinge quase 15 mil kg/ha**. 2021. Disponível em:< [https://www.agrolink.com.br/noticias/nova-cultivar-de-arroz-atinge-quase-15-mil-kg-ha\\_451258.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/nova-cultivar-de-arroz-atinge-quase-15-mil-kg-ha_451258.html)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

MATSUO, T. Origin and differentiation of cultivated rice. In: MATSUO, T. (ed.). **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997. v. 3: Genetics, p. 69-111.

MINGOTTE, F. L. C.; GONÇALVES, M. H. G.; YADA, M. M.; FORNASIERI FILHO, D.; LEMOS, L. B. Agronomic efficiency and grain quality of upland rice cultivars as a function of nitrogen topdressing. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 3, p. 748-759, 2015.

MORAIS, O. O.; TORGA, P. P.; CORDEIRO, A. C.; C.; PEREIRA, J. A.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M.; COLOMBARI FILHO, J. M. **BRS Catiana: cultivar de arroz irrigado de elevada produtividade e ampla adaptação**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 2016.

MU, H.; JIANG, D.; WOLLENWEBER, B.; DAI, T.; JING, Q.; CAO, W. Long-term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 196, n. 1, p. 38-47, 2010.

MURTY, K. S.; SAHU, G. Impact of low light stress on growth and yield of rice. In: **Weather and rice**. Manila: International Rice Research Institute, 1987. p. 93-101.

OLIVEIRA, V. A.; RODRIGUES, C. **Levantamento detalhado dos solos da fazenda palmatal, município de Goianira – GO**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012.

PAIXÃO, J. S. **Assimilação fotossintética do carbono, respiração foliar e crescimento de dois genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) contrastantes para o teor de clorofila no limbo da folha**. 2018. 102f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes. 2018.

PAN, S.; LIU, H.; MO, Z.; PATTERSON, B.; DUAN, M.; TIAN, H.; HU, S.; TANG, X. Effects of nitrogen and shading on root morphologies, nutrient accumulation, and photosynthetic parameters in different rice genotypes. **Scientific Reports**, v. 6, 2016.

PANDA, D.; BISWAL, M.; BEHERA, L.; BAIG, M. J.; DEY, P.; NAYAK, L.; SHARMA, S.; SAMANTARAY, S.; NGANGKHAM, U.; KUMAR, A. Impact of low light stress on physiological biochemical and agronomic attributes of rice. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 1, p. 1814-1821, 2019.

PENG, S.; BURESH, R. J.; HUANG, J.; ZHONG, X.; ZOU, Y.; YANG, J.; WANG, G.; LIU, Y.; HU, R.; TANG, Q.; CUI, K. Improving nitrogen fertilization in rice by sitespecific N management. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 30, p. 649-656, 2010.

PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história**. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 2002, 226p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba, SP. USP/ESALQ. 191 p. 2007.

PEREIRA, E. b.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RUTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. 80 p.

POLIDORO, E. **Qualidade de arroz dos cultivares INOV CL e IRGA 424 RI: Efeitos da umidade de colheita, da densidade de semeadura e da dose de nitrogênio em cobertura**. 2021. 96 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

R STUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development Environment for R**. Boston, MA: RStudio, PBC. 2023.

RANGEL, P. H. N.; MORE, P. P, T, S.; MORAIS, O. P.; FRAGOSO, D. B.; COLOMBARI FILHO, J. M. CORDEIRO, A. C. C. PEREIRA, J. A.; LOBO, V. L. S.; LACERDA, M. C.; CUSTÓDIO, D. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; ABREU, A. G.; SANTIAGO, C. M.; REN, W.; YANG, W. Y.; ZHANG, G.; ZHU, X.; FAN, G.; XU, J. Effect of low-light stress on nitrogen accumulation, distribution and grains protein content of Indica hybrid. **Plant Nutrition and Fertilizing Science**, v. 9, n. 3, p. 288-293, 2003.

RIBAS, G. F.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; PILECCO, I. B.; SOUZA, P. M.; HEINEMANN, A. B. GRASSINI, P. Assessing yield and economic impact of introduction soybean to the lowland rice system in Southern Brasil. **Agricultural System**, v. 188, 2021.

ROBREDO, A.; PEREZ-LOPEZ, U.; MIRANDA-APODACA, J.; LACUESTA, M.; MENA-PETITE, A.; MUNOZ-RUEDA, A.; Elevate CO<sub>2</sub> reduces the drought effect on nitrogen metabolism in barley plants during drought and subsequent recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 3, p. 399-408, 2011.

ROSSATO, I. G. **Restrição de radiação solar na produtividade de arroz irrigado**. 2021. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

SAJJAD, N.; BHAT, E. A.; SHAH, D.; MANZORR, I.; NOOR, W.; SHAD, S.; HASSAN, S.; ALI, R. Nitrogen uptake, assimilation, and mobilization in plant under abiotic stress. **Transporters and Plant Osmotic Stress**, p. 251–233, 2021.

SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R.; A. (ed). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006, 1000p.

SANTOS, B. M. BRS Catiana: cultivar de arroz irrigado com alto potencial produtivo e ampla adaptação. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 3, p. 368-372, 2019.

SANTOS, M. P. dos; ZANON, A. J.; CUADRA, S. V.; STEINMETZ, S.; CASTRO, J. R. De; HEINEMANN, A. B. Yield and morphophysiological indices of irrigated rice genotypes in contrasting ecosystems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 3, p. 253–264, 2017a.

SANTOS, A. B. dos.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; SANTOS, T. P. B. Índices fisiológicos do arroz irrigado afetados pela inundação e fertilização nitrogenada. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 122-131, 2017b.

SCHEUERMANN, K. K.; NESI, C. N. Controle químico de brusone e mancha parda na cultura do arroz irrigado. **Summa Phytopathol**, v. 47, n. 3, p. 168-172, 2021.

SILVA, L. P.; ALVES, B. M.; SILVA, L. S.; POCOJESKI, E.; KAMINSKI, T. A.; ROBERTO, B. S. Adubação nitrogenada sobre rendimento industrial e composição dos grãos de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 43 n.6, Santa Maria, P. 1168-1133, 2013.

SHI, Q.; HUA, J.; YIN, Y.; CREECH, D.; LU, Z. Moderate application of nitrogen augments the growth of *Taxodium* hybrid ‘Zhongshanshan 406’ plants in coastal soils. **Scientia Horticulturae**, v. 321, n. 1, 2023.

SPIERTZ, J. H. J. Nitrogen, sustainable agriculture and food security. *Agronomy for Sustainable Developments*, v. 30, p. 43-55, 2010.

SUN, Y. Y.; SUN, Y. J.; CHEN, L.; XU, H. Effects of different sowing dates and low-light stress at heading stage on the physiological characteristics and grain yield of hybrid rice. **Chinese Journal Applied Ecology**, v. 23, n. 10, p. 2737-2744, 2012.

SUN, J.; YE, M.; PENG, S.; LI, Y. Nitrogen can improve the rapid response of photosynthesis to changing irradiance in rice (*Oryza sativa* L.) plants. **Scientific Reports**, v. 6, n. 31305, 2016.

SYNDER, C. S.; SLATON, N. A. Rice production in the United States – An Overview. **Better Crops International**, v. 16, 2001.

STEINMETZ, S.; DEIBLER, A. N.; SILVA, J. B. Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima. **Ciência Rural**, v. 43, n.2, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TSUKAGUCHI, T.; TANAKA, R.; INOUE, H.; NAKAGAWA, H. Effects of high temperature and shading on grain abscisic acid content and grain filling pattern in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, v. 21, n. 4, p. 407-412, 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Rice outlook**. 2022. Disponível em: < <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=92852>>. Acesso: 01 out. 2022.

VITOUSEK, P. M.; NAYLOR, R.; CREWS, T.; DAVID, M. B.; DRINKWATER, L. E.; HOLLAND, E.; JOHNES, P. J.; KATZENBERGER, J.; MARTINELLI, L. A.; MATSON, P. A.; NZIGUHEBA, G.; OJIMA, D.; PALM, C. A.; ROBERTSON, G. P.; SANCHEZ, P. A.; TOWNSEND, A. R.; ZHANG, F. S. Nutrient imbalances in agricultural development. **Science**, v. 324, 2009.

WANG, L.; DENG, F.; REN, W. J. Shading tolerance in rice is related to better light harvesting and use efficiency and grain filling rate during grain filling period. **Fiel Crops Research**, v. 180, p. 54-62, 2015.

WANG, Y.; LU, J.; REN, T.; HUSSAIN, S.; GUI, C.; WANG, S.; CONG, R.; LI, X. Effects of nitrogen and tiller type on grain yield and physiological responses in rice. **AOB Plants**, v. 9. 2017.

WU, L.; ZHANG, W.; DING, Y.; ZHANG, J.; CAMBULA, E. D.; WENG, F.; LIU, Z.; CHENGQIANG, D.; TANG, E.; CHEN, L.; WANG, S.; LI, G. Shading contributes to the reduction of stem mechanical strength by decreasing cell wall synthesis in japonica rice (*Oryza sativa* L.). **Front Plant Science**, v. 8, 2017.

YAO, Y. YAMAMOTO, Y.; TOSHIDA, T.; NITTA, Y.; MIYAZAKI. Response of differentiated and degenerated spikelets to top-dressing, shading and day/night temperature treatments in rice cultivars with large panicles. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 46, n. 3, p. 631-641, 2000.

YANG, H.; LI, J.; YANG, J.; WANG, H.; ZOU, J.; ELE, J. Effect of shading on leaf SPAD values and the characteristics of photosynthesis and morphology of rice canopy. **Plant Nutrition and Fertilizer Science**, v. 20, n. 3, p. 580-587, 2014.

YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. **Annual review of plant physiology**, v. 23, n. 1, p. 437-464, 1972.

YOSHIDA, S.; PARAO, F. T. Climate influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. **Climate and rice**, v. 20, p. 471-494, 1976.

YUAN, S.; LINQUIST, B.; WILSON, L.; CASSMAN, K.; STUART, A.; PEDE, V.; MIRO, B.; SAITO, K.; AGUSTIANI, N.; ARISTYA, V.; KRISNADI, L.; ZANON, A.; HEINEMANN, A. B.; CARRACELAS, G.; SUBASH, N.; BRAHMANAND, P.; LI, T.; PENG, S.; GRASSINI, P. A roadmap towards sustainable intensification for a larger global rice bowl. **Research Square**, 2021.

ZHAO, X.; ZHOU, Y.; WANG, S.; XING, G.; SHI, W.; XU, R.; ZHU, Z. Nitrogen balance in a highly fertilized rice-wheat double-cropping system in Southern China. **Soil Science Society of America**, 2012.

ZHOU L.; LIANG, S.; PONCE, K.; MARUNDON, S.; YE, G. ZHAO, X. Factors affecting head rice yield and chalkiness in indica rice. **Field Crops Research**, v. 172, p. 1–10, 2015.

ZHOU, N. B., ZHANG, J.; FANG, S. L.; WEI, H. Y, ZHANG, H. C. Effects of temperature and solar radiation on yield of good eating-quality rice in the lower reaches of the Huai River Basin, China. **Journal of Integrative Agriculture**, n. 20, v. 7, p. 1762 -1774, 2021.

ZHANG, J. DONG, S.; WANG, K.; HU, C.; LIU, P. Effects of shading on the growth, development and grain yield of summer maize. **The Journal of Applied Ecology**, v. 17, n. 4, p. 657-662, 2006.

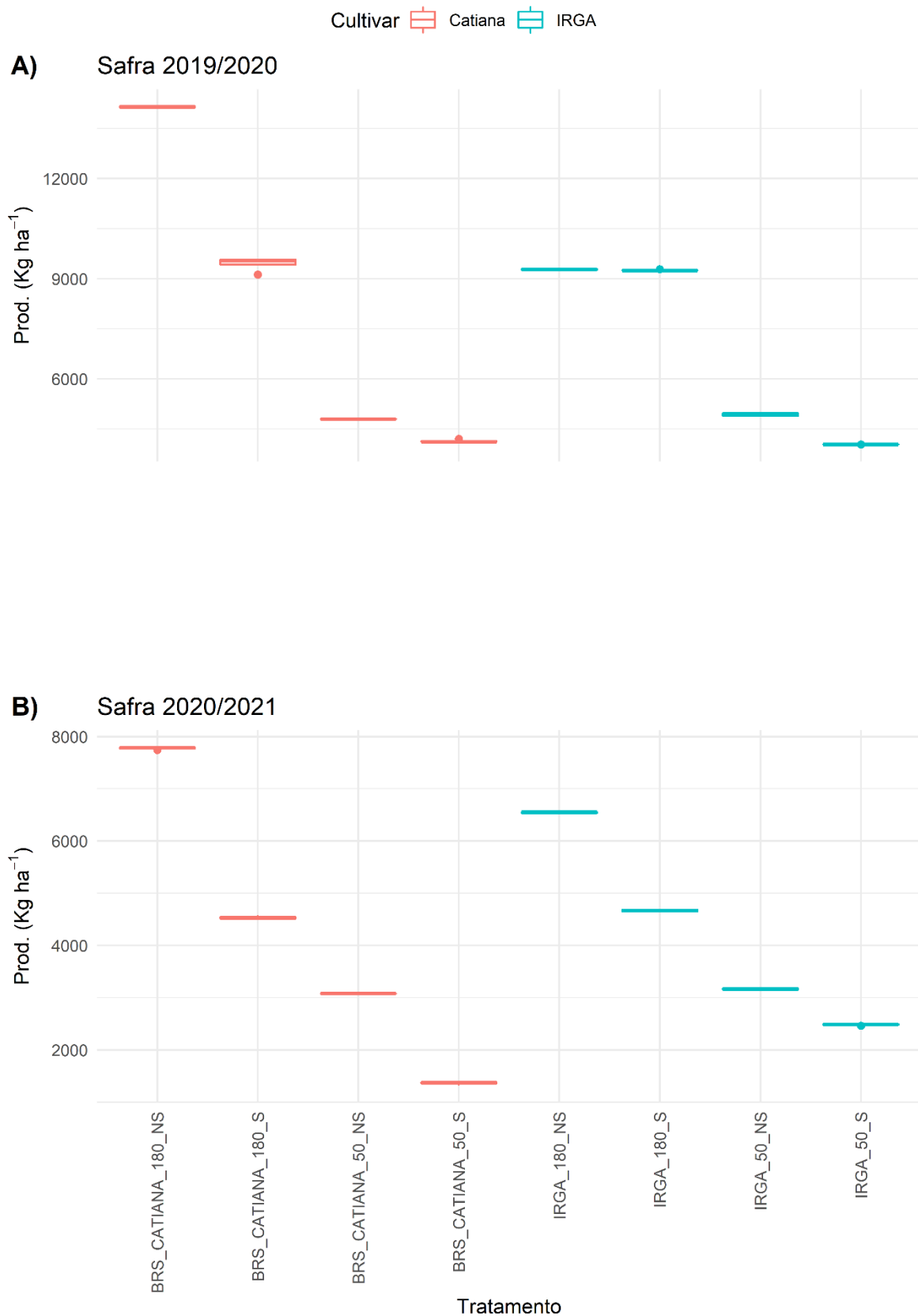
ZHANG, X.; BOL, R.; RAHN, C.; XIAO, G.; MENG, F.; WU, W. Agricultural sustainable intensification improved nitrogen use efficiency and maintained high crop yield during 1980-2014 in Northern China. **Science of the Total Environment**, v. 596, n. 15, p. 61-68, 2017.

ZHONG, X. Y.; LI, Q. P.; YANG, F.; CHEN, D.; HE, L. H.; YANG, Z. P. Higher solar radiation and lower temperature enhance biomass production and grain yield of rice under high-altitude condition. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 2021.

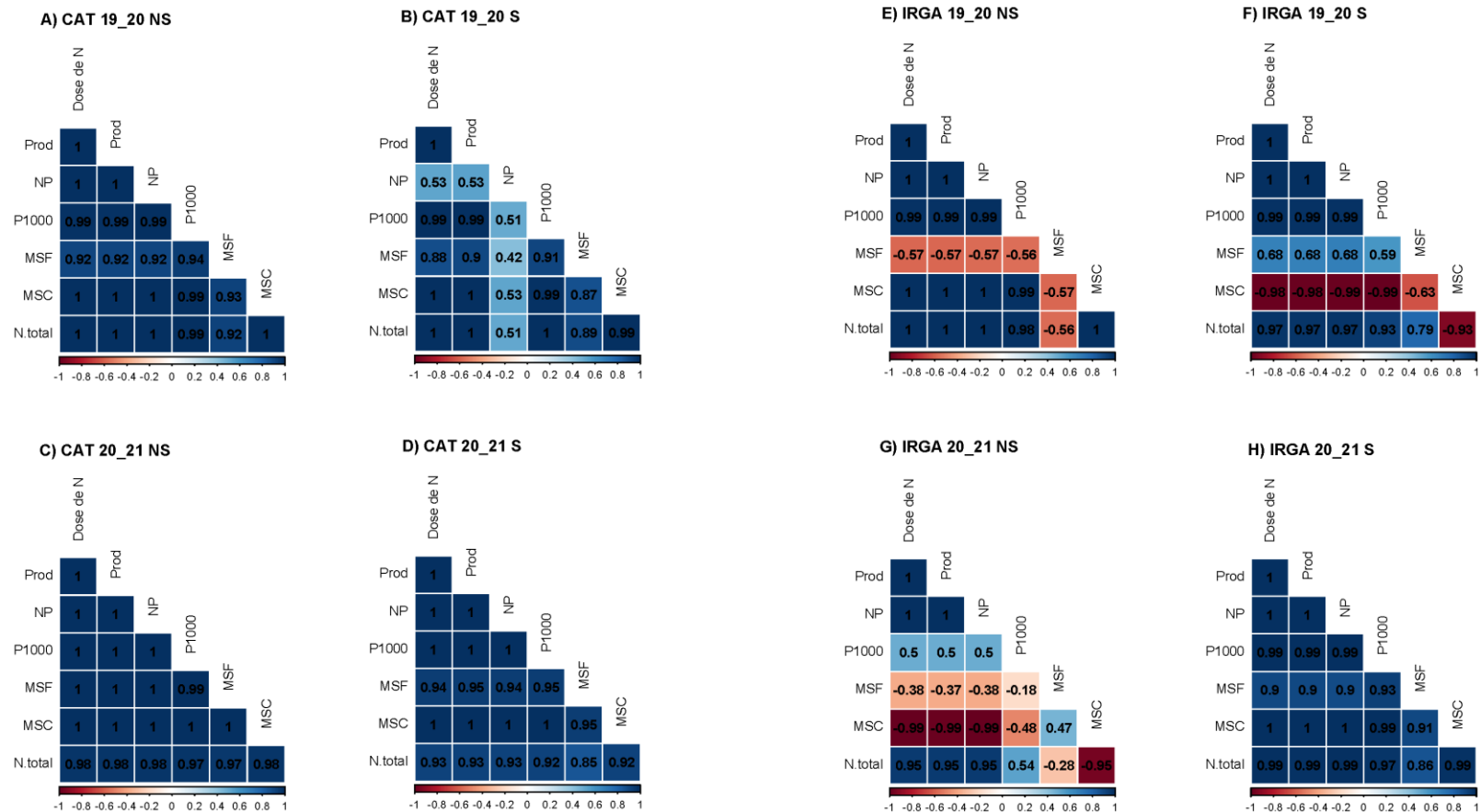
## APÊNDICES

**Tabela 7.** Data de colheita em dias após a emergência (DAE) das cultivares IRGA 424 RI e BRS Catiana, submetidas a doses de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), nas condições não sombreada e sombreada, nas safras 2019/2020 e 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.

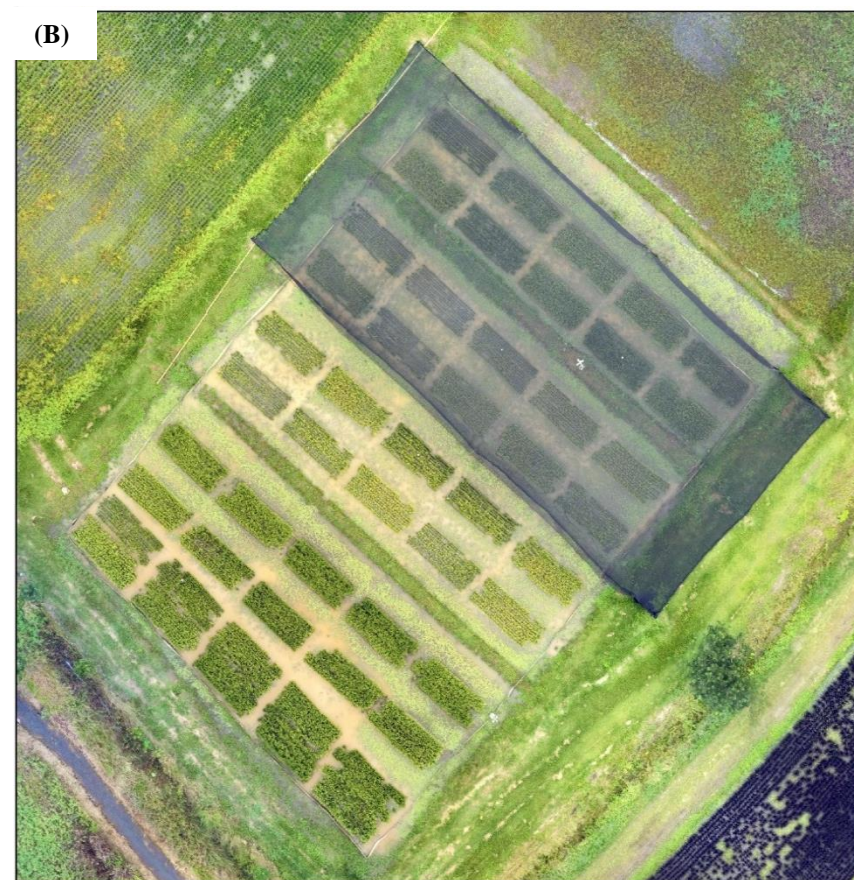
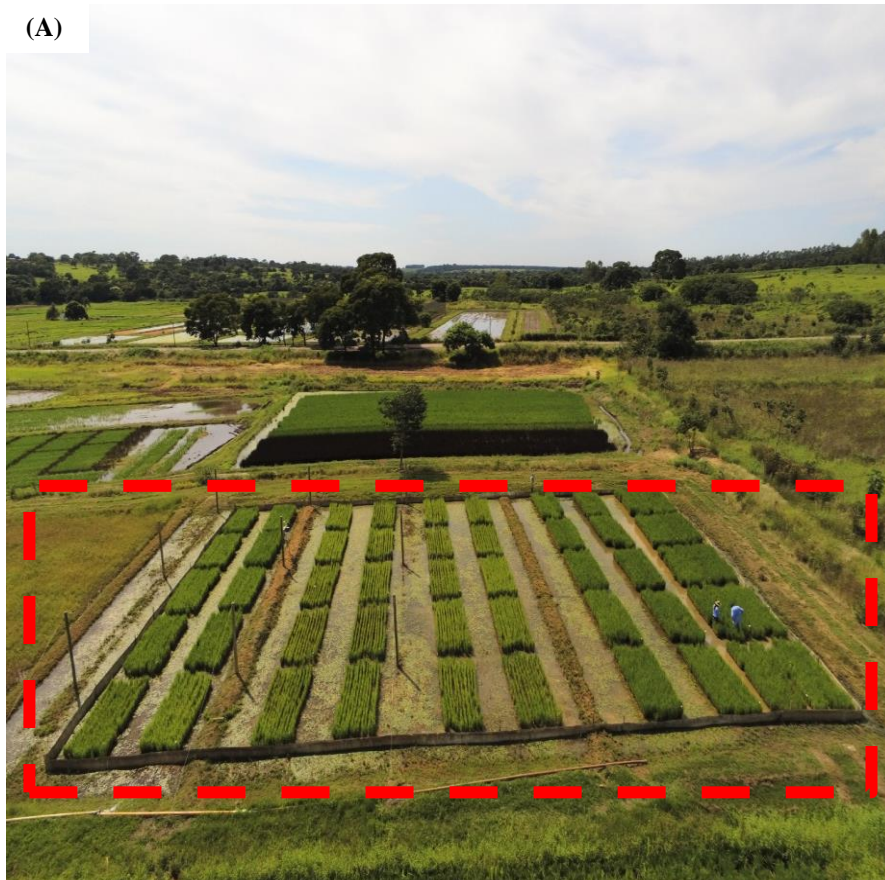
<b>Cultivar</b>	<b>Dose de N</b>	<b>Sombreado (Sim ou Não)</b>	<b>Data de colheita</b>	<b>DAE</b>	<b>Safra</b>
IRGA 424 RI	50	Não	20/02/2020	117	2019/2020
IRGA 424 RI	50	Sim	27/02/2020	124	2019/2020
IRGA 424 RI	180	Não	20/02/2020	117	2019/2020
IRGA 424 RI	180	Sim	27/02/2020	124	2019/2020
BRS Catiana	50	Não	27/02/2020	124	2019/2020
BRS Catiana	50	Sim	06/03/2020	132	2019/2020
BRS Catiana	180	Não	27/02/2020	124	2019/2020
BRS Catiana	180	Sim	06/03/2020	132	2019/2020
IRGA 424 RI	50	Não	01/03/2021	108	2020/2021
IRGA 424 RI	50	Sim	18/03/2021	125	2020/2021
IRGA 424 RI	180	Não	11/03/2021	118	2020/2021
IRGA 424 RI	180	Sim	18/03/2021	125	2020/2021
BRS Catiana	50	Não	25/03/2021	132	2020/2021
BRS Catiana	50	Sim	25/03/2021	135	2020/2021
BRS Catiana	180	Não	25/03/2021	132	2020/2021
BRS Catiana	180	Sim	25/03/2021	132	2020/2021



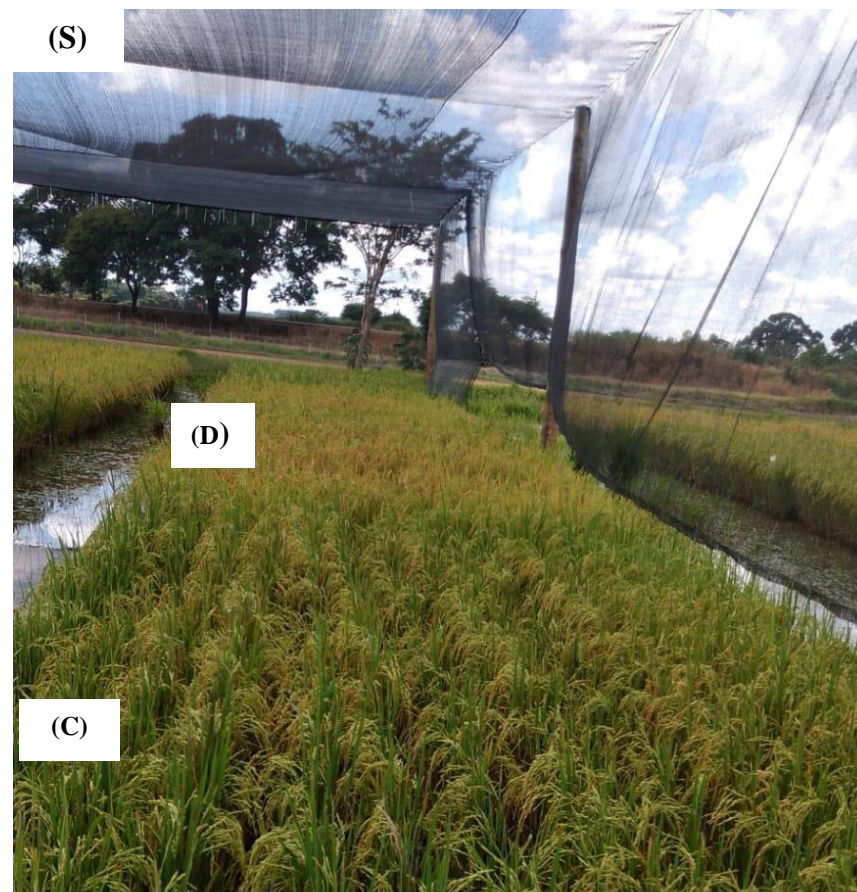
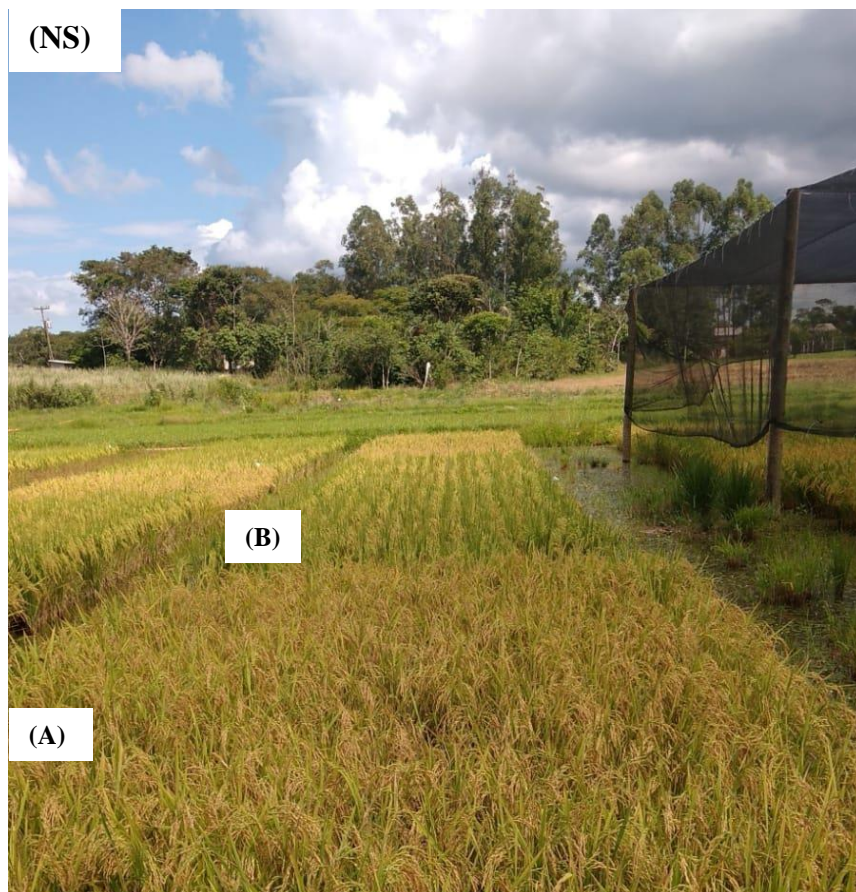
**Figura 7.** Box Plot da produtividade das cultivares BRS Catiana e IRGA 424 RI, nas doses de 50 e 180 kg N ha<sup>-1</sup>, nas condições não sombreada (NS) e sombreada (S), nas safras 2019/2020 (A) e 2020/2021 (B).



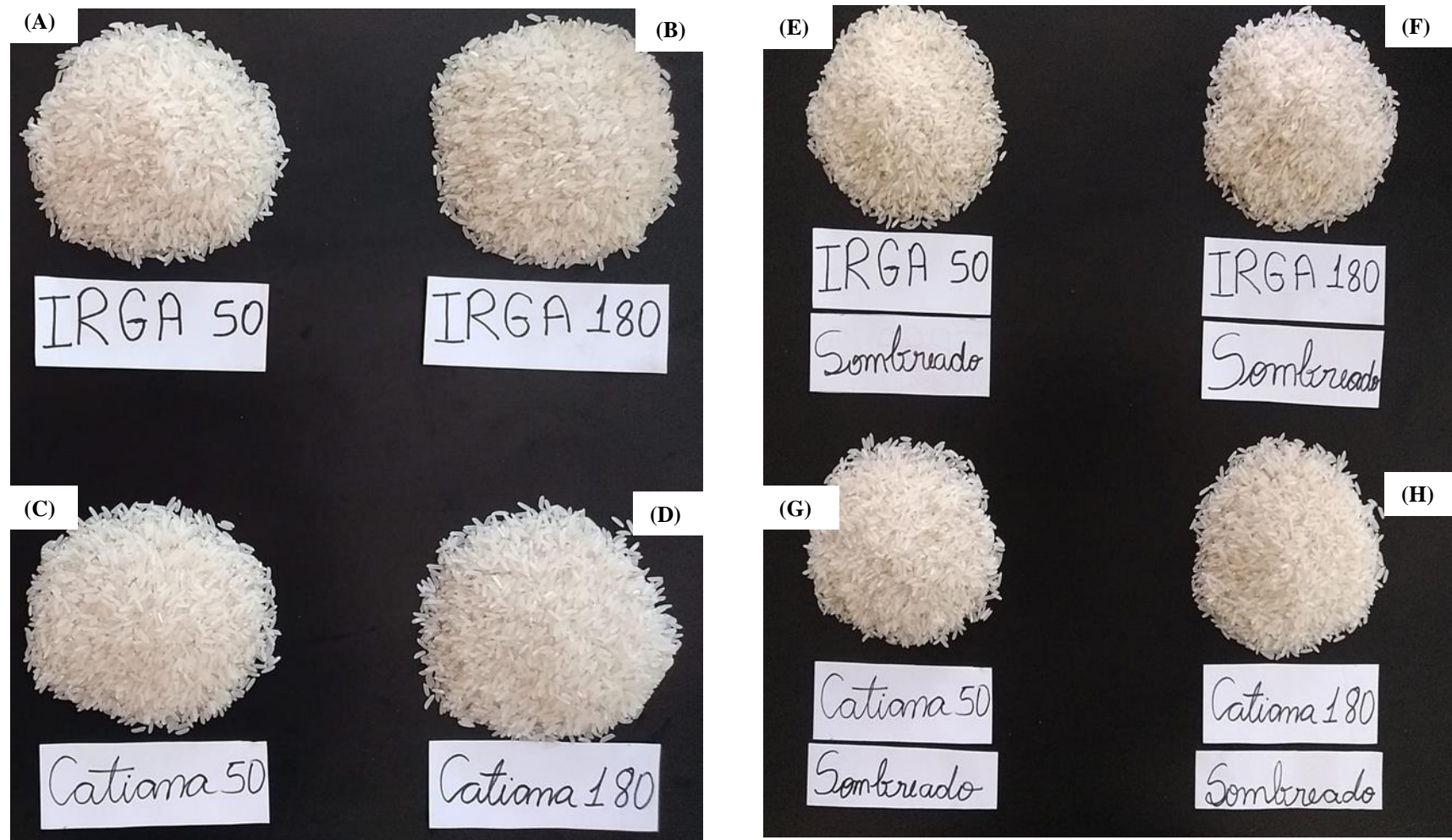
**Figura 8.** Matriz de correlação entre as variáveis nitrogênio total (N.total), matéria seca do colmo (MSC), matéria seca da folha (MSF), massa de 1000 grãos (M1000), número de panículas (NP), dose de N (50 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e produtividade (kg ha<sup>-1</sup>), nas cultivares Catiana não sombreada (A, C) e sombreada (B, D) e Irga 424 RI não sombreada (E, G) e sombreada (F, H), nas safras 2019/2020 e 2020/2021, na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.



**Figura 9.** Visão da área experimental antes do sombreamento (A) e após o sombreamento (B), na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.



**Figura 10.** Cultivar IRGA 424 RI (A, D) e BRS Catiana (B, C) na condição não sombreada (NS) e sombreada (S), na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.



**Figura 11.** Grãos de arroz das cultivares IRGA 424 RI nas doses 50 kg ha<sup>-1</sup> de N (A, E) e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N (B, F) e BRS Catiana 50 kg ha<sup>-1</sup> de N (C, G) e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N (D, H) na condição não sombreada (NS) e sombreada (S), na Estação Experimental da Fazenda Palmital, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, município de Goianira, GO.