

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS ASSOCIADAS
AO POTENCIAL PRODUTIVO EM ARROZ IRRIGADO

Luiza Elena Ferrari
Engenheira Agrônoma/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Área de concentração Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Agosto de 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Ferrari, Luiza Elena
IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS
ASSOCIADAS AO POTENCIAL PRODUTIVO EM ARROZ IRRIGADO /
Luiza Elena Ferrari. -- 2018.
96 f.
Orientador: Christian Bredemeier.

Coorientadora: Renata Pereira da Cruz.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS,
2018.

1. Arroz irrigado. 2. NDVI. 3. potencial produtivo.
4. teor de clorofila. 5. produtividade de grãos. I.
Bredemeier, Christian, orient. II. Cruz, Renata
Pereira da, coorient. III. Título.

LUIZA ELENA FERRARI
Engenheira Agrônoma - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 13.08.2018
Pela Banca Examinadora

CHRISTIAN BREDEMEIER
Orientador
PPG Fitotecnia/UFRGS

SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE
Coordenadora do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

RENATA PEREIRA DA CRUZ
Coorientadora
PPG Fitotecnia/UFRGS

PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA
PPG Fitotecnia/UFRGS

CARLA ANDREA DELATORRE
PPG Fitotecnia/UFRGS

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de
Agronomia

ALENCAR JUNIOR ZANON
UFSM

Dedico com todo o meu amor incondicional e admiração às pessoas mais importantes da minha vida, meus pais, Maria Leonor Ferrari e Cláudio Antônio Ferrari.

“Depois da virtude, é o conhecimento o que eleva um homem sobre os demais.”

Joseph Addison

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, à Faculdade de Agronomia, ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, aos Departamentos de Plantas de Lavoura e de Fitossanidade e ao Instituto Rio Grandense do Arroz, pelo acolhimento, oportunidade e estrutura para que este trabalho fosse realizado.

Aos professores Christian Bredemeier e Renata Pereira da Cruz, pela orientação, ensinamentos e atenção durante todo o período do mestrado.

Aos professores Samuel Martins, Carla Delatorre e Ibanor Anghinoni, pelo apoio e amizade que foram fundamentais para superação de momentos difíceis.

Aos servidores e técnicos administrativos do Departamento de Plantas de Lavoura e do Instituto Rio Grandense do Arroz, pela prestatividade, ajuda e amizade.

Aos professores Carla Andrea Delatorre, Paulo Regis Ferreira da Silva e Alencar Junior Zanon, pela participação e colaboração na banca de defesa deste trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos e apoio financeiro concedido.

Aos colegas de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela amizade, conhecimentos compartilhados, momentos de descontração, momentos de apoio e pela agradável convivência. Em especial, à amiga Gerarda Beatriz Pinto.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram, mesmo que a distância, compreendendo a minha ausência em momentos especiais.

À minha família, em especial aos meus pais, Maria Leonor Ferrari e Cláudio Antônio Ferrari, pela motivação, apoio incondicional ao longo da minha vida. A gratidão que tenho por vocês não cabe nessas linhas.

Ao meu namorado, Paulo Ricardo de Jesus Rizzotto Júnior, pelo apoio, carinho e compreensão para o término deste trabalho.

À Deus e a todas forças divinas pela vida, pela proteção e por ter colocado pessoas tão especiais no meu caminho.

IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS ASSOCIADAS AO POTENCIAL PRODUTIVO EM ARROZ IRRIGADO¹

Autora: Luiza Elena Ferrari
Orientador: Christian Bredemeier
Coorientadora: Renata Pereira da Cruz

RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é extremamente importante por ser base alimentar da população mundial. Atualmente, o principal desafio das pesquisas voltadas a essa cultura é alcançar ganhos na produtividade de grãos. Sendo assim, os objetivos deste trabalho foram caracterizar morfofisiologicamente os genótipos de arroz BR-IRGA 409, IRGA 424, IRGA 424 RI, IRGA 4720 e QM 1010 CL, de alto potencial produtivo, bem como comparar avaliações feitas por ferramentas não destrutivas como NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) e correlacioná-las a análises destrutivas de biomassa, teor de clorofila, concentração de nitrogênio (N) e produtividade de grãos. Os experimentos foram realizados nas safras 2015/16 e 2016/17 na EEA/IRGA (Cachoeirinha/RS). O delineamento experimental foi em blocos completamente casualizados, com quatro repetições. Nos genótipos avaliados, a alta produtividade de grãos foi resultado de diversas características atuando em conjunto. Desta forma, a associação de elevada biomassa, índice de colheita, comprimento da folha bandeira e da panícula mostrou-se extremamente importante na obtenção de altas produtividades de grãos. A utilização do índice NDVI apresentou boa correlação com a biomassa da parte aérea no período vegetativo, enquanto que a produtividade de grãos foi melhor relacionada quando esta ferramenta foi utilizada no início do período reprodutivo. Já o instrumento SPAD foi eficiente em detectar alterações no N acumulado no florescimento (R4) e na maturação (R9). A correlação do SPAD com as clorofilas a, b e total somente foi observada no período de maturação e senescência. De modo geral, quando utilizadas em estádios específicos de desenvolvimento, as ferramentas NDVI e SPAD demonstraram ser eficientes para correlacionar biomassa, teor de clorofila e produtividade de grãos, auxiliando na fenotipagem não destrutiva de plantas. Diante do exposto, pode-se afirmar que a obtenção de informações morfofisiológicas associadas ao uso de ferramentas pode contribuir para a caracterização de genótipos de arroz irrigado, altamente produtivos, adaptados ao Rio Grande do Sul.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (96f.) Agosto, 2018.

IDENTIFICATION OF AGRONOMIC CHARACTERISTICS ASSOCIATED TO PRODUCTIVE POTENTIAL IN FLOODED RICE¹

Author: Luiza Elena Ferrari
Adviser: Christian Bredemeier
Co-adviser: Renata Pereira da Cruz

ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is extremely important for being the food base of a large part of the world population. The main research challenge on this crop is to achieve gains in final grain yield. Thus, the objectives of this work were to characterize the rice genotypes BR-IRGA 409, IRGA 424, IRGA 424 IR, IRGA 4720 and QM 1010 CL, of high productive potential, as well as to compare parameters by non-destructive tools such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and SPAD (Soil Plant Analysis Development) and correlate them with destructive analysis of biomass, chlorophyll content, nitrogen (N) concentration and grain yield. The experiments were carried out in the seasons 2015/16 and 2016/17 at EEA/IRGA (Cachoeirinha/RS). The experimental design was completely randomized blocks with four replicates. For the genotypes evaluated in the present study, the high grain yield resulted from several features acting together. The association of elevated biomass, harvest index and flag leaf and panicle size were important to obtained high grain yield. NDVI showed a good relation to shoot biomass at the vegetative phase, while grain yield was better related when this tool was used at the beginning of the reproductive phase. The SPAD instrument was efficient to detect changes in N accumulated at flowering (R4) and maturation (R9). The correlation between SPAD and chlorophylls a, b and total were verified only at crop maturation and senescence stages. Generally, when used in specific growth stages, NDVI and SPAD tools proved to be efficient and useful to correlate biomass, productivity, and chlorophyll content, helping in non-destructive plant phenotyping. Therefore, it can state that the obtaining of morphophysiological information associated to the use of tools might contribute to the characterization of flooded rice genotypes, highly productive, adapted to Rio Grande do Sul.

¹ Master Dissertation in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (96p.) August, 2018.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Referências	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Arroz	5
2.1.1 Exigências edafo-climáticas	5
2.1.2 Fenologia e desenvolvimento	7
2.2 Histórico do desenvolvimento de cultivares de arroz no Sul do Brasil	9
2.3 Características morfofisiológicas relacionadas à obtenção de alta produtividade de grãos em arroz irrigado	10
2.4 Fenotipagem de características agronômicas de interesse	13
2.4.1 Fenotipagem dos parâmetros teor de nitrogênio, clorofila e biomassa determinados direta e indiretamente em plantas de arroz	16
2.4.1.1 Importância do nitrogênio no sistema agrícola	16
2.4.1.2 Relação entre nitrogênio e clorofila	16
2.4.1.3 Estimativa da biomassa por sensoriamento remoto	18
2.5 Referências	22
3 ARTIGO 1 – Identificação de características morfofisiológicas associadas a produtividade de grãos em genótipos de arroz irrigado	27
3.1 RESUMO	28
3.2 ABSTRACT	29
3.3 INTRODUÇÃO	29
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	31

	Página
3.5 RESULTADOS	36
3.6 DISCUSSÃO	39
3.7 CONCLUSÃO	46
3.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
4 ARTIGO 2 – Biomassa, clorofila e teor de nitrogênio utilizando metodologias destrutivas e não destrutivas em genótipos de arroz irrigado	56
4.1 RESUMO	57
4.2 ABSTRACT	58
4.3 INTRODUÇÃO	58
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	60
4.5 RESULTADOS	65
4.6 DISCUSSÃO	69
4.7 CONCLUSÃO	72
4.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
5 CONCLUSÕES GERAIS	82

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Descrição dos eventos morfológicos relativos aos subperíodos de desenvolvimento e aos estádios do arroz (adaptado de Counce et al., 2000) 8

ARTIGO 1

1. Características físicas e químicas do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm antes da instalação do experimento nas safras 2015/16 e 2016/17, Cachoeirinha (RS) 50
2. Número de dias da emergência ao florescimento nas safras 2015/16 e 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS) 50
3. Diâmetro do colmo e biomassa seca da raiz no estágio R9 (maturação) na safra 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS) 51
4. Biomassa seca da parte aérea em diferentes estádios de desenvolvimento, nas safras 2015/16 e 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS) 51
5. Componentes de produção e produtividade de grãos nas safras 2015/16 e 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS) 52
6. Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas na safra 2015/16 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS) 52

7. Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas na safra 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS)	53
--	----

ARTIGO 2

1. Coeficiente de correlação linear (R) entre os valores do NDVI e a biomassa da parte aérea avaliados em seis estádios de desenvolvimento em cinco genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS)	77
2. Coeficiente de correlação linear (R) entre o índice SPAD e o teor de clorofila a (Clor a), b (Clor b) e total (Clor t) avaliados em cinco genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS)	77
3. Teores de nitrogênio, silício e índice SPAD avaliados na folha bandeira, no estádio de florescimento em cinco genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS)	78
4. Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas no estádio de florescimento: teores de nitrogênio (N) e silício (Si), determinados na folha bandeira; área foliar média da folha bandeira (AFB); área foliar média da folha bandeira menos um (AFB ⁻¹); índice SPAD e ; valores do NDVI, Cachoeirinha (RS)	78
5. Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas no estádio de formação do colar da nona folha (V9), à direita e, iniciação da panícula (R1), à esquerda: nitrogênio acumulado na parte aérea (N); biomassa da parte aérea (BM); índice SPAD; valores do NDVI e; produtividade de grãos (PG), Cachoeirinha (RS)	79

6.	Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas no estágio de florescimento (R4), à direita e, maturação (R9), à esquerda: nitrogênio acumulado na parte aérea (N); biomassa da parte aérea (BM); área foliar da folha bandeira (AFB); área foliar da folha bandeira menos um (AFB); índice SPAD; valores do NDVI e; produtividade de grãos (PG), Cachoeirinha (RS)	79
7.	Coeficiente de correlação linear (R) entre o índice SPAD e os valores do NDVI, Cachoeirinha (RS)	79
8.	Coeficiente de correlação linear (R) entre o NDVI-INSEY e a produtividade de grãos (PG), Cachoeirinha (RS)	79

RELAÇÃO DAS FIGURAS

	Página
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
1. Aparelho SPAD-502 desenvolvido pela empresa Konica Minolta	17
2. Realização da leitura do NDVI em arroz utilizando o aparelho <i>Greenseeker</i> ®	20
ARTIGO 1	
1. Precipitação pluvial acumulada por semana e temperaturas máxima, mínima e média, nas safras: A) 2015/16 e B) 2016/17; Radiação solar média por semana, nas safras: C) 2015/16 e D) 2016/17, durante o ciclo de desenvolvimento do arroz irrigação, Cachoeirinha (RS)	54
2. A) Comprimento de panícula no estádio R9 e de folha bandeira nos estádios R4 (florescimento) e R9 (maturação) e; B) Estatura de planta nos estádios R4 (florescimento) e R9 (maturação), na safra 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS)	55
ARTIGO 2	
1. A) Valores do NDVI; B) Quantidade de nitrogênio acumulado e; C) Índice SPAD, avaliados na parte aérea ao longo do desenvolvimento de cinco genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS)	80
2. A) Área foliar média da folha bandeira e; B) da folha bandeira menos um de cinco genótipos de arroz irrigado (96 DAE=R4, florescimento; 112 DAE=R6-R7, enchimento de grãos e; 140 DAE=R9, senescência), Cachoeirinha (RS)	81

1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das mais importantes no mundo, servindo de base alimentar para mais de três bilhões de pessoas. Mundialmente, é o segundo cereal mais cultivado, abrangendo uma área de cultivo de 168 milhões de hectares, o que corresponde a 29% do total de grãos consumidos na alimentação humana. Na safra 2016/17, a produção mundial deste cereal foi de, aproximadamente, 756 milhões de toneladas de grãos em casca (FAO, 2017).

O estado do Rio Grande do Sul (RS) é o principal produtor de arroz, respondendo por, aproximadamente, 71% da produção nacional (CONAB, 2018). A produção de arroz irrigado tem relevante função econômica e social no estado do RS, uma vez que emprega expressivo número de recursos humanos. Levando-se em conta somente as lavouras, são gerados 37,2 mil empregos diretos (Gianluppi & Gianluppi, 2007) e, se considerada a cadeia produtiva do arroz como um todo, totalizam 232 mil empregos gerados, diretos e indiretos, fazendo da orizicultura a principal atividade econômica de muitos municípios do RS (SOSBAI, 2016).

Na safra 2016/17, a produtividade média no estado foi de 7.930 kg ha⁻¹ e a produção de aproximadamente 9 milhões de toneladas, sendo a cultura do arroz irrigado cultivada em 1,1 milhão de hectares (CONAB, 2018). De acordo com levantamentos realizados em 2018 pela CONAB (2018), a safra 2017/18 apresenta redução de área plantada de 1,9% em relação à safra anterior. Estima-se que a produtividade média nacional seja de 5.994 kg ha⁻¹, enquanto que, para o estado do RS, estima-se que alcance 7.613 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018).

A expressão do potencial genético da cultura do arroz irrigado para alta produtividade e com qualidade de grãos sofre influência de vários fatores, tais como sistema de plantio, época de semeadura, irrigação, adubação e tratamentos fitossanitários, entre outros. O potencial produtivo é definido como a

produtividade de grãos de um genótipo quando cultivado em ambientes para o qual está adaptado, com nutrientes e água não limitante, com pragas, doenças, plantas daninhas, acamamento e, outros estresses efetivamente controlados (Evans, 1993). A escolha da cultivar é um ponto decisivo para o sucesso do sistema produtivo, pois ela deve apresentar adaptação às condições de clima e de cultivo no RS, o que se traduz no seu potencial produtivo. Sendo assim, o genótipo escolhido é o ponto de partida para a construção de elevadas produtividades. Já os fatores relacionados ao manejo da cultura não poderão aumentar o potencial produtivo, que é definido geneticamente e, sim, permitir que a mesma se expresse.

Ao longo dos anos, os programas de melhoramento genético de arroz irrigado têm lançado diferentes cultivares por meio da seleção fenotípica de plantas com boa arquitetura para suportar alta produtividade de grãos, elevada biomassa e resistência a estresses bióticos e abióticos. Contudo, o potencial produtivo de uma nova cultivar de arroz somente é determinado de forma definitiva quando o genótipo se torna uma linha pura, por meio da avaliação em ensaios de VCU (Valor de Cultivo e Uso), conduzidos em diversos locais e anos. Isso significa que, ao longo dos anos de seleção de plantas em gerações segregantes, o critério utilizado pela maioria dos melhoristas é fortemente baseado em análises visuais e, portanto, depende da experiência dos mesmos. Neste sentido, o conhecimento de quais caracteres morfofisiológicos estão relacionados ao alto potencial produtivo de grãos em arroz é importante para direcionar a seleção fenotípica desde as gerações segregantes. Atualmente, há cultivares com alto potencial produtivo que se destacam em relação às outras, porém ainda não se tem completamente elucidado qual característica ou conjunto de características fenotípicas que mais influenciam no seu desempenho superior.

Os avanços de mapeamento genético do arroz e o desenvolvimento da biologia molecular oferecem oportunidade para que o melhoramento genético aumente os componentes de produção, a fim de garantir maior produtividade de grãos (Fageria, 2007). Contudo, Nguyen & Blum (2004) afirmam que a natureza das características envolvidas na definição do elevado potencial produtivo e na adaptação ao ambiente são fisiologicamente e bioquimicamente complexas. Por este motivo, o aumento do potencial produtivo e da estabilidade da produtividade

sob condições normais ou de estresse não podem ser atingidos sem o entendimento da fisiologia da produção e das respostas da planta ao ambiente. Ferramentas portáteis para a avaliação indireta de alguns caracteres morfofisiológicos estão disponíveis atualmente, tais como o sensor Greenseeker[®] e o clorofilômetro SPAD (Liu *et al.*, 2017). A grande vantagem destes equipamentos é seu fácil manuseio, que permite obter estimativas não destrutivas e de forma rápida da biomassa e clorofila de um conjunto de plantas. Estas características os tornam ideais para melhorar a precisão da seleção fenotípica feita pelos melhoristas.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar características morfofisiológicas associadas a produtividade de grãos, bem como comparar o uso de ferramentas não destrutivas em relação a metodologias destrutivas, em genótipos de arroz irrigado.

Os objetivos específicos foram:

- Identificar quais características morfofisiológicas e componentes de produção estão associados a produtividade de grãos em genótipos de arroz irrigado.
- Comparar o uso das ferramentas não destrutivas, Greenseeker[®] e SPAD, em relação a metodologias destrutivas de avaliação de biomassa, clorofila e teor de N, por análise de correlação linear, em cinco genótipos de arroz irrigado.

1.1 Referências

- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira 2017/2018 – grãos**. Quarto levantamento, janeiro 2018. CONAB 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_11_14_17_49_graos_4o_levantamento.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2018.
- EVANS, L.T. **Crop Evolution, Adaptation and Yield**. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1993.
- FAGERIA, N.K. Yield physiology of rice. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 30. ed. 6, p. 843-879, 2007.
- FAO – Food and Agriculture Organization. **Rice Market Monitor**, December 2017. Disponível em: ><http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en/><. Acesso em 13 de janeiro de 2018.
- GIANLUPPI, L.F.; GIANLUPPI, G.F. A cadeia agroindustrial do arroz influenciando o desenvolvimento regional: uma comparação entre o RS e RR. **Amazônia, Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 3, n. 5, p. 1-5, 2007.
- LIU, X. et al. Canopy chlorophyll density based index for estimating nitrogen status and predicting grain yield in rice. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 1829, 2017.
- NGUYEN, H.T.; BLUM, A. **Physiology and Biotechnology Integration for Plant Breeding**. Marcel Dekker, New York, 2004, 628 p.
- SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves, RS, 2016. 200p.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Arroz

2.1.1 Exigências edafo-climáticas

O arroz cultivado (*Oryza sativa* L.) é uma planta de ciclo anual, pertencente à família Poaceae e ao gênero *Oryza*, o qual é composto por 22 espécies (Vaughan & Morishima, 2003). A espécie *Oryza sativa* é a mais importante do gênero por ser a mais cultivada no mundo, também conhecida como “arroz asiático”. Ela apresenta duas subespécies, *índica* e *japônica*, as quais evoluíram independentemente a partir da domesticação de diferentes espécies selvagens da China e Índia, respectivamente (Second, 1982). Diversas características morfológicas diferenciam estas duas subespécies, destacando-se a forma do grão, com as variedades japônicas apresentando grãos curtos, largos, espessos, enquanto as índicas possuem grãos longos, estreitos e levemente planos.

As variedades de arroz irrigado cultivadas no Brasil pertencem ao grupo *índica*, enquanto as variedades de arroz de terras altas, sobretudo as utilizadas até a década de 1970, pertencem ao grupo *japônica*. Contudo, cultivares como Canastra, Primavera e Maravilha, são do grupo *japônica*, híbrido de *índica* e *japônica* (Pinheiro, 1998).

Embora seja uma planta de dias curtos, o arroz se adapta a diversas condições climáticas, principalmente pela seleção de genótipos com menor sensibilidade ao fotoperíodo. Na região Sul do Brasil, é cultivado durante os períodos de primavera e verão. Esta espécie possui sistema fotossintético C3 e é adaptada ao ambiente aquático, devido à presença de aerênquimas nos colmos e raízes. Este mecanismo possibilita a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera (SOSBAI, 2016).

As exigências edáficas para o cultivo de arroz irrigado estão associadas

ao manejo da água para irrigação que é um fator que requer algumas características intrínsecas aos solos de terras baixas. A textura superficial, de preferência franca, seguida por gradiente textural (horizonte com condutividade hidráulica baixa ou nula) e áreas com baixa declividade e baixa irregularidade superficial caracterizam esses solos (SOSBAI, 2016). No RS, os solos de terras baixas representam cerca de 20% de sua área total. Os Planossolos (incluindo Gleissolos associados) representam 56% da área de terras baixas e os Gleissolos (7,1%) são os solos que apresentam menores limitações em suas características edáficas para o cultivo de arroz irrigado (Pinto *et al.*, 2004).

Segundo Cruz (2010), as condições climáticas são de extrema importância para o desenvolvimento do arroz irrigado, pelo fato de permitirem que a cultura maximize a expressão do potencial produtivo, como também a otimização do aproveitamento dos insumos utilizados. A cultura do arroz, todavia, se desenvolve bem em climas quentes e úmidos, adaptando-se melhor a regiões com umidade relativa alta, intensa radiação solar e suprimento de água garantido. Logo, para o desenvolvimento da planta de arroz, temperatura, radiação e água (umidade do ar e do solo) são os fatores climáticos preponderantes. Verifica-se, porém, que o potencial produtivo de grãos é determinado basicamente pela radiação solar disponível (Cruz, 2010). Já a estabilidade na produtividade de grãos é influenciada por oscilações de temperatura, precipitação e ocorrência de ventos extremos.

A temperatura do ar é um dos elementos climáticos de maior influência no crescimento, desenvolvimento e produtividade, ou seja, cada fase fenológica tem sua temperatura crítica. A temperatura ótima para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 20 e 35°C (Yoshida & Parao, 1976). As faixas de temperatura ótima variam de 20 a 35°C durante a germinação, de 30 a 33°C no florescimento e de 20 a 25°C, na maturação. Entretanto, a sensibilidade à temperatura varia entre genótipos. A influência das baixas temperaturas pode paralisar o crescimento do arroz e ser mais acentuada em semeaduras realizadas fora da época recomendada. Estas condições extremas, quando ocorrem no início da semeadura, podem prejudicar o estabelecimento da cultura. Para as variedades *Índica* e *japônica*, temperaturas abaixo de 20 e 15°C, respectivamente, podem ser desfavoráveis. O impacto destas temperaturas depende do estágio de

desenvolvimento, do genótipo, do período de duração do fenômeno, da amplitude térmica e da condição nutricional da planta.

2.1.2 Fenologia e desenvolvimento

O ciclo de desenvolvimento do arroz pode ser dividido em três subperíodos distintos: desenvolvimento da plântula, vegetativo e reprodutivo. O subperíodo de desenvolvimento da plântula compreende desde a semente seca de arroz até a emergência do perfilo do coleóptilo. A duração deste subperíodo depende significativamente da umidade e temperatura do solo.

O subperíodo de desenvolvimento vegetativo compreende o período entre a germinação e a iniciação da panícula. Esta fase é a principal responsável pela duração do ciclo total da cultura e é influenciada, principalmente, pela temperatura do ar e pelo comprimento do dia ou fotoperíodo (Pinheiro, 2006). A emissão de novos perfilhos ocorre durante o período vegetativo, a partir do desenvolvimento da quarta folha do colmo principal (Estádio V4).

O subperíodo de desenvolvimento reprodutivo compreende o período a partir da iniciação da panícula e se estende até a maturação de grãos. Inicialmente, ocorre a diferenciação e exserção da panícula, em seguida inicia o florescimento, onde ocorrem abertura, polinização e fertilização das espiguetas (Pinheiro, 2006). O enchimento de grãos é a etapa final do desenvolvimento da cultura e compreende o período após a antese, estendendo-se até a maturação dos grãos. A maior parte dos carboidratos contidos nos grãos são produzidos durante o enchimento de grãos. A duração deste subperíodo depende, principalmente, da variação da temperatura do ar (SOSBAI, 2016) e das condições nutricionais da planta.

As diferenças entre a duração do desenvolvimento das variedades de arroz (ciclos curto, médio e longo) devem-se, principalmente às diferenças no subperíodo vegetativo. Após a emergência da cultura, consideram-se como ciclos curto, médio e longo cultivares de arroz irrigado com até 120, 135 e acima de 135 dias, respectivamente (Yoshida, 1981).

Counce *et al.* (2000) desenvolveram uma escala precisa para determinar o estágio de desenvolvimento do arroz, que tem com base critérios morfológicos (Tabela 1).

TABELA 1. Descrição dos eventos morfológicos relativos aos subperíodos de desenvolvimento e aos estádios do arroz (adaptado de Counce *et al.*, 2000).

Subperíodos de desenvolvimento	Estádio	Marcador morfofisiológico	Eventos concomitantes no mesmo colmo
Vegetativo	V1	Formação do colar da 1 ^a folha no colmo principal	
	V2	Formação do colar da 2 ^a folha no colmo principal	Formação das raízes nodais (V2 a R0)
	V3	Formação do colar da 3 ^a folha no colmo principal	
	V4	Formação do colar da 4 ^a folha no colmo principal	Processo de perfilhamento (V3 a Vn, podendo ir até R9)
	Vn	Formação da n-ésima folha (folha-bandeira) no colmo principal	
Reprodutivo	R0	Início do desenvolvimento da panícula	V9 a V10
	R1	Diferenciação da panícula	Formação das ramificações e diferenciação da lema e da pálea (V11-V12)
	R2	Formação do colar da folha-bandeira	Microsporogênese e emborrachamento (V13)
	R3	Emissão da panícula na bainha, ponta acima do colar	Alongamento do pedúnculo (R2)
	R4	Antese: um ou mais floretes da panícula em antese	Polinização (R3)
	R5	Expansão do grão em comprimento e largura: pelo menos uma cariopse da panícula do colmo principal apresenta alongamento	Crescimento da cariopse (R4)
	R6	Expansão do grão em espessura: pelo menos uma cariopse da panícula do colmo principal preencheu completamente a casca	Enchimento do grão, estágio de grão leitoso (R5)
	R7	Grão em massa dura: pelo menos um grão do colmo principal apresenta-se com pericarpo amarelo	Enchimento do grão, estágio ceroso e massa dura (R6)
	R8	Maturação do grão: pelo menos um grão do colmo principal apresenta-se com pericarpo marrom	Grãos secos e maturidade fisiológica (R7)
R9	Completa maturidade da panícula; todos os grãos apresentam-se com pericarpo marrom	Mudanças pós-colheita (R8)	

2.2 Histórico do desenvolvimento de cultivares de arroz no Sul do Brasil

O arroz foi introduzido no Brasil durante o período colonial, o seu cultivo foi relatado a partir de 1530, na capitania de São Vicente. No entanto, foi somente em 1904 que surgiu a primeira lavoura empresarial, no município de Pelotas (RS). Em seguida, chegou a Cachoeira do Sul (RS) e, a partir de 1912, teve grande impulso graças aos “locomóveis”, veículos movidos a vapor que moviam as bombas de irrigação, facilitando a inundação das lavouras de arroz irrigado (Pereira, 2002).

Durante muitos anos, a produtividade brasileira de arroz ficou estabilizada em torno de 2,5 t ha⁻¹ (1922-1969), atingindo 3,6 t ha⁻¹ entre os anos 1970 e 1981, pela introdução de cultivares americanas, como a Bluebelle (CONAB, 2015) e o lançamento de novas cultivares pela Estação Experimental do Arroz (EEA) do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

Cultivares com porte semi-anão em arroz e trigo foram desenvolvidas e introduzidas em diversas regiões do mundo, a partir de variedades chinesas e japonesas em 1960, levando a uma grande contribuição para o aumento de produtividade em ambas as espécies (Evans, 1997). Lançada pelo IRRI (*International Rice Research Institute*) em 1966, a cultivar IR8 possuía porte semi-anão, insensibilidade ao fotoperíodo, alto perfilhamento e alta produtividade. A IR8 é considerada a primeira cultivar do grupo *índica* altamente produtiva e adaptada a climas tropicais (Soares *et al.*, 2004), a qual ficou conhecida também como o marco da revolução verde na cultura do arroz irrigado.

Através do melhoramento, alterações na arquitetura e no porte da planta marcaram o início do desenvolvimento de cultivares do tipo moderno. Por agregar várias características agronômicas favoráveis às condições climáticas do Brasil, IR8 foi amplamente utilizada no desenvolvimento de cultivares brasileiras. A partir da década de 1970, cultivares do tipo moderno permitiram que a cultura do arroz duplicasse sua produtividade. Esse tipo de planta caracteriza-se pela capacidade de receber altas doses de nitrogênio (N), sem apresentar acamamento, convertendo tal resposta em maior perfilhamento e produtividade de grãos. De fato, em 1981, com a introdução de cultivares

modernas do tipo linha pura, como BR-IRGA 409 e BR-IRGA 410, foi possível chegar a uma produtividade de 5,0 t ha⁻¹ (Magalhães Jr. *et al.*, 2003).

Atualmente, a maioria das cultivares utilizadas no RS é do tipo linha pura. Entretanto, cultivares híbridas também pertencentes ao grupo *indica* aumentaram o potencial produtivo em cerca de 9% nas condições tropicais (Peng *et al.*, 1999). O uso dessas cultivares no RS ocorreu a partir dos anos 2000, com o lançamento do primeiro híbrido comercial de arroz pela empresa americana “*RiceTec*”. O aumento na produtividade de grãos dos híbridos de arroz irrigado, quando comparados às cultivares do tipo linha pura, foi atribuído à maior produção de biomassa, em vez do índice de colheita (IC). No entanto, as cultivares híbridas caracterizam-se por apresentar produtividades instáveis, conforme o ambiente e o ano do cultivo (Horie *et al.*, 1997).

A produtividade média de arroz nas lavouras irrigadas do Sul do país está em torno de 7,8 t ha⁻¹ (CONAB, 2018), mas sabe-se que as cultivares utilizadas apresentam potencial superior a 10,0 t ha⁻¹. Dentre as cultivares mais semeadas no estado na safra 2016/17, destacam-se as cultivares do tipo linha pura IRGA 424 RI (44% da área semeada), Guri INTA CL (20,4%), Puitá INTA CL (10%), IRGA 424 (5%) e BR-IRGA 409 (3,5%) (IRGA, 2017).

Em estudo recente, Raimondi *et al.* (2014) avaliaram a similaridade genética de cultivares de arroz irrigadas lançadas de 1980 a 2010 no Sul do Brasil e encontraram que 90% delas foram desenvolvidas a partir de somente seis parentais, revelando estreita base genética entre as cultivares. A base genética restrita é a responsável pela atual dificuldade do melhoramento genético para a obtenção de aumentos de produtividade. Sendo assim, diversos estudos têm explorado a seleção de atributos morfofisiológicos como alternativas para o aumento da produtividade da cultura do arroz irrigado.

2.3 Características morfofisiológicas relacionadas à obtenção de alta produtividade de grãos em arroz irrigado

A utilização de cultivares com elevado potencial produtivo é fundamental para manter os níveis mundiais de produção de grãos. Desde 1979, o IRGA lançou cultivares do tipo moderno pertencentes à subespécie *Índica*, as quais apresentam características como porte baixo, folhas eretas, alta capacidade de perfilhamento, grãos longo-finos e alto potencial produtivo (Lopes *et al.*, 2008).

Características morfofisiológicas associadas a altas produtividades de grãos em arroz, uma vez identificadas, são ferramentas importantes para a seleção de novas cultivares nos programas de melhoramento genético, pois poderão ser usadas como critérios de seleção. O entendimento de como os processos fisiológicos governam a construção do potencial produtivo e a identificação das características de plantas associadas com a alta produtividade são essenciais para o aumento da produtividade de arroz através do melhoramento genético e técnicas moleculares.

A busca por cultivares com maior potencial produtivo é um desafio constante aos melhoristas. De forma geral, tanto no desenvolvimento de cultivares linhas puras, quanto no de híbridos, os melhoristas têm concentrado suas seleções baseados na produtividade final de grãos e em características observadas, principalmente, entre os estádios de emborrachamento (Estádio R2) e maturação (Estádio R9). Isto se deve ao fato de que grande parte das seleções são feitas considerando a densidade de panículas, massa por panícula, número de grãos por panícula e peso do grão.

De modo geral, a produtividade de grãos é determinada pela produção de biomassa e pelo IC (Huang *et al.*, 2018). A produção de biomassa depende de taxa e duração da fotossíntese e da taxa de respiração. Uma arquitetura de dossel que promova condições mais adequadas para maior fotossíntese individual das folhas e que retarde a senescência das mesmas, é uma característica importante para o aumento da produção da biomassa (Khush, 2013; Sharma *et al.*, 2013).

Em arroz, o IC é afetado pelo tamanho do dreno, ou seja, pelo número de espiguetas por unidade de área, pela fotossíntese do dossel durante a fase de enchimento de grãos, partição de fotoassimilados e porcentagem de grãos cheios. Para fins de melhor entendimento desses processos, outra característica importante é a estocagem de carboidratos não estruturais nos colmos, no período de 10 a 20 dias após o início do emborrachamento (Ishimaru *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017a). Sendo assim, a eficiência desse mecanismo possibilita alta capacidade de translocação de carboidratos da parte vegetativa para a panícula durante o enchimento de grãos.

Ribas *et al.* (2016) avaliaram o acúmulo de matéria seca na parte aérea e a produtividade de grãos de três cultivares híbridas (Prime CL, Inov CL e QM

1010 CL) e uma convencional de arroz (IRGA 424). Os autores observaram que, nas cultivares híbridas, são alocados mais fotoassimilados da parte aérea nos colmos, com o objetivo de sustentar a maior panícula, em comparação às cultivares linhas puras. Em outro estudo visando avaliar genótipos de arroz híbrido em sete locais de cultivo no estado do RS na safra 2014/15, Waldow *et al.* (2015) observaram que o híbrido mais produtivo foi o QM 1010 CL, com produtividade de 12.047 kg ha⁻¹, enquanto a cultivar linha pura IRGA 424 foi a mais produtiva, com média de produtividade de 10.161 kg ha⁻¹.

Thippani *et al.* (2017) constataram que, em híbridos, a produtividade de grãos foi positivamente associada ao número de perfilhos produtivos por planta, altura da planta e peso do grão. Katsura *et al.* (2007) mencionaram que cultivares com elevado potencial produtivo apresentaram maior número de panículas por m² e elevado índice de área foliar (IAF). De forma similar, Li *et al.* (2009) observaram que a maior área foliar por planta foi uma das principais características morfológicas associadas ao maior potencial produtivo de cultivares chinesas de arroz irrigado. Logo, deve-se atentar para a importância da partição da biomassa na parte aérea, de modo que a maior parte dos fotoassimilados seja direcionada ao desenvolvimento dos grãos, demonstrando, assim, sua eficiência produtiva.

Todavia, têm-se identificado outras características que também atuam influenciando o potencial produtivo do arroz. Zhang *et al.* (2017b) e Sharma *et al.* (2013), por exemplo, demonstraram que a maior espessura e a manutenção da folha verde resultaram em 10 a 15% de aumento na taxa fotossintética por unidade de área foliar e que esses mecanismos determinaram aumento de 20% no número de grãos por unidade de área.

O potencial produtivo é o resultado de inúmeros processos que podem ser influenciados não só por características fisiológicas, mas também por características morfológicas intrínsecas de cada genótipo. A estreita relação entre o tipo de planta e o potencial produtivo levou à formação do conceito de ideotipo (Khush, 2013). O ideotipo é definido como uma planta idealizada que apresenta uma combinação específica de características favoráveis para fotossíntese, crescimento e produção de grãos, baseada no conhecimento da fisiologia e morfologia da planta (Khush, 2013; Sharma *et al.*, 2013).

A combinação desses caracteres morfofisiológicos também está relacionada ao maior potencial produtivo dos atuais híbridos de arroz irrigado. Huang *et al.* (2018) reportam que a vantagem do híbrido é devido ao elevado IAF, elevada produção de biomassa e elevado IC. Cheng & Zhai (2000) reportaram que os híbridos mais produtivos apresentam elevada taxa fotossintética no estágio de enchimento de grãos, com retardamento da senescência foliar. Estes híbridos também apresentam maior proteção contra a fotoinibição (Wang *et al.*, 2000), elevada eficiência de carboxilação e maior eficiência quântica (Wang *et al.*, 2006). Assim, elevada taxa fotossintética, lenta senescência foliar e tolerância à fotoinibição são indicadas como características fisiológicas de cultivares com maior potencial de produção de grãos.

Inúmeros trabalhos buscam elucidar como características específicas de cada genótipo podem determinar o seu maior ou menor potencial produtivo. Atualmente, o desenvolvimento de “super híbridos”, que seguem o conceito de ideotipo, tem indicado algumas características morfológicas da planta que estão estreitamente ligadas ao maior potencial produtivo (Khush, 2013). Huang *et al.* (2018) sugerem que a capacidade de afilamento, a arquitetura de planta (largura, comprimento, espessura, ângulo e área das últimas três folhas formadas no colmo principal), o peso da panícula na maturação e o IC sejam determinantes para maiores produtividades em arroz.

No entanto, a inter-relação entre os atributos morfofisiológicos deve ser observada de forma criteriosa, uma vez que existem mecanismos compensatórios (Sharma *et al.*, 2013). Por exemplo, nota-se que existe uma relação negativa entre o tamanho da panícula e o número de panículas por área. Estes mecanismos de ação compensatórios devem ser levados em consideração no momento da seleção pelos melhoristas.

2.4 Fenotipagem de características agronômicas de interesse

Para que determinada característica agronômica seja avaliada ou fenotipada é de fundamental importância que esta fenotipagem seja realizada sob condições de campo. Atualmente, sabe-se que a fenotipagem é um dos gargalos para o melhoramento genético de plantas, especialmente quando comparada ao grau de investimento no desenvolvimento e na utilização de ferramentas moleculares.

Por outro lado, a fenotipagem a campo é um desafio, por ser um processo trabalhoso (Araus & Cairns, 2014), principalmente para caracteres quantitativos, como os componentes de produção e a produtividade de grãos. Li *et al.* (2018) afirmaram que o número de panículas e de espiguetas por área possuem correlação positiva com a produtividade de grãos. Os componentes de produção são parâmetros morfofisiológicos chaves para a obtenção de altas produtividades em arroz e têm sido investigados em detalhes por diversos autores e em diversos ambientes (Cheng & Zhai, 2000; Li *et al.*, 2014; Thippani *et al.*, 2017; Ishimaru *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2018). Por análise sequencial, identificou-se que o número de panículas por m² e peso da panícula são características de primeira ordem que influenciaram a produtividade de grãos (Li *et al.*, 2014).

Em arroz, diversos parâmetros podem ser avaliados, tais como biomassa seca de raízes (Guimarães *et al.*, 2011), biomassa seca da parte aérea (Ali *et al.*, 2014; Gnyp *et al.*, 2014), teor de clorofila na folha (Pocojeski *et al.*, 2015) e área foliar média (Hirotzu *et al.*, 2017). Além de caracteres morfofisiológicos mais simples, como número de panículas por m², comprimento de panícula e folha bandeira, peso de espiguetas, estatura de plantas, número de dias para o florescimento, IC e diâmetro do colmo, entre outros. Isoladamente, estes parâmetros não determinam a alta produtividade, no entanto, quando combinados, estão envolvidos em processos fisiológicos que interferem na produtividade de grãos (Zhang *et al.*, 2017a; Zhou & Yin, 2017).

A amostragem de biomassa seca de raízes envolve a destruição de área significativa da parcela, se realizada a campo. No entanto, quando a amostragem ocorre em experimentos conduzidos em vasos, a biomassa de raízes pode ser superestimada, visto que não ocorre competição ou que a competição entre plantas é menor do que em condições de campo (Guimarães *et al.*, 2011). Por outro lado, os experimentos conduzidos em vasos também podem subestimar a biomassa das raízes por haver limitação de espaço. A biomassa seca da parte aérea segue o mesmo padrão, com amostragens destrutivas, podendo as coletas serem realizadas em diversos estádios de desenvolvimento da cultura. Sendo assim, metodologias e ferramentas modernas têm surgido com o objetivo de tornar essas avaliações mais rápidas e acuradas (Sousa *et al.*, 2015), tais como medidores de clorofila e os aparelhos que avaliam índices de vegetação

obtidos a partir de avaliações de reflectância do dossel, que eliminam por completo o viés das amostragens destrutivas.

Caracterização de genótipos através de avaliações de biomassa da parte aérea indicam que altura de planta possui correlação positiva com peso de grãos, mas negativa com a porcentagem de grãos cheios (Sharma *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2014). Para atingir altas produtividades, a cultivar deve apresentar uma altura de pelo menos 100 cm, medindo-se da base do colmo principal até a ponta da panícula (Sharma *et al.*, 2013).

A fenotipagem realizada a campo visa validar características agrônômicas para locais específicos, visto que pequenas variações ambientais se refletem em diferentes comportamentos para os genótipos testados. De acordo com Li *et al.* (2014), a altura de planta e o peso do grão são as características mais estáveis e que apresentam pequenas variações entre locais e anos. Por outro lado, a duração do ciclo de crescimento e o número de panículas por m² variam significativamente entre os locais. O potencial produtivo de genótipos de arroz linhas puras apresenta maior variabilidade quando os ensaios são realizados em diferentes localidades do que em diferentes anos.

Experimentos a campo utilizando diferentes genótipos permitem a observação do comportamento e as influências destas características sob condições reais, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Diversas abordagens podem ser utilizadas para a fenotipagem, podendo ser divididas em: fenotipagem utilizando ferramentas de sensoriamento remoto, através de análises laboratoriais e amostragens a campo.

O foco da fenotipagem a campo é aplicar as técnicas de sensoriamento remoto, utilizando ferramentas ou aparelhos para avaliar diversas parcelas e várias características ao mesmo tempo. Tais ferramentas precisam ser rápidas, flexíveis e ter um grau de confiança aceitável, além de permitir avaliações de forma repetida ao longo do ciclo da cultura (Araus & Cairns, 2014). A utilização bem-sucedida destes aparelhos permite gerar grandes bancos de dados, com informações específicas para cada genótipo. Tal complexidade não seria possível de se alcançar se as avaliações fossem realizadas de forma convencional ou se exigissem aumento em mão-de-obra qualificada, bem como mais horas de trabalho.

2.4.1 Fenotipagem dos parâmetros teor de nitrogênio, clorofila e biomassa determinados direta e indiretamente em plantas de arroz

2.4.1.1 Importância do nitrogênio no sistema agrícola

O nitrogênio (N) é um dos elementos mais importantes para o desenvolvimento das plantas. De todos os elementos absorvidos a partir do solo e que fazem parte das rotas metabólicas das plantas, o N é o elemento de maior necessidade aos organismos vegetais, pois é absorvido e acumulado em maiores quantidades na parte aérea (Basuchaudhuri, 2016). A absorção e o acúmulo de N nas plantas representam os dois maiores componentes no ciclo de N nos sistemas agrícolas (Gastal & Lemaire, 2002). A relação entre o acúmulo de N em arroz e o ganho de biomassa depende de uma regulação recíproca de múltiplos processos fisiológicos.

A deficiência de N leva a perda da cor verde nas folhas, causa decréscimo na área foliar e diminui a intensidade fotossintética. No entanto, autores têm relatado que diferentes espécies e, até mesmo cultivares, possuem diferentes requerimentos de elementos minerais, com destaque ao N (Sarić & Kovačević, 1981; Clark, 1983). O suprimento de N tem grande efeito no crescimento da folha, porque este nutriente aumenta a área foliar e, conseqüentemente, a taxa fotossintética (Basuchaudhuri, 2016), uma vez que as proteínas que fazem parte do processo fotossintético representam a maior porção de N total presente na folha (Evans, 1983). O conteúdo de clorofila é aproximadamente proporcional ao conteúdo de N presente na folha.

2.4.1.2 Relação entre nitrogênio e clorofila

A clorofila é uma molécula extremamente importante e crítica ao processo fotossintético, pois permite que a planta absorva energia a partir da luz solar e gere fotoassimilados que serão convertidos para produção de grãos. As plantas possuem dois tipos de clorofila. A clorofila a (Chl a) é essencial à maioria dos organismos fotossintéticos, mas não é o único pigmento usado na fotossíntese. Todos os organismos que liberam O₂ usam a Chl a, mas diferem nos pigmentos acessórios, como a Clorofila b (Chl b). Chl b, por sua vez, é derivada da Chl a pela oxigenação do grupo 7-metil para um grupo formil. Diversos autores

evidenciaram que a Chl b é requerida para o acúmulo dos complexos antena de captura de luz ou *Light harvest complex* (LHC) (Basuchaudhuri, 2016).

Na década de 90, foi desenvolvido um equipamento capaz de gerar grandezas relacionadas com os teores de clorofila, o clorofilômetro *Soil Plant Analysis Development* - SPAD-502 (MINOLTA, 1989). Esse instrumento é portátil e fornece leituras que se relacionam ao teor de clorofila presente na folha (Pocojeski *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017a). A leitura pode ser realizada em poucos minutos, oferecendo facilidade de determinação e baixo custo de manutenção do aparelho, ao contrário de outros testes que exigem compras sistemáticas de produtos químicos. O medidor de clorofila Minolta SPAD-502 (Figura 1) tem sido investigado como instrumento para rápido diagnóstico a campo do estado nutricional de diversas culturas em relação ao conteúdo de N, agregando vantagens como a simplicidade no uso, além de possibilitar avaliação não-destrutiva do tecido foliar (Zhou & Yin, 2017; Kumar *et al.*, 2018).



FIGURA 1. Aparelho SPAD-502 desenvolvido pela empresa Konica Minolta (Fonte: <https://www.indiamart.com/proddetail/spad-502-plus-chlorophyll-meter-13814971048.html>).

O funcionamento do SPAD é baseado em dois LEDs (diodo emissor de luz) posicionados na ponta do medidor, os quais emitem dois feixes de radiação em sequência quando o medidor está fechado e em contato com o tecido foliar. O primeiro feixe é emitido na faixa de 600 a 700 nm (com pico em 650 nm) e o segundo na faixa de 860 a 1060 nm (com pico em 940 nm). A radiação dos LEDs é oriunda da janela de emissão, em seguida parte desta radiação passa através da folha, outra parte é absorvida e outra é refletida. A luz que passa através da

folha entra na janela de recepção, que é constituída por um SPD (fotodiodo de silicone), onde é convertida de sinais analógicos para digitais. Em seguida, essas informações são processadas para a obtenção de um valor, o qual é denominado “SPAD”. A precisão do aparelho é de uma unidade SPAD para valores entre 0 e 50 unidades (MINOLTA, 1989).

Comparado às metodologias tradicionais (destrutivas), o SPAD-502 fornece ganho considerável de tempo, espaço e recursos. Pesquisas recentes indicam que há relação entre a concentração de clorofila na folha e o teor de N (Ali *et al.*, 2014). Em híbridos de arroz, observou-se que o conteúdo máximo de clorofila encontrado na folha foi de 1,6 a 1,8 mg g⁻¹ de massa fresca, o que corresponde ao valor de 39 a 42 unidades no índice SPAD. Já em cultivares convencionais de arroz, o teor de clorofila foi de 1,2 a 1,4 mg g⁻¹, representando leituras de 39 a 42 no índice SPAD (Basuchaudhuri, 2016). Neste mesmo trabalho, o autor relata que a relação do SPAD e o teor total de clorofila foi alta ($R^2 > 0,8$) no estágio de iniciação da panícula e início do florescimento. Resultado similar também foi observado na relação do índice SPAD e conteúdo de N na folha. A partir destes resultados, o autor concluiu que folhas de arroz com valores de SPAD superiores a 35 apresentavam altas concentrações de N, clorofila e coloração verde mais intensa.

2.4.1.3 Estimativa da biomassa por sensoriamento remoto

A quantidade de matéria seca por planta ou o teor de N no tecido foliar, assim como o teor de clorofila nas folhas, são algumas das maneiras de expressar o potencial produtivo das culturas e, como consequência, uma possível relação com o N presente na planta e detecção de deficiência deste nutriente. Contudo, as amostragens realizadas a campo e as metodologias de determinação em laboratório são processos onerosos.

Uma forma indireta de inferir sobre a biomassa de uma determinada cultura é através do uso do sensoriamento remoto, bastante utilizado como ferramenta na agricultura de precisão. No sensoriamento remoto, o emprego da reflectância, que é definida como a razão entre a quantidade de radiação refletida e a radiação incidente, permite obter informações sobre um objeto terrestre sem que haja contato físico com o mesmo (Molin, 2001). A reflectância é uma técnica utilizada para o acompanhamento da curva de acúmulo de biomassa das

culturas ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (Kumar *et al.*, 2018). A mensuração da refletância espectral é a abordagem sem contato e não destrutiva que tem sido bastante usada para acompanhar o ciclo de desenvolvimento de arroz e trigo (Ali *et al.*, 2014; Gnyp *et al.*, 2014).

Com o trabalho de Rouse *et al.* (1973) surgiu o Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*), que preconiza uma relação entre medidas espectrais de duas bandas (vermelho e infravermelho próximo). Este índice possibilitou uma menor interferência do solo na resposta da vegetação, reduziu as influências da atmosfera e as variações do ângulo do sol.

Os índices de vegetação podem ser obtidos através de diferentes fórmulas, as quais são baseadas na diferença de resposta espectral apresentada pela vegetação nas bandas do vermelho e infravermelho próximo. O NDVI é calculado pela equação $NDVI = (\rho_{IV} - \rho_V) / (\rho_{IV} + \rho_V)$, onde ρ_{IV} e ρ_V são as reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho, respectivamente (Rouse *et al.*, 1973). O comprimento de onda na faixa espectral do vermelho é absorvido pelas clorofilas, tornando os valores de reflectância decrescentes à medida que aumentam os teores de clorofila. Já os valores de reflectância na região do infravermelho próximo são uma medida indireta da quantidade de biomassa (Peñuelas & Filella, 1998).

O NDVI é o índice de vegetação mais utilizado em pesquisas relacionadas à dinâmica da cobertura vegetal. Alguns sensores remotos para uso terrestre foram criados, como é o caso do sensor *Greenseeker*[®] (NTECH INDUSTRIES, 2016) (Figura 2), desenvolvido pela Universidade de Oklahoma (EUA) na década de 1990. Este aparelho utiliza diodos de emissão de radiação nas faixas do vermelho (656 nm) e infravermelho próximo (774 nm). A leitura de reflectância é calculada por um microprocessador interno, fornecendo o NDVI, que é transmitido a um computador portátil adaptado ao sensor. Os valores de NDVI variam numa escala de -1 a 1. Quanto maiores os valores do NDVI, maiores as diferenças entre a reflectância do infravermelho com o vermelho, o que indica maior quantidade de clorofila e biomassa e, conseqüentemente, maior potencial produtivo da cultura.



FIGURA 2. Realização da leitura do NDVI em arroz utilizando o aparelho *Greenseeker*[®].

A estimativa do potencial produtivo ao longo do ciclo é importante para a tomada de decisões de manejo, como a necessidade de adubação nitrogenada, mas também permite ser posteriormente correlacionado com a produtividade de grãos obtida. A biomassa seca acumulada na parte aérea é fortemente correlacionada a produtividade de grãos, quando quantificada nos distintos estádios de desenvolvimento das plantas (Ali *et al.*, 2014). Portanto, o NDVI, medido por sensor óptico ativo, pode ser utilizado como ferramenta auxiliar na determinação indireta do teor de clorofila na folha e da biomassa vegetal. Constitui-se em uma opção para estimar e indicar o potencial produtivo de uma determinada cultivar de arroz irrigado.

Gnyp *et al.* (2014) relatam que ocorre forte correlação entre o NDVI e a biomassa de arroz durante o período de perfilhamento e uma correlação fraca a partir do início do estágio de emborrachamento. Pois, a partir deste estágio ocorre a saturação dos valores de NDVI, ou seja, mesmo aumentando a biomassa, o valor deste índice não aumenta. Correlações entre NDVI e a produtividade de grãos em arroz mostraram-se satisfatórias, pois Ali *et al.* (2015) relatam que, aos 70 dias após a semeadura (estádio de iniciação da panícula), o coeficiente de correlação linear foi de 0,79 e diminuiu para 0,75 e 0,67, aos 84 e 98 dias, respectivamente. Os autores concluem que as leituras do NDVI

realizadas com o sensor Greenseeker® no estágio de iniciação da panícula são aquelas que apresentam maior correlação com a produtividade final de grãos.

Apesar de existirem diversos estudos correlacionando NDVI e SPAD a atributos como biomassa, clorofila e teor de N, são pouquíssimos aqueles realizados nas condições brasileiras na cultura do arroz irrigado. Sabe-se, também, que as leituras destes aparelhos sofrem influência tanto do ambiente quanto das cultivares utilizadas, o que reforça a importância da realização de estudos em áreas de arroz irrigado no RS e, principalmente, utilizando cultivares adaptadas a esse ambiente. Essas ferramentas também podem contribuir para maior compreensão do comportamento de genótipos de arroz irrigado de interesse ao longo do seu ciclo de desenvolvimento.

2.5 Referências

- ALI, A.M. *et al.* Prediction of dry direct-seeded rice yields using chlorophyll meter, leaf color chart and GreenSeeker optical sensor in northwestern India. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 161, p. 11-15, 2014.
- ARAUS, J.L.; CAIRNS, J.E. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 52-61, 2014.
- BASUCHAUDHURI, P. **Nitrogen metabolism in rice**. CRC Press, 2016. 276 p.
- CHENG, S.; ZHAI, H. Comparison of some plant type components in superhigh-yielding hybrids of inter-subspecies rice. **Acta Botanica Sinica**, New York, v. 26, p. 713-718, 2000.
- CLARK, R.B. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 72, n. 2-3, p. 175-7296, 1983.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do arroz**. Brasília: Conab, 2015. 180 p.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira 2017/2018 – grãos**. Quarto levantamento, janeiro 2018. CONAB 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_11_14_17_49_graos_4o_levantamento.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2018.
- COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.
- CRUZ, R.P. da. **Exigências climáticas para a cultura do arroz irrigado**. Cachoeirinha: IRGA, 2010. Boletim Técnico n. 11.
- EVANS, J.R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Physiology**, Lancaster, v. 72, p. 297-302, 1983.
- EVANS, L.T. Adapting and improving crops: the endless task. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science**, London, v. 352, p. 901-906, 1997.
- GASTAL, F.; LEMAIRE, G.N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 370, p. 789-799, 2002.
- GNYP, M.L. *et al.* Hyperspectral canopy sensing of paddy rice aboveground biomass at different growth stages. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 155, p. 42-55, 2014.

- GUIMARÃES, C M. *et al.* Sistema radicular do arroz de terras altas sob deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 126-134, 2011.
- HIROTSU, N. *et al.* Partial loss-of-function of NAL1 alters canopy photosynthesis by changing the contribution of upper and lower canopy leaves in rice. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 15958, 2017.
- HORIE, T. *et al.* Physiological characteristics of high-yielding rice inferred from crosslocation experiments. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 52, p. 55–67, 1997.
- HUANG, L. *et al.* Different mechanisms underlying the yield advantage of ordinary hybrid and super hybrid rice over inbred rice under low and moderate N input conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 216, p. 150-157, 2018.
- IRGA - Instituto Rio Grandense do Arroz. As 10 cultivares mais plantadas no Rio Grande do Sul. Safra 2016/17. Disponível em: ><http://stirga2018-admin.hml.rs.gov.br/upload/arquivos/201805/21165901-cultivares-rs-2016-e-2017.pdf><_. Acesso em: 10 dez. 2017.
- ISHIMARU, T. *et al.* Physiological and morphological characterization of a high-yielding rice introgression line, YTH183, with genetic background of Indica Group cultivar, IR 64. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 213, p. 89-99, 2017.
- KATSURA, K. *et al.* Analysis of yield attributes and crop physiological traits of Liangyoupeijiu, a hybrid rice recently bred in China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 103, p. 170-177, 2007.
- KHUSH, G.S. Strategies for increasing the yield potential of cereals: case of rice as an example. **Plant Breeding**, Medford, v. 132, n. 5, p. 433-436, 2013.
- KUMAR, V. *et al.* Efficient Nutrient Management Practices for Sustaining Soil Health and Improving Rice-Wheat Productivity: A Review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, Raipur, v. 7, n. 1, p. 585-597, 2018.
- LI, G. *et al.* Comparison of yield components and plant type characteristics of high-yield rice between Taoyuan a 'special ecosite' and Nanjing, China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 122, p. 214-221, 2009.
- LI, G. *et al.* Optimal yield-related attributes of irrigated rice for high yield potential based on path analysis and stability analysis. **The Crop Journal**, p. 235-243, 2014.
- LI, G. *et al.* Rice Morphology Determinant-Mediated Actin Filament Organization Contributes to Pollen Tube Growth. **Plant Physiology**, p. pp. 01759.2017, 2018.

LIU, X. *et al.* Canopy chlorophyll density based index for estimating nitrogen status and predicting grain yield in rice. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 1829, 2017.

LOPES, S.I.G. *et al.* **Contribuição das cultivares lançadas pelo IRGA para a lavoura orizícola do Rio Grande do Sul.** Boletim Técnico, Cachoeirinha, n. 6, 2008.

MAGALHÃES JR., A.M. *et al.* Melhoramento genético, biotecnologia e cultivares de arroz irrigado. In: MAGALHÃES JR., A.M.; GOMES, A.S. **Arroz irrigado: melhoramento genético, manejo do solo e da água e prognóstico climático.** Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).

MINOLTA CAMERA Co. Ltda. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502.** Osaka, Minolta, Radiometric Instruments divisions. p. 22, 1989.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão - O gerenciamento da variabilidade.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2001. 83p.

NTECH INDUSTRIES, UKIAH, CA, USA. **Greenseeker manuals downloads.** Disponível em: <<http://www.ntechindustries.com/greenseeker-manual.html>>. Acesso em 20 de agosto de 2016.

PENG, S. *et al.* Yield potential trends of tropical rice since the release of IR8 and the challenge of increasing rice yield potential. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 152-1559, 1999.

PEÑUELAS, J; FILELLA, I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 151-156, 1998.

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

PINHEIRO, B.S. **Morfologia e crescimento da planta de arroz.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1998.

PINHEIRO, B.S. **Características morfofisiológicas da planta relacionadas à produtividade.** In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil.** 2. ed., Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.

PINTO, L.F.S. *et al.* **Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado.** In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES, A. M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil.** Brasília: Embrapa, 2004. Cap.3, p.75-96.

POCOJESKI, E. *et al.* Uso do clorofilômetro no monitoramento nutricional de arroz irrigado com vistas ao manejo da adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, 2015.

- RAIMONDI, J.V. *et al.* Genetic base of paddy rice cultivars of Southern Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 194-199, 2014.
- RIBAS, G.G. *et al.* Acúmulo de matéria seca e produtividade em híbridos de arroz irrigado simulados com o modelo SimulArroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 51, n. 12, p. 1907-1917, 2016.
- ROUSE, J. *et al.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium NASA SP-351, 1, pp. 309-317, 1973.
- SARIĆ, M., KOVAČEVIĆ, V. Sortna specifičnost mineralne ishrane pšenice. - In: Fiziologija pšenice (J. BELIĆ, Ed.). Posebno izdanje SANU, v. 53, p. 61-77, 1981.
- SECOND, G. Origin of the genic diversity of cultivated rice (*Oryza* spp.): study of the polymorphism scored at 40 isozyme loci. **The Japanese Journal of Genetics**, Yamaguchi, v. 57, n. 1, p. 25-57, 1982.
- SHARMA, D. *et al.* Tailoring rice plants for sustainable yield through ideotype breeding and physiological interventions. **African Journal of Agricultural Research**, Raipur, v. 8, n. 40, p. 5004-5019, 17, 2013.
- SOARES, A.A. *et al.* Melhoramento genético de arroz em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p.19-23. 2004.
- SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves, RS, 2016. 200p.
- SOUSA, C.A.F. *et al.* Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, p. 660-672, 2015.
- THIPPANI, S. *et al.* Correlation Analysis for Yield and Yield Components in Rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Pure & Applied Bioscience**, Rajasthan, v. 5, n. 4, p. 1412-1415, 2017.
- VAUGHAN, D.A.; MORISHIMA, H. Biosystematics of the genus *Oryza*. **Rice: origin, history, technology, and production**, New Jersey, v. 27, p. 65, 2003.
- WALDOW, D.A.G. *et al.* Avaliação de genótipos de arroz híbrido no estado do Rio Grande do Sul na safra 2014/2015. In: **Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 9., Pelotas. *Anais...* Pelotas: SOSBAI, 2015. p. 108-111.
- WANG, Q. *et al.* Photosynthetic characteristics of two super high-yield hybrid rice. **Acta Botanica Sinica**, New York, v. 42, p. 1285-1288, 2000.

WANG, Q. *et al.* Photosynthetic light and CO₂ utilization and C₄ traits of two novel super-rice hybrids. **Journal of Plant Physiology**, Lancaster, v. 163, p. 529-537, 2006.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269p.

YOSHIDA, S.; PARAO, F.T. **Climatic influence on yield components of lowland rice in the tropics**. Los Baños: IRRI, 1976. p. 471-494.

ZHANG, J. *et al.* Effects of culm carbohydrate partitioning on basal stem strength in a high-yielding rice population. **The Crop Journal**, Beijing, v. 5, n. 6, p. 478-487, 2017a.

ZHANG, K. *et al.* Evaluation of the chlorophyll meter and GreenSeeker for the assessment of rice nitrogen status. **Advances in Animal Biosciences**, 11^a European Conference on Precision Agriculture (ECPA), Cambridge, v. 8, n. 2, p. 359-363, 2017b.

ZHOU, G.; YIN, X. Assessing nitrogen nutritional status, biomass and yield of cotton with NDVI, SPAD and petiole sap nitrate concentration. **Experimental Agriculture**, Cambridge, p. 1-18, 2017.

3 ARTIGO 1

Identificação de características morfofisiológicas associadas a produtividade de grãos em genótipos de arroz irrigado¹

¹ Artigo formatado conforme as normas do periódico *Ciência Rural*

1 **Identificação de características morfofisiológicas associadas a produtividade de**
2 **grãos em genótipos de arroz irrigado**

3 **Identification of morphophysiological characteristics associated to grain yield in**
4 **flooded rice genotypes**

5 **Luiza Elena Ferrari^{1*}; Christian Bredemeier¹; Renata Pereira da Cruz¹; Gerarda**
6 **Beatriz Pinto da Silva¹**

7

8 **RESUMO**

9 O melhoramento genético busca constantemente desenvolver genótipos de arroz
10 irrigado com alto potencial produtivo. A seleção fenotípica para produtividade de grãos
11 em populações segregantes necessita da definição de quais são as características mais
12 importantes para elevar o potencial produtivo. Os objetivos deste estudo foram avaliar
13 características morfofisiológicas e correlacionar estas características a produtividade de
14 grãos em cinco genótipos de arroz irrigado. Os experimentos foram realizados nas safras
15 2015/16 e 2016/17 na EEA/IRGA, em Cachoeirinha (RS). Nos genótipos utilizados, a
16 alta produtividade de grãos é o resultado de diversas características atuando em conjunto.
17 Entre elas, a associação de elevada biomassa, índice de colheita e comprimento da folha
18 bandeira mostraram-se extremamente importantes na obtenção de altas produtividades de
19 grãos em arroz irrigado.

20 **Palavras-chave:** *Oryza sativa* L; correlação; morfologia; índice de colheita;
21 comprimento da folha bandeira.

22

23

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Agronomia, Av. Bento Gonçalves, 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. *E-mail: ferrari.luizaelena@gmail.com. Autor para correspondência.

1 ABSTRACT

2 The genetic breeding constantly seeks the development of flooded rice genotypes
3 with high yield potential. Phenotypic selection for grain yield in segregating populations
4 requires the definition of the most important characteristics to raise yield potential. The
5 objectives of this study were to evaluate morphophysiological characteristics and
6 correlated the characteristics with grain yield in five flooded rice genotypes. The
7 experiments were carried out in 2015/16 and 2016/17 seasons at EEA/IRGA, in
8 Cachoeirinha (RS). In the genotypes used, the high grain yield is the result of several
9 characteristics acting together. Among them, the association of high biomass, crop index
10 and leaf flag length was extremely important for obtaining high grain yields in flooded
11 rice.

12 **Key words:** *Oryza sativa* L; correlation; morphology; crop index; leaf flag length.

13

14 INTRODUÇÃO

15 O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas alimentares mais importantes do
16 mundo. Devido ao crescimento populacional e à melhoria do padrão de vida da
17 população, a demanda por alimentos tem aumentado de maneira expressiva.
18 Considerando que o arroz é a base alimentar de importantes regiões do mundo, estima-se
19 que a produção mundial de arroz precisa dobrar até 2030 (FOLEY et al., 2011). O
20 desenvolvimento de novas cultivares de arroz com maior potencial produtivo, através do
21 melhoramento genético, está entre as principais estratégias para suprir essa crescente
22 demanda. Assim, diversos estudos visando contribuir com o desenvolvimento de novas
23 cultivares de arroz têm sido realizados (ZENG et al., 2017).

24 O ideotipo da planta de arroz mudou substancialmente nas últimas décadas, a fim
25 de aumentar o seu potencial produtivo, seja devido à introdução de cultivares semi-anãs

1 ou ao desenvolvimento de cultivares híbridas. A base genética das cultivares de arroz
2 desenvolvidas no Brasil é fundamentada no padrão cunhado pelo IRRI (*International*
3 *Rice Research Institute*, Los Banos, Philippines). Este padrão teve origem na primeira
4 variedade de porte semi-anão, a IR8, permitindo a combinação de características
5 desejáveis, tais como, elevado perfilhamento, folhas eretas (que proporcionam uma boa
6 arquitetura de dossel) e colmos robustos (para a resistência ao acamamento). Juntas, essas
7 características permitiram alta responsividade à adubação nitrogenada, incremento no
8 índice de colheita e ganho no potencial produtivo (KHUSH, 2013).

9 BRESEGHELLO et al. (2011) destacam que o aumento na produtividade de arroz
10 no Brasil está ligado à redução da estatura de planta, devido à introdução de cultivares
11 semi-anãs e à redução da duração do ciclo de desenvolvimento da cultura. Os orizicultores
12 passaram a utilizar cultivares de ciclo médio e precoce, ao invés de cultivares de ciclo
13 tardio.

14 A identificação de características fenotípicas associadas a alta produtividade de
15 grãos, bem como o momento ideal para seleção, são fatores fundamentais para elevar a
16 eficiência na seleção de plantas. Neste contexto, estudos buscando identificar
17 características morfofisiológicas associadas a alta produtividade de grãos em arroz têm
18 sido realizados (KHUSH, 1995).

19 Atualmente existe limitada informação a respeito da performance de genótipos
20 brasileiros de arroz irrigado em relação a alta produtividade de grãos. Tal informação é
21 vital para identificar caracteres morfofisiológicos para apoiar a seleção e melhoramento
22 de variedades de arroz irrigado (PATEL et al., 2010).

23 Diante do exposto, os objetivos do presente estudo foram identificar
24 características morfofisiológicas associadas a produtividade de grãos em cinco genótipos
25 de arroz irrigado.

1 MATERIAL E MÉTODOS

2 Local de execução dos experimentos

3 Os experimentos foram conduzidos nas safras 2015/16 e 2016/17, na Estação
4 Experimental do Arroz (EEA), do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), em
5 Cachoeirinha, Rio Grande do Sul (RS). A EEA/IRGA está situada na região Central do
6 estado, situada a 29°55'30" de latitude sul e 50°58'21" de longitude oeste e altitude de 7
7 m acima do nível do mar. Segundo a classificação climática de Köeppen, o clima da
8 região é classificado como Cfa, subtropical úmido. O solo da área experimental é
9 classificado como Gleissolo Háptico Distrófico típico. As análises físico-químicas de solo
10 para cada safra foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo do IRGA (Tabela 1).

11 Tratamentos

12 Os tratamentos constaram de cinco genótipos de arroz irrigado. Na safra 2015/16,
13 foram utilizados quatro genótipos: o híbrido QM 1010 CL, a cv. linha pura IRGA 424 RI
14 (ambos com a tecnologia Clearfield®); uma linhagem pertencente ao programa de
15 melhoramento do IRGA (IRGA 4720) e a cv. linha pura BR-IRGA 409. Na safra 2016/17,
16 utilizou-se os mesmos genótipos da safra anterior, com a adição da cv. linha pura IRGA
17 424. A semeadura foi realizada em 20 de outubro de 2015 (safra 2015/16) e em 8 de
18 outubro de 2016 (safra 2016/17). A densidade de sementes utilizada foi de 100 kg ha⁻¹
19 para as cultivares linhas puras e de 45 kg ha⁻¹ para a cultivar híbrida, nos dois anos.

20 Delineamento experimental e condução dos experimentos

21 O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completamente
22 casualizados, com quatro repetições. Na safra 2015/16, cada parcela consistiu de 9 linhas
23 com 5 m de comprimento, espaçadas em 0,17 m, totalizando área de 7,65 m². Na safra
24 2016/17, as parcelas consistiram de 9 linhas com 10 m de comprimento, espaçadas em
25 0,17 m, totalizando área de 15,3 m². Na safra 2016/17, cada parcela foi dividida, de tal

1 forma que a metade da área foi destinada às avaliações destrutivas e o restante foi
2 destinado à realização de avaliações não destrutivas e determinação da produtividade de
3 grãos.

4 Em ambas as safras, o manejo de adubação, plantas daninhas, pragas e doenças
5 seguiram as recomendações da SOSBAI (2016). Utilizou-se a adubação de base de 400
6 kg ha⁻¹ de fórmula NPK (4-17-27) e duas adubações nitrogenadas em cobertura com ureia
7 (45% de Nitrogênio (N)), sendo a primeira realizada no estágio V3 (colar formado na
8 terceira folha do colmo principal), na dose de 100 kg ha⁻¹ de N e a segunda no estágio V8
9 (colar formado na oitava folha do colmo principal), na dose de 50 kg ha⁻¹ de N. A partir
10 do estágio V3, iniciou-se a irrigação, mantendo-se lâmina da água permanente até o
11 estágio de maturação.

12

13 **Avaliações realizadas**

14 *Dias até o florescimento*

15 O momento de ocorrência do florescimento foi avaliado, nas duas safras, pela
16 contagem do número de dias transcorridos entre a emergência das plantas e o momento
17 em que cada unidade experimental apresentou 80% de plantas com as panículas em antese
18 plena.

19 *Comprimento da folha bandeira*

20 As avaliações foram realizadas em dois estádios de desenvolvimento, no
21 florescimento (R4) e na maturação (R9). Para as medições, utilizou-se régua posicionada
22 na base da folha bandeira até a ponta da mesma. Foram avaliadas 10 folhas bandeira,
23 escolhidas aleatoriamente, por parcela. Estas avaliações foram realizadas apenas na safra
24 2016/17.

25

1 *Comprimento da panícula*

2 A avaliação foi realizada no estágio de maturação (R9). Para as medições,
3 utilizou-se régua posicionada na base da panícula estendendo-a e medindo até o seu
4 último grão. Foram avaliadas 10 panículas por parcela escolhidas aleatoriamente. Esta
5 avaliação foi realizada apenas na safra 2016/17.

6 *Estatura de planta*

7 Foi determinada nos estádios de florescimento (R4) e maturação (R9), pela
8 medição, com o auxílio de uma trena, da distância da base da planta até o ápice da
9 panícula e, também, até a ponta da folha bandeira, em 10 plantas por parcela escolhidas
10 aleatoriamente. Estas avaliações foram realizadas apenas na safra 2016/17.

11 *Diâmetro do colmo principal*

12 A avaliação foi realizada somente na safra 2016/17, no estágio de maturação (R9),
13 durante a colheita em cada parcela, utilizando paquímetro digital. As leituras foram
14 realizadas 10 cm acima da superfície do solo, em 10 plantas escolhidas aleatoriamente
15 por parcela.

16 *Biomassa seca do sistema radicular*

17 A determinação da biomassa do sistema radicular foi realizada apenas na safra
18 2016/17. Realizou-se a coleta das raízes no estágio de maturação (R9), imediatamente
19 após a colheita em cada parcela. Foi amostrado volume correspondente a 0,25 m x 0,25
20 m x 0,25 m de solo (0,015625 m³) por parcela. As amostras foram enroladas em tecido
21 voal e lavadas com lava jato, para retirada do excesso de solo. Após a primeira lavagem,
22 realizou-se manualmente uma segunda limpeza das raízes, com utilização de peneiras
23 para retirada de resíduos e de solo ainda aderidos às mesmas. Em seguida, cada amostra
24 de raiz foi levada para estufa com circulação de ar a 60°C. Posteriormente, a biomassa
25 seca das raízes foi pesada em balança de precisão e expressa em kg m⁻³ de solo.

1 *Biomassa seca da parte aérea*

2 Na safra 2015/16, a biomassa da parte aérea foi avaliada apenas no estágio R9
3 (maturação). Já na safra 2016/17, a biomassa da parte aérea foi avaliada em seis estágios,
4 sendo eles V7 (colar formado na sétima folha do colmo principal), V9 (colar formado na
5 nona folha do colmo principal), R1 (diferenciação do primórdio floral), R2
6 (emborrachamento), R4 (florescimento) e R9 (maturação). Utilizou-se quadrado com
7 dimensões de 0,5 x 0,5 m para a coleta de plantas, sendo amostradas três linhas por
8 parcela, totalizando 0,25 m² de área amostral. A biomassa foi seca em estufa com
9 circulação de ar forçado a 60°C e posterior pesagem, sendo o valor expresso em t ha⁻¹.

10 *Componentes de produção de grãos*

11 Foram avaliados a partir da amostra coletada para a biomassa seca da parte aérea
12 no estágio de maturação (R9). Estimou-se o número de panículas por m² obtido pela razão
13 entre o número de panículas da amostra e a área coletada, o número de grãos por panícula
14 foi calculado pela razão entre o número total de grãos formados e o número de panículas
15 colhidas na área amostrada e, o peso de mil grãos (PMG) foi obtido pela pesagem de 10
16 amostras de 100 grãos cada, com correção de umidade para 130 g kg⁻¹.

17 *Porcentagem de esterilidade das espiguetas*

18 Determinou-se a partir da amostra colhida para a determinação da biomassa seca
19 da parte aérea no estágio R9. A amostra foi seca a 60°C por 72 h, em seguida foi pesada e
20 dividida em parte vegetativa (folhas e colmos) e panículas. As panículas foram trilhadas
21 manualmente e as espiguetas obtidas foram passadas em soprador mecânico para a
22 separação das espiguetas com grãos (espiguetas “cheias”) e espiguetas estéreis (sem
23 grãos). Em seguida, as amostras de espiguetas com grãos e estéreis foram pesadas
24 separadamente. A porcentagem de esterilidade foi estimada a partir do peso médio de 100
25 espiguetas estéreis e 100 espiguetas com grãos, em relação à amostra total das espiguetas.

1 *Índice de colheita (IC)*

2 Determinou-se de acordo com HUANG et al. (2018), onde a amostra colhida no
3 estádio R9 para a determinação da biomassa seca da parte aérea foi utilizada. O índice de
4 colheita (IC) foi calculado pela divisão da massa de espiguetas com grãos pela massa da
5 biomassa total da parte área.

6 *Produtividade de grãos*

7 A produtividade de grãos foi estimada através da colheita manual das plantas em
8 5,35 m², quando os grãos apresentavam umidade média de 180 g kg⁻¹. Posteriormente, o
9 material colhido foi trilhado, limpo e seco em estufa a 60°C por 5 a 7 dias para obtenção
10 de seu peso seco. A produtividade foi expressa, a 130 g kg⁻¹ de umidade, em t ha⁻¹.

11

12 **Análise estatística**

13 A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov–Smirnov. Os
14 dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando obtidas
15 diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 1% ou 5%
16 de significância. Para a realização das análises estatísticas, foi utilizado o software
17 estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2014). Em seguida, as variáveis de cada safra foram
18 correlacionadas utilizando a correlação linear de Pearson, sendo as análises realizadas
19 com o auxílio do software Sigmaplot 11.0. (SystatSoftware Inc.).

20 **Condições meteorológicas dos períodos experimentais em cada safra**

21 Os dados de precipitação (mm) e temperaturas máxima, mínima e média (°C) e,
22 radiação solar (MJ m⁻²) das duas safras foram obtidos a partir da estação do meteorológica
23 automática da EEA/IRGA, localizada em Cachoeirinha (RS).

24 Na safra 2015/16, ocorreu um excesso de chuvas durante o florescimento, que
25 associado à baixa radiação solar pode ter prejudicado o desenvolvimento da cultura

1 (Figura 1A e 1C). As condições desfavoráveis desta safra, refletiram em queda de
2 produtividade para o arroz irrigado (CONAB, 2016).

3 Na safra 2016/17, as condições meteorológicas em todo o desenvolvimento do
4 arroz favoreceram o aumento da produtividade, com precipitações regulares durante o
5 florescimento e alta radiação solar (Figura 1B e 1D). A cultura do arroz desenvolve-se
6 bem quando as temperaturas aumentam com o avanço do desenvolvimento da cultura,
7 fator que pode ter influenciado positivamente a produtividade de grãos.

8

9 **RESULTADOS**

10 A variável número de dias da emergência ao florescimento (Tabela 2) não
11 apresentou diferença estatística significativa entre os genótipos na safra 2015/16. Na safra
12 2016/17, houve diferença significativa entre os genótipos e o florescimento variou de
13 aproximadamente 88 a 100 dias após a emergência (DAE), para os genótipos IRGA 4720
14 e IRGA 424, respectivamente.

15 Os comprimentos de folha bandeira e de panícula diferiram significativamente
16 entre os genótipos nos estádios avaliados (Figura 2A). O comprimento de panícula foi
17 superior e estatisticamente igual entre as quatro cultivares utilizadas, enquanto que a
18 linhagem IRGA 4720, apresentou menor tamanho da panícula. No florescimento (R4),
19 destacou-se a cv. BR-IRGA 409 com o maior comprimento de folha bandeira, alcançando
20 33,9 cm. Na maturação (R9), todos os genótipos apresentaram valores similares, com
21 exceção da linhagem IRGA 4720, que apresentou os menores comprimentos da folha
22 bandeira e de panícula.

23 Houve diferença estatística significativa entre os genótipos para a estatura de
24 plantas nos estádios R4 (florescimento) e R9 (maturação) (Figura 2B). As cvs. BR-IRGA
25 409 e QM 1010 CL apresentaram as maiores estaturas, as cvs. IRGA 424 RI e IRGA 424

1 foram as que tiveram estatura intermediária e a linhagem IRGA 4720 foi a menor. A
2 estatura máxima foi observada durante o florescimento, onde as cvs. BR-IRGA 409 e QM
3 1010 CL apresentaram 100,61 cm e 99,05 cm, respectivamente, enquanto que a menor
4 estatura foi identificada na linhagem IRGA 4720, com 80,50 cm.

5 Para a variável diâmetro do colmo destacou-se o genótipo IRGA 4720, que
6 apresentou o colmo mais espesso, com 6,6 mm (Tabela 3), o qual não diferiu das médias
7 dos genótipos BR-IRGA 409, IRGA 424 e QM 1010 CL. Em contrapartida, o menor
8 diâmetro foi observado na cv. IRGA 424 RI (4,9 mm), diferindo significativamente
9 somente da linhagem IRGA 4720. A biomassa seca da raiz apresentou diferença
10 estatística entre os genótipos, com a maior biomassa apresentada pela cv. IRGA 424 RI
11 (6,9 kg m⁻³) e as menores pelos genótipos IRGA 4720 (3,7 kg m⁻³) e QM 1010 CL (3,9
12 kg m⁻³) (Tabela 3).

13 Na safra 2015/16, a biomassa da parte aérea foi avaliada somente no estágio de
14 maturação e não apresentou diferença estatística significativa entre os genótipos. Na safra
15 seguinte, a biomassa seca da parte aérea foi avaliada em diferentes estádios do
16 desenvolvimento (Tabela 4). No entanto, somente nos estádios V7, R1 e R9 foi observada
17 diferença significativa entre os genótipos. Em V7 e em R1, o QM 1010 CL apresentou a
18 maior biomassa, em comparação com a linhagem IRGA 4720 que teve menor biomassa
19 nesses estádios. Na maturação (R9), a cv. IRGA 424 apresentou a maior biomassa seca
20 da parte aérea (27,3 t ha⁻¹), sendo estatisticamente superior a BR-IRGA 409 e IRGA 4720.
21 A cv. BR-IRGA 409 produziu cerca de 10,0 t ha⁻¹ a menos do que a cv. IRGA 424 neste
22 estágio de desenvolvimento.

23 Na safra 2015/16, para o componente panículas por m², o genótipo IRGA 424 RI
24 foi superior aos demais, enquanto que os genótipos BR-IRGA 409 e IRGA 4720
25 apresentaram os menores valores (Tabela 5). Para as variáveis número de grãos por

1 panícula e esterilidade de espiguetas não houve diferença estatística significativa entre os
2 genótipos. Para o PMG, a cv. híbrida QM 1010 CL diferenciou-se estatisticamente dos
3 demais, com o maior valor (28,1 g), enquanto o menor PMG foi encontrado na cv. IRGA
4 424 RI (23,0 g). Para o IC, o genótipo QM 1010 CL foi estatisticamente superior aos
5 demais, enquanto que os genótipos IRGA 4720 e IRGA 424 RI apresentaram valores
6 intermediários. Por outro lado, a cv. BR-IRGA 409 apresentou o menor IC, o que refletiu
7 na menor produtividade de grãos. Ressalta-se que as cvs. QM 1010 CL e IRGA 424 RI,
8 que obtiveram os maiores IC, foram também as mais produtivas, com 11,0 e 10,5 t ha⁻¹,
9 respectivamente.

10 Na safra 2016/17, os genótipos não diferiram para panículas por m² e PMG. Já o
11 número de grãos por panícula diferiu significativamente entre os genótipos, sendo que a
12 cv. híbrida QM 1010 CL apresentou o maior número de grãos por panícula, bem como a
13 maior esterilidade das espiguetas. A cv. BR-IRGA 409 apresentou o menor IC e a menor
14 produtividade de grãos, sendo estatisticamente inferior aos demais. A linhagem IRGA
15 4720, por sua vez, apresentou elevado IC, mas a sua produtividade foi cerca de 19,6%
16 menor do que o genótipo mais produtivo. Em relação a produtividade de grãos, os
17 genótipos que se destacaram com os maiores valores foram QM 1010 CL, IRGA 424 e
18 IRGA 424 RI. O genótipo IRGA 424 foi utilizado apenas na safra 2016/17 e mostrou
19 produtividade de grãos de 10,5 t ha⁻¹, sendo o segundo mais produtivo, juntamente com
20 sua cultivar essencialmente derivada, IRGA 424 RI.

21 Vale destacar que os genótipos mais produtivos foram também os mais estáveis
22 em termos de produtividade de grãos, sendo que a cv. híbrida QM 1010 CL apresentou
23 aumento de apenas 200 kg ha⁻¹ da primeira para a segunda safra e as cvs. IRGA 424 e
24 IRGA 424 RI, apresentaram a mesma produtividade em ambas as safras.

1 Dentre as características avaliadas na safra 2015/16, a biomassa da parte aérea na
2 maturação e o IC apresentaram correlação significativa com a produtividade de grãos,
3 com valores de R iguais a 0,81 e 0,80, respectivamente (Tabela 6). Para a safra 2016/17,
4 a biomassa da parte área na maturação, o comprimento da folha bandeira no florescimento
5 e o IC apresentaram correlação significativa positiva com a produtividade de grãos, com
6 valores de R iguais a 0,51, 0,47 e 0,48, respectivamente (Tabela 7).

7 O IC apresentou correlação significativa com a biomassa ($R=0,45$), com o
8 comprimento da folha bandeira ($R=0,54$) e da panícula ($R=0,55$), sendo todas essas
9 variáveis avaliadas na maturação, na safra 2016/17. Isso sugere que o IC é influenciado
10 positivamente com o aumento dessas características. Já a porcentagem de esterilidade das
11 espiguetas correlacionou-se positivamente com o número de grãos panícula⁻¹ ($R=0,67$),
12 indicando que, a medida que se aumenta o número de grãos por panícula, a esterilidade
13 de espiguetas tende a aumentar.

14 As variáveis comprimento da folha bandeira e o comprimento da panícula
15 apresentaram correlação negativa significativa com o diâmetro do colmo com valores de
16 R iguais a -0,61 e -0,57, respectivamente. As mesmas variáveis de comprimento
17 correlacionaram-se positivamente com a estatura de plantas mensurada até o ápice da
18 folha bandeira. Assim, no presente estudo, genótipos de maior porte apresentam folhas
19 bandeiras mais longas e panículas maiores, porém colmos ligeiramente mais finos.

20

21 **DISCUSSÃO**

22 Na safra 2016/17, o estado do RS teve produtividade média para o arroz irrigado
23 de 7,9 t ha⁻¹. No presente estudo, a produtividade dos genótipos variou de
24 aproximadamente 6,7 a 11,0 t ha⁻¹ na safra 2015/16 e, de aproximadamente 8,0 a 11,2 t
25 ha⁻¹, na safra 2016/17. A menor produtividade de grãos foi exibida pela cv. BR-IRGA

1 409 e a maior para a cv. híbrida QM 1010 CL, em ambas as safras. Apenas a cv. BR-
2 IRGA 409 apresentou produtividade inferior à média do estado, com 6,7 t ha⁻¹ na safra
3 2015/16.

4 Em ambas as safras avaliadas, o híbrido QM 1010 CL apresentou produtividade
5 de grãos em torno de 11,0 t ha⁻¹. De modo geral, a cv. híbrida apresentou maior
6 produtividade de grãos, maior PMG e elevado IC. No entanto, teve maior porcentagem
7 de espiguetas estéreis, o que pode ser reflexo do alto número de grãos por panícula, que
8 é característico das cvs. híbridas. Segundo YOSHIDA (1981), a porcentagem de grãos
9 cheios diminui quando o número de espiguetas por área aumenta, portanto, deve haver
10 um número de espiguetas ou de panículas apropriado por área, a fim de se alcançar
11 produtividade máxima, sugerindo que a alta porcentagem de esterilidade de espiguetas da
12 cv. híbrida é consequência do elevado número de panículas por área e do maior número
13 de grãos panícula⁻¹.

14 No entanto, mesmo com o elevado número de panículas por área apresentado
15 pelas cvs. IRGA 424 e IRGA 424 RI, estas não apresentaram alta esterilidade de
16 espiguetas, o que deve ser reflexo do seu menor número de grãos panícula⁻¹, que
17 compensa este outro componente de produção de grãos. O número de panículas por área
18 é geralmente o componente de produção mais variável (FAGERIA et al., 1997),
19 sugerindo maior plasticidade tanto da cv. híbrida quanto das cvs. linhas puras IRGA 424
20 e IRGA 424 RI para sustentar alta produtividade de grãos.

21 Mais recentemente, HUANG et al. (2018) também confirmaram uma alta
22 porcentagem de espiguetas estéreis em cvs. híbridas avaliadas em duas safras. Os autores
23 atribuem essa alta esterilidade ao investimento em um maior número de grãos panícula⁻¹.
24 FAGERIA (2013) discute que a maior produtividade de grãos segue geralmente a ordem
25 número de panículas m⁻², porcentagem de esterilidade de espiguetas e PMG, para

1 genótipos modernos de arroz altamente produtivos. Para a primeira safra, o PMG foi
2 determinante para a produtividade de grãos da cv. QM 1010 CL.

3 Em contrapartida, a menor produtividade e o menor IC foram observados para a
4 cv. BR-IRGA 409 em ambas as safras, apresentando 6,7 e 8,0 t ha⁻¹ e 0,22 e 0,28,
5 respectivamente. Apesar desta cultivar ser classificada como moderna, devido à sua
6 arquitetura e produtividade, o IC apresentado nas condições de Cachoeirinha (RS) está
7 mais próximo daquele obtido para cultivares tradicionais, que é em torno de 0,3, enquanto
8 as cultivares modernas apresentam IC em torno de 0,5 (FAGERIA et al., 2006). O IC é
9 resultado da eficiência da partição de biomassa total produzida (rendimento biológico)
10 para a produção de grãos, ou seja, este índice determina a eficiência de alocação dos
11 fotoassimilados da planta para os grãos de arroz. De acordo com KINIRY et al. (2001), o
12 IC varia entre cultivares e safras, podendo oscilar de 0,35 a 0,62. No presente estudo,
13 observou-se variação de 0,22 a 0,53, na primeira safra e, 0,28 a 0,52, na segunda safra.
14 Cabe ressaltar que o IC é uma das variáveis alvo dos melhoristas, que buscam aumentar
15 esse índice sem alterar a biomassa total da parte aérea. Sendo assim, evidencia-se que a
16 cv. BR-IRGA 409 possui menor eficiência na translocação de fotoassimilados aos grãos,
17 o que explica a sua produtividade inferior em relação aos demais genótipos.

18 A linhagem IRGA 4720 apresentou a segunda menor produtividade em ambas as
19 safras, com 8,2 e 9,0 t ha⁻¹. Esta produtividade intermediária foi consequência do seu
20 potencial limitado em produzir panículas m⁻², principalmente na primeira safra.
21 Visualmente, observou-se que a linhagem IRGA 4720 apresentava baixo perfilhamento
22 e baixo fechamento do dossel. A produtividade obtida pela linhagem IRGA 4720 está
23 dentro do esperado para o município de Cachoeirinha (RS), pois, na safra 2015/16,
24 WALDOW et al. (2017) encontraram produtividades variando de 7,5 a 8,5 t ha⁻¹.

1 A cv. IRGA 424 RI apresentou produtividade estável de 10,5 t ha⁻¹ nas duas safras.
2 Este bom desempenho foi consequência do número de panículas m⁻², superando 600
3 panículas m⁻², associado a um bom número de grãos panícula⁻¹, além de estável
4 esterilidade de espiguetas e elevado IC. A associação equilibrada destas características
5 provou ser um dos requisitos chaves desta cultivar para alcançar elevada produtividade e
6 estabilidade, visto que houve pouquíssima variação entre os parâmetros avaliados nas
7 duas safras. A cv. IRGA 424, que originou a cv. IRGA 424 RI, apresentou comportamento
8 semelhante à sua descendente. Apesar de ter sido avaliada em apenas uma safra, a cv.
9 IRGA 424 apresentou exatamente a mesma produtividade de grãos que a IRGA 424 RI.

10 Quando se compara a produtividade de grãos do híbrido QM 1010 CL e das cvs.
11 IRGA 424 RI e IRGA 424, há apenas uma variação de cerca de 500 kg ha⁻¹. De acordo
12 com KHUSH (2013), esta é a principal razão da falta de sucesso da utilização de híbridos
13 em larga escala em alguns locais da Ásia, pois possuem reduzida vantagem frente a
14 produtividade de grãos de cvs. linhas puras modernas, situação idêntica no RS.

15 Devido à estagnação da produtividade de arroz nas últimas décadas, diversas
16 características morfológicas vêm ganhando destaque, pois influenciam indiretamente a
17 produtividade de grãos (KHUSH, 1995; 2013). O conhecimento de como estas
18 características atuam é de grande importância, já que determinam a capacidade de
19 adaptação dos genótipos aos sistemas de cultivo, seu IC e produtividade (BORÉM et al.,
20 2015). Por isso, a arquitetura de planta tem sido uma característica alvo de programas de
21 melhoramento genético ao redor do mundo.

22 KHUSH (1995) considera que cvs. de arroz com estatura de 90 a 100 cm são
23 consideradas ideais para alcançar elevadas produtividades. Atualmente, as cvs.
24 desenvolvidas no Brasil apresentam estatura média de 95 cm (BRESEGHELLO et al.,
25 2011). A cv. BR-IRGA 409 foi a primeira cv. do tipo moderna a ser lançada, que

1 combinava porte baixo e alto potencial produtivo (SOSBAI, 2016). Contudo, quando
2 comparada aos outros genótipos testados neste ensaio, a cv. BR-IRGA 409 apresentou a
3 maior estatura dentre as cvs. linhas puras.

4 FAGERIA (2007) sugere que plantas extremamente baixas não favorecem altas
5 produtividades de grãos, como demonstrado pela linhagem IRGA 4720, que apresentou
6 estatura variando de 80,5 a 84,7 cm na maturação. Sua baixa estatura, também
7 evidenciada por outros autores no mesmo local (WALDOW et al., 2017), impactou em
8 menor tamanho de panícula e de folha bandeira, reduzindo, assim, o seu potencial
9 produtivo.

10 O comprimento da panícula é uma característica importante que contribui para a
11 produtividade de grãos, apesar de ter recebido relativamente pouca atenção em programas
12 de melhoramento (LIU et al., 2016). Pesquisas demonstraram que o aumento em 41% no
13 comprimento da panícula resultou em acréscimo em produtividade de cerca de 13%,
14 assim como 10,9% a mais no número de grãos cheios panícula⁻¹ e 1% no PMG (LIU et
15 al., 2016). Diversos autores têm relatado que, quanto maior o comprimento da panícula,
16 maiores são os ganhos na produtividade (RANAWAKE et al., 2013; LIU et al., 2016). A
17 linhagem IRGA 4720 apresentou o menor comprimento de panícula, tendo, em média, 10
18 cm a menos do que os demais genótipos. Esta característica, associada à menor
19 quantidade de panículas m⁻², refletiu em menor produtividade de grãos quando comparada
20 aos genótipos mais produtivos.

21 Em diversas culturas agrícolas, a incorporação da característica “*staygreen*” ou
22 lenta senescência da folha bandeira tem sido uma das realizações do melhoramento
23 genético. Em alguns genótipos com lenta senescência, a degradação da enzima Rubisco
24 é mais lenta, o que resulta em uma longa duração da fotossíntese no dossel, sustentando
25 altas produtividades (KHUSH, 1995; 2013). Identificou-se uma redução no comprimento

1 da folha bandeira de arroz do estágio R4 ao R9, que pode ser explicada pelo início da
2 senescência das cultivares. Uma redução menos pronunciada foi verificada no híbrido
3 QM 1010 CL e maior no genótipo BR-IRGA 409.

4 O diâmetro do colmo é uma característica que está diretamente ligada à
5 capacidade de tolerância ao acamamento em plantas de arroz. Sendo assim, genótipos
6 com colmos mais robustos toleram maiores doses de fertilizantes nitrogenados, sem os
7 prejuízos causados devido ao acamamento (KHUSH, 1995). A linhagem IRGA 4720
8 apresentou o maior diâmetro de colmo (6,5 mm), enquanto que a cv. IRGA 424 RI
9 apresentou o menor diâmetro (4,9 mm). O aumento da espessura do colmo também tem
10 sido associado ao aumento do número de feixes vasculares, que fornece um sistema de
11 transporte de fotoassimilados para os grãos de modo mais eficiente (KHUSH, 1995).

12 Apesar da cv. IRGA 424 RI ter apresentado o menor diâmetro do colmo, este
13 genótipo foi o que apresentou maior biomassa seca de raiz m^{-3} , o que sugere um sistema
14 radicular mais robusto. JU et al. (2015) sugerem que um maior sistema radicular contribui
15 para maior absorção de N do solo e, conseqüentemente, para maior eficiência de absorção
16 de N e maior produtividade de grãos.

17 A associação de características morfofisiológicas, determinada pelo coeficiente de
18 correlação (R), permite a avaliação da influência relativa de vários caracteres na
19 produtividade de grãos (THIPPANI et al., 2017). Sabe-se que características como IC e
20 biomassa da parte aérea apresentam alta correlação positiva com a produtividade de grãos
21 em arroz (RANAWAKE et al., 2013; THIPPANI et al., 2017; HUANG et al., 2018), o
22 que corrobora com os dados de ambas as safras obtidos no presente estudo.

23 Os genótipos modernos de arroz com alto potencial produtivo produzem em
24 média, de 18,0 a 19,0 $t ha^{-1}$ de biomassa na maturação e, apresentam IC de 0,45 a 0,50.
25 No entanto, cvs. que produzem cerca de 22,0 $t ha^{-1}$ de biomassa e IC superior a 0,50

1 possuem potencial produtivo superior a 12,0 t ha⁻¹ de grãos (SHARMA et al., 2013).
2 Neste trabalho, a cv. BR-IRGA 409 foi a única que apresentou produção de biomassa
3 total inferior a 22,0 t ha⁻¹ e baixo IC, o que se refletiu na sua menor produtividade.

4 A correlação linear das características da safra 2015/16 permitiu observar que a
5 porcentagem de esterilidade das espiguetas aumenta com o PMG (R=0,65) e, que o IC
6 sofreu influência positiva pelo aumento do número de grãos panícula⁻¹ (R=0,65). Apesar
7 de não terem sido observadas correlação com a produtividade de grãos, sugere-se que
8 existe um mecanismo compensatório entre panículas m⁻², grãos panícula⁻¹, PMG e
9 esterilidade das espiguetas, os quais são parte da expressão do potencial produtivo de
10 grãos em genótipos de arroz irrigado.

11 Na safra 2016/17, foram correlacionadas 16 características morfofisiológicas com
12 a produtividade de grãos. Observou-se que a produtividade apresentou correlação com o
13 comprimento da folha bandeira (R=0,47), avaliado no florescimento. SHARMA et al.
14 (2013) afirmam que 80% dos carboidratos acumulados nos grãos são produzidos pela
15 folha bandeira e pela folha imediatamente anterior a esta, além de atribuir um
16 comprimento de 50 cm como o ideal para a folha bandeira. Isto justifica a importância
17 deste atributo na contribuição para a produtividade de grãos. Similarmente, o IC também
18 apresentou correlação positiva com o comprimento da folha bandeira na maturação
19 (R=0,54) e com o comprimento da panícula (R=0,55), confirmando que tais
20 características são parte fundamental para a partição de fotoassimilados entre fonte e
21 dreno na planta.

22 O comportamento dos genótipos estudados permite apontar outras características
23 importantes para obtenção de elevada produtividade de grãos. Assim, pela comparação
24 dos genótipos que demonstraram maior produtividade (QM 1010 CL, IRGA 424 e IRGA
25 424 RI) com os de menor (BR-IRGA 409 e IRGA 4720), observa-se que é fundamental

1 uma estatura adequada de planta, capaz de fornecer a biomassa mínima necessária para a
2 produção de fotoassimilados. Aliado a estatura, um número mínimo de panículas por área
3 e tamanho adequado de panícula são fundamentais para assegurar suficiente tamanho de
4 dreno e, conseqüentemente, alto IC e produtividade de grãos, tal como demonstrado por
5 THIPPANI et al. (2017).

6

7 **CONCLUSÃO**

8 Para os genótipos utilizados, a alta produtividade de grãos foi resultado de
9 diversas características morfofisiológicas atuando em conjunto, sendo a biomassa da
10 parte aérea, o IC e os comprimentos de folha bandeira e de panícula as variáveis mais
11 importantes. A estabilidade dos genótipos mais produtivos ocorreu devido a plasticidade
12 dos componentes de produção entre as safras.

13

14 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 15 BORÉM, A.; RANGEL, P.H.N. **Arroz: do plantio a colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015.
- 16 BRESEGHELLO, F. et al. Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil. **Crop**
17 **Sci.**, v.51, p.914-923, 2011. Disponível em:
18 <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/51/3/914>>. Acesso em: Sep. 15,
19 2017. doi: 10.2135/cropsci2010.06.0325.
- 20 CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra**
21 **brasileira 2015/2016 – grãos**. Safra 2015/16, v. 3, n. 12, décimo segundo levantamento,
22 Setembro 2016. Disponível em: <
23 [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_1](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_1_2_setembro.pdf)
24 [2_setembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_1_2_setembro.pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2018.

- 1 CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra**
2 **brasileira 2016/17 – grãos.** Safra 2016/17, v. 4, n. 12, décimo segundo levantamento,
3 Setembro 2017. Disponível em: >
4 [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_12_10_14_36_boletim_gr](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_12_10_14_36_boletim_graos_setembro_2017.pdf)
5 [aos_setembro_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_12_10_14_36_boletim_graos_setembro_2017.pdf)<. Acesso em: 15 jan. 2018.
- 6 FAGERIA, N.K.; DOS SANTOS, A.B. Lowland rice growth and development and
7 nutrient uptake during growth cycle. **J. Plant Nutr.**, v.36, n.2, p.1841-1852, 2013.
8 Disponível em: <www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2013.816727>.
9 Acesso em: Fev. 10, 2018. doi: 10.1080/01904167.2013.816727
- 10 FAGERIA, N. K. et al. **Physiology of crop production.** CRC Press, 2006. 356p.
- 11 FAGERIA, N.K. Yield physiology of rice. **J. Plant Nutr.**, v.30, n.6, p.843-879, 2007.
12 Disponível em: <www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226510701374831>. Acesso
13 em: Dez. 10, 2017. doi: 10.1080/15226510701374831.
- 14 FAGERIA, N.K. et al. **Growth and mineral nutrition of field crops**, 2nd edition. New
15 York: Marcel Dekker, Inc, 1997.
- 16 FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons.
17 **Ciênc. Agrotec.**, v.38, n.2, p.109-112, 2014. Disponível em:
18 <www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542014000200001&script=sci_arttext>.
19 Acesso em: Jan. 10, 2018. doi: 10.1590/S1413-70542014000200001.
- 20 FOLEY, J.A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v,478, p.337-342, 2011.
21 Disponível em: <www.nature.com/articles/nature10452>. Acesso em: Dez. 20, 2017. doi:
22 10.1038/nature10452.
- 23 HUANG, L. et al. Different mechanisms underlying the yield advantage of ordinary
24 hybrid and super hybrid rice over inbred rice under low and moderate N input conditions.
25 **Field Crops Res.**, v.216, p.150-157, 2018. Disponível em:

- 1 <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429017312650>. Acesso em: May.
2 10, 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2017.11.019.
- 3 JU, C. et al. Root and shoot traits for rice varieties with higher grain yield and higher
4 nitrogen use efficiency at lower nitrogen rates application. **Field Crops Res.**, v.175, p.47-
5 55, 2015. Disponível em:
6 <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429015000490>. Acesso em: Fev. 15,
7 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2015.02.007.
- 8 KINIRY, J.R. et al. Rice parameters describing crop performance of four rice cultivars.
9 **Agron. J.**, v.93, p.1354-1361, 2001. Disponível em:
10 <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/93/6/1354>>. Acesso em: Mar.
11 22, 2018. doi: 10.2134/agronj2001.1354.
- 12 KHUSH, G.S. Breaking the yield frontier of rice. **GeoJ. Lib.**, v.35, n.3, p.329-332, 1995.
13 Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00989140>>. Acesso em: Jan.
14 25, 2018. doi: 10.1007/BF00989140.
- 15 KHUSH, G.S. Strategies for increasing the yield potential of cereals: case of rice as an
16 example. **Plant Breeding**, v.132, p.433-436, 2013. Disponível em:
17 <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/pbr.1991>>. Acesso em: Jan. 25, 2018,
18 doi: 10.1111/pbr.1991.
- 19 LIU, E. et al. Identifications of a candidate gene for panicle length in rice (*Oryza sativa*
20 L.) via association and linkage analysis. **Front. Plant Sci.**, v.7, n.596, 2016. Disponível
21 em: <www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00596>. Acesso em: Abr. 1, 2018.
22 doi: 10.3389/fpls.2016.00596.
- 23 PATEL, D. P. et al. Evaluation of yield and physiological attributes of high-yielding rice
24 varieties under aerobic and flood-irrigated management practices in mid-hills ecosystem.
25 **Agr. Water Manage.**, v.97, n.9, p.1269-1276, 2010. Disponível em:

- 1 <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377410000818>. Acesso em: Set. 7,
2 2018. doi: 10.1016/j.agwat.2010.02.018.
- 3 RANAWAKE, A.L. et al. Agronomic characters of some traditional rice (*Oryza sativa*
4 L.) cultivars in Sri Lanka. **J. Univ. Ruhuna**, v.1, n.1, p.3-9, 2013. Disponível em:
5 <<https://jur.sljol.info/articles/abstract/10.4038/jur.v1i1.6150/>>. Acesso em: Jan. 18,
6 2018. doi: 10.4038/jur.v1i1.6150.
- 7 SHARMA, D. et al. Tailoring rice plants for sustainable yield through ideotype breeding
8 and physiological interventions. **Afr. J. Agr. Res.**, v.8, n.40, p.5004-5019, 17, 2013.
9 Disponível em: <[www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-](http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/B277CAE41153)
10 [abstract/B277CAE41153](http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/B277CAE41153)>. Acesso em: Abr. 24, 2018. doi: 0.5897/AJAR2013.7499.
- 11 SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: Recomendações**
12 **Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves, RS, 2016. 200p.
- 13 THIPPANI, S. et al. Correlation Analysis for Yield and Yield Components in Rice (*Oryza*
14 *sativa* L.). **Int. J. Pure App. Biosci.**, v.5, n.4, p.1412-1415, 2017. Disponível em:
15 <[www.ijpab.com/form/2017%20Volume%205,%20issue%204/IJPAB-2017-5-4-1412-](http://www.ijpab.com/form/2017%20Volume%205,%20issue%204/IJPAB-2017-5-4-1412-1415.pdf)
16 [1415.pdf](http://www.ijpab.com/form/2017%20Volume%205,%20issue%204/IJPAB-2017-5-4-1412-1415.pdf)>. Acesso em: Jan. 15, 2018. doi: 10.18782/2320-7051.5658.
- 17 WALDOW, D. A. G. et al. Ensaio de valor de cultivo e uso de linhagens de arroz irrigado
18 do programa de melhoramento genético do Instituto Rio Grandense do Arroz - safra
19 2015/16. In: X Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado, 2017, Gramado, RS. **Anais...**
20 Gramado: SOSBAI, 2017.
- 21 YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Loia Bãnos, Philippines: International
22 Rice Research Institute, 1981. 279p.
- 23 ZENG, D. et al. Rational design of high-yield and superior-quality rice. **Nat. Plants**, v.3,
24 p.17031, 2017. Disponível em: <www.nature.com/articles/nplants201731>. Acesso em:
25 Abr. 1, 2018. doi: 10.1038/nplants.2017.31.

- 1 Tabela 1. Características físicas e químicas do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20
2 cm antes da instalação do experimento nas safras 2015/16 e 2016/17, Cachoeirinha (RS).

Saфра 2015/16									
Profundidades ---cm---	Argila -----%	M.O. -----	pH H ₂ O	Índice SMP	P -- mg dm ⁻³ --	K	Al -----	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg -----
0-10	21	1,2	6,0	6,6	38,5	66	0	3,1	0,2
10-20	18	1,0	6,5	6,7	36,1	33	0	3,3	0,3
H + Al cmol _c dm ⁻³		CTC Efetiva		Saturação % pH 7			Relações Ca/Mg Ca/K Mg/K		
0-10	2,2	3,5	5,6	1,1	61,1	3,0	15,0	18,1	1,2
10-20	2,0	3,7	5,6	0,5	65,3	1,5	13,3	39,3	2,9
Saфра 2016/17									
Profundidades ---cm---	Argila -----%	M.O. -----	pH H ₂ O	Índice SMP	P --- mg dm ⁻³ -	K	Al -----	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg -----
0-10	18	1,6	4,9	6,2	15,9	61	0,6	1,2	0,1
10-20	13	1,3	4,9	6,4	6,7	23	0,4	1,7	0,1
H + Al cmol _c dm ⁻³		CTC Efetiva		Saturação % pH 7			Relações Ca/Mg Ca/K Mg/K		
0-10	3,5	2,1	5,0	28,7	30,1	3,1	12,3	8,0	0,6
10-20	2,8	2,3	4,6	17,6	40,5	1,3	18,1	28,8	1,6

3

- 4 Tabela 2. Número de dias da emergência ao florescimento nas safras 2015/16 e 2016/17
5 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS).

Dias para florescimento		
Genótipos	Saфра 2015/16	Saфра 2016/17
BR-IRGA 409	95,5 ^{ns}	95,5 abc ¹
IRGA 424	-	100,0 a
IRGA 424 RI	95,0	97,5 ab
IRGA 4720	89,3	88,3 c
QM 1010 CL	88,5	89,5 bc
CV (%) ²	3,68	4,09

- 15 ^{ns} – Efeito não significativo pelo teste F. ¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente
16 entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância. ²CV=coeficiente de variação.
17

- 1 Tabela 3. Diâmetro do colmo e biomassa seca da raiz no estágio R9 (maturação) na safra
2 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS).

Genótipos	Diâmetro do colmo (mm)	Biomassa seca da raiz (kg m⁻³)
BR-IRGA 409	5,4 ab ¹	4,9 ab
IRGA 424	5,3 ab	4,8 ab
IRGA 424 RI	4,9 b	6,9 a
IRGA 4720	6,6 a	3,7 b
QM 1010 CL	5,7 ab	3,9 b
CV (%) ²	11,03	23,20

- 3 ¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey, a
4 5% de significância. ²CV=coeficiente de variação.

5

- 6 Tabela 4. Biomassa seca da parte aérea em diferentes estádios de desenvolvimento, nas
7 safras 2015/16 e 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS).

Biomassa da parte aérea (t ha⁻¹)							
Genótipos	Safra 2015/16			Safra 2016/17			
	R9	V7	V9	R1	R2	R4	R9
BR-IRGA 409	20,3 ^{ns}	2,3 ab ¹	2,6 ^{ns}	4,6 ab	13,6 ^{ns}	16,0 ^{ns}	17,5 b
IRGA 424	-	2,1 ab	2,3	4,3 ab	14,3	16,4	27,3 a
IRGA 424 RI	25,2	2,2 ab	2,6	4,5 ab	14,8	17,8	23,4 ab
IRGA 4720	22,0	1,6 b	2,0	4,1 b	12,0	18,2	20,6 b
QM 1010 CL	25,9	2,6 a	2,7	5,0 a	16,1	17,3	23,4 ab
CV (%) ²	11,31	16,62	18,20	8,69	15,90	11,47	12,61

- 8 ^{ns} – não significativo pelo teste F. ¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna, em cada estágio de
9 desenvolvimento, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de
10 significância. ²CV=coeficiente de variação.

11

- 1 Tabela 5. Componentes de produção e produtividade de grãos nas safras 2015/16 e
2 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS).

Genótipos	Panículas m ⁻²	Grãos panícula ⁻¹	Esterilidade de espiguetas (%)	PMG (g)	IC	Produtividade de grãos (t ha ⁻¹)
Safra 2015/16						
BR-IRGA 409	490,4 b ¹	47,9 ^{ns}	10,2 ^{ns}	24,5 bc ²	0,22 b	6,7 b ²
IRGA 424 RI	719,1 a	68,9	8,2	23,0 c	0,47 ab	10,5 a
IRGA 4720	434,6 b	88,8	10,9	25,6 b	0,42 ab	8,2 b
QM 1010 CL	568,4 ab	76,5	12,5	28,1 a	0,53 a	11,0 a
CV (%) ³	15,01	26,22	20,57	2,93	32,79	10,83
Safra 2016/17						
BR-IRGA 409	693,7 ^{ns}	98,6 b	8,1 b	25,1 ^{ns}	0,28 b	8,0 b
IRGA 424	747,1	82,4 b	8,6 b	25,9	0,52 a	10,5 a
IRGA 424 RI	719,7	83,7 b	10,0 b	25,1	0,50 a	10,5 a
IRGA 4720	645,1	96,3 b	8,9 b	25,8	0,52 a	9,0 ab
QM 1010 CL	802,9	123,9 a	20,9 a	26,0	0,51 a	11,2 a
CV (%)	32,88	10,14	29,48	4,04	7,54	9,77

- 3 ^{ns} – não significativo pelo teste F. ¹Médias seguidas pela mesma letra, em cada ano não diferem
4 estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância; ²Médias seguidas pela
5 mesma letra, em cada ano, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey, a 1% de
6 significância; ³CV=coeficiente de variação. PMG: Peso de mil grãos; IC: Índice de colheita.
7

- 8 Tabela 6. Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas na safra
9 2015/16 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS).

	BMR9	FL	NP	GP	PMG	ESTER	IC	PG
BMR9	1	-0,29	0,43	0,40	0,31	0,04	0,88**	0,81**
FL		1	0,19	-0,36	-0,64**	-0,31	-0,40	-0,24
NP			1	-0,39	-0,34	-0,21	0,26	0,48
GP				1	0,31	-0,04	0,65**	0,40
PMG					1	0,65**	0,34	0,27
ESTER						1	0,06	-0,04
IC							1	0,80**
PG								1

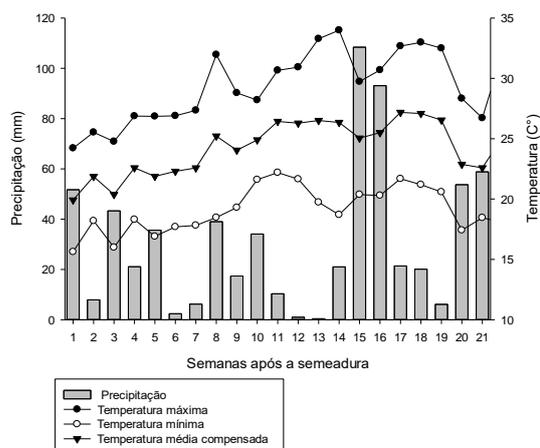
- 10 **, significativo a 1% de probabilidade; respectivamente; pelo teste F. Biomassa seca na maturação
11 (BMR9); dias até floração (FL); número de panículas m⁻² (NP); grãos panícula⁻¹ (GP); peso de mil grãos
12 (PMG); porcentagem de espiguetas estéreis (ESTER); índice de colheita (IC) e; produtividade de grãos
13 (PG).

1 Tabela 7. Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas na safra 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha
 2 (RS).

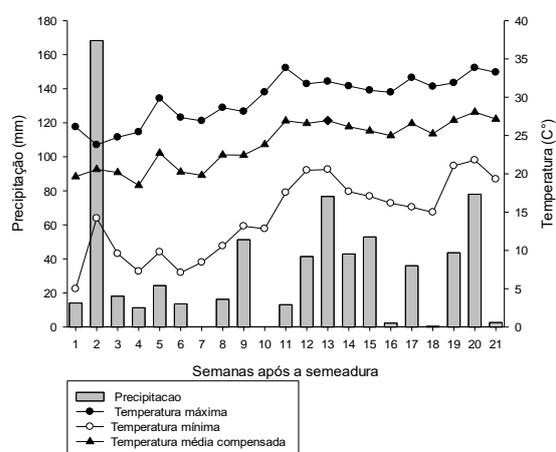
	BMR9	BSR	FL	DC	EFB4	EFB9	EP9	CFB4	CFB9	CP9	NP	GP	PMG	ESTER	IC	PG
BMR9	1	-0,03	0,01	-0,20	0,24	0,25	0,15	0,24	0,26	0,25	0,34	-0,14	0,38	-0,09	0,45*	0,51*
BSR		1	0,21	0,25	-0,27	-0,36	-0,31	-0,39	-0,38	0,36	0,29	-0,37	-0,14	-0,30	-0,12	-0,03
FL			1	0,49*	0,13	0,19	0,25	0,01	-0,05	-0,01	-0,10	-0,44	-0,09	-0,14	-0,04	-0,02
DC				1	-0,30	-0,29	0,15	-0,62**	-0,61**	-0,57**	-0,25	-0,36	0,02	-0,35	-0,27	-0,25
EFB4					1	0,94**	0,76**	0,69**	0,71**	0,69**	-0,10	-0,06	0,15	0,19	0,13	0,10
EFB9						1	0,83**	0,69**	0,76**	0,74**	-0,05	-0,06	0,03	0,19	0,17	0,14
EP9							1	0,30	0,31	0,28	-0,18	-0,03	0,12	0,11	-0,10	0,02
CFB4								1	0,85**	0,80**	0,01	0,03	0,06	0,4	0,42	0,47*
CFB9									1	0,98**	0,07	0,05	-0,09	0,26	0,54*	0,36
CP9										1	0,03	0,02	-0,11	0,22	0,55*	0,27
NP											1	0,25	-0,08	0,17	0,02	0,39
GP												1	0,04	0,67**	-0,02	0,22
PMG													1	0,05	0,16	0,10
ESTER														1	0,24	0,44
IC															1	0,48*
RG																1

3 **; * significativo a 1% e 5% de probabilidade; respectivamente; pelo teste F. Biomassa seca da parte aérea na maturação (BMR9); biomassa seca da raiz (BSR); dias até
 4 floração (FL); diâmetro do colmo (DC); estatura da planta na floração, medida até a folha bandeira (EFB4); estatura da planta na maturação, medida até a folha bandeira (EFB9);
 5 estatura da planta em na maturação, medida até o ápice da panícula (EP9); comprimento da folha bandeira na floração (CFB4); comprimento da folha bandeira na maturação
 6 (CFB9); comprimento da panícula na maturação (CP9); número de panículas m⁻² (NP); grãos panícula⁻¹ (GP); peso de mil grãos (PMG; porcentagem de espiguetas estéreis
 7 (ESTER); índice de colheita (IC); produtividade de grãos (PG).

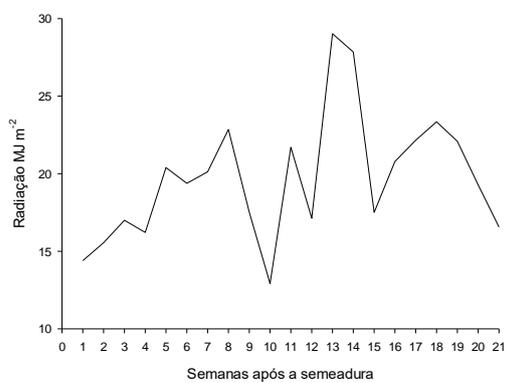
1



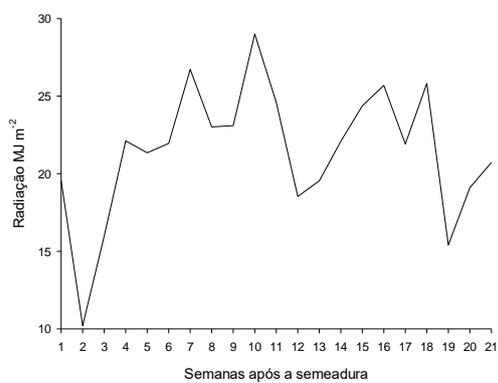
A



B



C

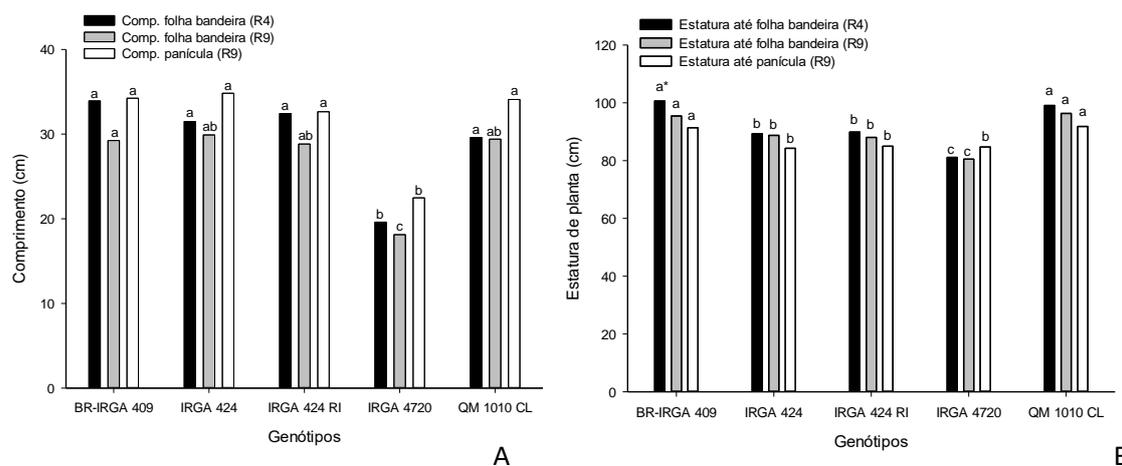


D

2 Figura 1. Precipitação pluvial acumulada por semana e temperaturas máxima, mínima e
 3 média nas safras A) 2015/16 e B) 2016/17; Radiação solar média por semana, nas safras C)
 4 2015/16 e D) 2016/17, durante o ciclo de desenvolvimento do arroz irrigado, Cachoeirinha
 5 (RS).

6

1



2 Figura 2. A) Comprimento de panícula no estágio R9 e de folha bandeira nos estádios R4
 3 (florescimento) e R9 (maturação) e; B) Estatura de planta nos estádios R4 (florescimento) e
 4 R9 (maturação), na safra 2016/17 em genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS). *Médias
 5 seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey, a 1% de significância. Letras minúsculas
 6 comparam genótipos dentro de cada variável. Estatura até folha bandeira: A estatura da planta foi mensurada nos estádios R4
 7 (florescimento) e R9 (maturação) medindo-se do solo até o ápice da folha bandeira. Estatura até panícula: A estatura da planta foi
 8 mensurada no estágio R9 (maturação) medindo-se do solo até o último grão da panícula.

9

4 ARTIGO 2

**Biomassa, clorofila e teor de nitrogênio utilizando metodologias destrutivas
e não destrutivas em genótipos de arroz irrigado¹**

¹ Artigo formatado conforme as normas do periódico *Ciência Rural*

1 **Biomassa, clorofila e teor de nitrogênio utilizando metodologias destrutivas e não**
2 **destrutivas em genótipos de arroz irrigado**

3 **Biomass, chlorophyll and nitrogen content using destructive and non-destructive**
4 **methodologies in flooded rice genotypes**

5
6 **Luiza Elena Ferrari^{1*}; Christian Bredemeier¹; Renata Pereira da Cruz¹; Gerarda**
7 **Beatriz Pinto da Silva¹**

8
9 **RESUMO**

10 A quantificação da biomassa, do teor de nitrogênio (N) e clorofila são avaliações
11 que demandam tempo e trabalho intensivo, sendo desejável dispor de ferramentas não-
12 destrutivas para a determinação das mesmas. Os objetivos deste trabalho foram relacionar
13 avaliações de biomassa, clorofila e teor de N, utilizando metodologias destrutivas e não
14 destrutivas, em genótipos de arroz irrigado. O Índice de Vegetação por Diferença
15 Normalizada (NDVI) correlacionou-se à biomassa no período vegetativo, enquanto que
16 a produtividade de grãos apresentou correlação quando esta ferramenta foi utilizada no
17 início do período reprodutivo. O *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) foi eficiente
18 em detectar alterações no N acumulado no florescimento (R4) e maturação (R9). A
19 correlação do SPAD com as clorofilas a, b e total somente foi observada no período de
20 maturação e senescência. Portanto, quando utilizadas em estádios específicos de
21 desenvolvimento, ambas as ferramentas se mostram eficientes e úteis para avaliar
22 indiretamente biomassa, produtividade, teor de N e clorofila em arroz irrigado.

23 **Palavras-chave:** *Oryza sativa* L; GreenSeeker[®]; SPAD;

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Agronomia, Av. Bento Gonçalves, 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. *E-mail: ferrari.luizaelena@gmail.com. Autor para correspondência.

1 **ABSTRACT**

2 The quantification of biomass, nitrogen content (N) and chlorophyll content are
3 assessments that require time and are labour intensive, therefore is desirable to have non-
4 destructive tools to evaluate them. The aim of this work was to evaluate biomass,
5 chlorophyll and N content, with destructive and non-destructive methodologies, in
6 flooded rice genotypes. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) correlated
7 with biomass in the vegetative period of the rice crop, while grain yield correlated when
8 this tool was used at the beginning of the reproductive period. Soil Plant Analysis
9 Development (SPAD) was efficient detecting changes in N accumulated at flowering
10 (R4) and maturation (R9). The correlation of SPAD with chlorophyll a, b and total was
11 observed only during the maturation and senescence period. Therefore, when used at
12 specific stages of rice development, both tools are efficient and useful to indirectly
13 evaluate biomass, yield, N content and chlorophyll in flooded rice.

14 **Key-words:** *Oryza sativa* L; GreenSeeker®; SPAD;

15

16 **INTRODUÇÃO**

17 Informações sobre a biomassa da parte aérea de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.)
18 são indicadores importantes da população de plantas, estágio de desenvolvimento e
19 potencial produtivo, as quais auxiliam na caracterização de genótipos de interesse nos
20 programas de melhoramento. Os métodos de fenotipagens tradicionais são baseados na
21 tomada de amostras físicas das áreas, uma abordagem que leva tempo, trabalho intensivo
22 e resulta na destruição de partes da cultura (ZHOU & YIN, 2017).

23 Atualmente, estão disponíveis metodologias não destrutivas, que fornecem
24 medidas indiretas, através de ferramentas digitais portáteis, evitando, o viés da
25 amostragem e o trabalho posterior à coleta (GNYP et al., 2014). Estas ferramentas para

1 fenotipagem têm sido empregadas para determinar, indiretamente, o status de nitrogênio
2 (N), clorofila e a biomassa do dossel vegetal. As mais utilizadas nas duas últimas décadas
3 são o clorofilômetro SPAD - *Soil Plant Analysis Development* (Minolta crop, Ramsey,
4 NJ) e o GreenSeeker[®] (Trimble Navigation Ltd. Sunnyvale, CA, EUA) (YAMAMOTO
5 et al., 2017; CAO et al., 2016; YAO et al., 2012).

6 O teor de clorofila possui um papel fundamental no diagnóstico do crescimento e
7 estado nutricional da planta (LIU et al., 2017). Por muito tempo, a determinação de
8 clorofila e N presentes na folha foi realizada de modo direto, por meio de coletas de tecido
9 vegetal. Com posterior análise e utilização de metodologias que demandam a existência
10 de laboratórios com infraestrutura específica, além de aparelhos e reagentes onerosos.

11 O funcionamento do clorofilômetro SPAD é baseado na absorvância de radiação
12 pelas folhas nas regiões do vermelho (650 nm) e do infravermelho próximo (940 nm). As
13 suas leituras possuem uma relação indireta com as concentrações de N e de clorofila na
14 folha (LIU et al., 2017; YUAN et al., 2016b). Por isso, ele tem sido usado como uma
15 ferramenta suplementar no manejo nutricional de arroz (ZHOU & YIN, 2017; ZHANG
16 et al., 2017; POCOJESKI et al., 2015). O GreenSeeker[®], por sua vez, fornece o Índice de
17 Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o qual é baseado na radiação vermelha
18 visível (660 nm) e no infravermelho próximo (780 nm) refletidos a partir do dossel. No
19 arroz, pode ser utilizado, por exemplo, para estimar a quantidade de biomassa em
20 diferentes estádios de desenvolvimento, característica fortemente relacionada ao
21 potencial produtivo (KANKE et al., 2016; CAO et al., 2016). Sensores portáteis de NDVI,
22 como o GreenSeeker[®], permitem rápida avaliação *in situ*, com resolução para caracterizar
23 o dossel em resposta a fatores determinantes do crescimento e desenvolvimento vegetal.

24 O sensor Greenseeker[®] efetua as leituras acima do dossel, sem ter contato com as
25 plantas, enquanto o clorofilômetro SPAD, necessita ter contato e mede apenas um

1 pequeno ponto específico de uma única folha por vez. Como consequência, diversos
2 fatores como estágio fenológico, cultivar, peso específico e espessura da folha, além da
3 posição da folha na planta e a localização da aferição podem afetar significativamente as
4 leituras do medidor de clorofila (YUAN et al., 2016b). O sensor GreenSeeker[®] também
5 pode ter seu desempenho afetado em função de algumas limitações, como ocorre na
6 cultura do arroz irrigado em que a lâmina de água no campo pode influenciar a acurácia
7 dos dados (ZHANG et al., 2017), principalmente nos estádios iniciais de
8 desenvolvimento. Isto ocorre em consequência do baixo fechamento do dossel nesta fase,
9 que permite maior exposição da lâmina de água, gerando valores inferiores aos reais,
10 devido à interferência da reflectância da superfície da água nas leituras realizadas com o
11 aparelho (KANKE et al., 2016).

12 Quando utilizadas de modo coordenado, essas ferramentas podem auxiliar na
13 caracterização, em tempo real, de diferentes cultivares de arroz irrigado ao longo do ciclo.
14 Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram comparar o comportamento das
15 ferramentas não destrutivas em relação aos métodos convencionais de avaliação de
16 biomassa, clorofila e teor de N, por análise de correlação linear, em genótipos de arroz
17 irrigado.

18

19 **MATERIAL E MÉTODOS**

20 **Local de execução dos experimentos**

21 O experimento foi conduzido na safra 2016/17 na Estação Experimental do Arroz
22 (EEA), do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), no município de Cachoeirinha, Rio
23 Grande do Sul (RS). A EEA/IRGA está situada na região Central do estado, situada a
24 29°55'30" de latitude sul e 50°58'21" de longitude oeste e altitude de 7 m acima do nível
25 do mar. Segundo a classificação climática de Köeppen, o clima da região é classificado

1 como Cfa, subtropical úmido. O solo da área experimental é classificado como Gleissolo
2 Háptico Distrófico típico.

3 **Tratamentos**

4 Os tratamentos foram constituídos por cinco genótipos de arroz irrigado, sendo
5 dois com a tecnologia Clearfield® (o híbrido QM 1010 CL e a cv. IRGA 424 RI); uma
6 linhagem pertencente ao programa de melhoramento do IRGA (IRGA 4720) e duas
7 cultivares convencionais, a BR-IRGA 409 e a IRGA 424. A semeadura foi realizada em
8 8 de outubro de 2016, utilizou-se semeadora em linha, com densidade de 100 kg ha⁻¹ de
9 sementes para as cultivares linhas puras e de 45 kg ha⁻¹ para a cultivar híbrida.

10 **Delineamento experimental e condução dos experimentos**

11 O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completamente
12 casualizados, com quatro repetições. As parcelas consistiram de 9 linhas com 10 m de
13 comprimento, espaçadas em 0,17 m, totalizando área de 15,3 m². Cada unidade
14 experimental foi dividida de tal forma que metade da área foi destinada a avaliações
15 destrutivas e o restante foi destinado à realização de avaliações não destrutivas e
16 determinação da produtividade de grãos.

17 Utilizou-se adubação de base de 400 kg ha⁻¹ de fórmula NPK (4-17-27) e duas
18 adubações nitrogenadas em cobertura com ureia (45% de N), sendo a primeira realizada
19 no estádio V3 (colar formado na terceira folha do colmo principal), utilizando 100 kg ha⁻¹
20 ¹ de N e a segunda no estádio V8 (colar formado na oitava folha do colmo principal), com
21 aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N. A partir do estádio V3, iniciou-se a irrigação, mantendo-se
22 lâmina da água permanente até o estádio de maturação (R9).

23

24

25

1 **Avaliações**

2 *Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)*

3 A variação da reflectância do dossel ao longo do ciclo de desenvolvimento foi
4 estimada com o auxílio do aparelho GreenSeeker[®]. O GreenSeeker[®] fornece valores
5 referentes ao NDVI, que são calculados pela equação $NDVI = (\rho_{IV} - \rho_V) / (\rho_{IV} + \rho_V)$, onde
6 ρ_{IV} e ρ_V são as reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho, respectivamente
7 (ROUSE et al., 1973). A obtenção dos dados foi realizada na área central da parte não
8 destrutiva da parcela, com duas leituras por parcela, totalizando 26 pontos avaliados ao
9 longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

10 *Biomassa da parte aérea*

11 A biomassa da parte aérea foi avaliada em seis estádios de desenvolvimento do
12 arroz, sendo eles V7 (colar formado na sétima folha do colmo principal), V9 (colar
13 formado na nona folha do colmo principal), R1 (diferenciação do primórdio floral), R2
14 (emborrachamento), R4 (florescimento) e R9 (maturação). Antes da coleta da biomassa,
15 realizou-se leitura de NDVI utilizando o sensor GreenSeeker[®] sobre a área a ser
16 amostrada. Os valores de NDVI foram correlacionados ao peso da biomassa seca (*dados*
17 *não mostrados*).

18 *Teor de nitrogênio (N) na parte aérea*

19 As amostras de biomassa seca da parte aérea nos estádios V9, R1, R4 e R9 foram
20 moídas e enviadas ao Laboratório de Análises de Solo do IRGA (Cachoeirinha, RS), onde
21 foram determinados os teores de N pelo método de MALAVOLTA et al. (1997).

22 *Teor relativo de clorofila - Índice SPAD (Soil Plant Analysis Development)*

23 Para a avaliação indireta do teor de clorofila utilizou-se o aparelho clorofilômetro
24 modelo SPAD-502, sendo realizadas 15 avaliações durante o ciclo. No período
25 vegetativo, as leituras foram feitas na última folha completamente expandida, enquanto

1 que, no período reprodutivo, as leituras foram conduzidas na folha bandeira. As aferições
2 foram realizadas no centro de cada folha, tomando-se o cuidado de não atingir a nervura
3 central, a unidade amostral foi de 10 plantas por parcela, avaliadas na área não destrutiva.

4 *Determinação do teor de clorofila com a utilização do método DMSO*

5 Para a determinação do teor de clorofila, utilizou-se o protocolo de HISCOX &
6 ISRAELSTAM (1979). Foram selecionadas três plantas aleatórias em cada parcela, sendo
7 que, no período vegetativo, considerou-se a última folha expandida e, no período
8 reprodutivo, a folha bandeira. As folhas coletadas a campo foram mantidas em sacos
9 plásticos e, armazenadas a -20°C para posterior extração de clorofila com DMSO
10 (dimetilsulfóxido). Os cálculos para determinação dos teores de clorofila a e b foram
11 realizados de acordo com as seguintes equações (HISCOX & ISRAELSTAM, 1979):

$$12 \text{ Clorofila a (mg g}^{-1}\text{)} = \frac{[(11,75 \times A663) - (2,35 \times A645)] \times 50}{500}$$

$$13 \text{ Clorofila b (mg g}^{-1}\text{)} = \frac{[(18,61 \times A645) - (3,96 \times A663)] \times 50}{500}$$

14 Onde A645 e A663 correspondem aos valores obtidos nas leituras no
15 espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 645 e 663 nm, respectivamente. Para o
16 cálculo da clorofila total, os teores de clorofila a e b foram somados.

17 *Área foliar da folha bandeira e folha bandeira menos um*

18 As áreas foliares foram avaliadas somente na fase reprodutiva, durante os estádios
19 R4, R6-R7 (enchimento de grãos) e R9. Para a determinação da área foliar média, foram
20 coletadas 25 folhas por parcela. Mediu-se a área foliar (em cm²) com o auxílio do medidor
21 de área foliar LI-COR (LI-3100C, LI-COR, Lincoln, NE, USA).

22 *Análise de nitrogênio (N) e silício (Si) na folha bandeira*

23 Os teores de N e Si na folha bandeira foram avaliados no estágio R4, a partir da
24 coleta de 50 folhas bandeiras de cada parcela para composição da amostra. As análises

1 foram realizadas pelo Laboratório Terranálises (Fraiburgo, SC), de acordo com a
2 metodologia de MALAVOLTA et al. (1997).

3 *Produtividade de grãos*

4 A produtividade de grãos foi estimada através da colheita manual das plantas em
5 5,35 m², quando os grãos apresentavam umidade média de 180 g kg⁻¹. O material colhido
6 foi trilhado, limpo e seco em estufa a 60°C para obtenção de seu peso seco. Os resultados
7 desta variável (*dados não mostrados*) foram utilizados para as análises de correlação.

8

9 *Análise estatística*

10 A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov–Smirnov. Os
11 dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Quando obtidas
12 diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 1% ou 5%
13 de significância. Para a realização das análises estatísticas, foi utilizado o software
14 estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2014).

15 As variáveis foram correlacionadas utilizando a correlação linear de Pearson,
16 sendo as análises realizadas com o auxílio do software Sigmaplot 11.0. (SystatSoftware
17 Inc.). Para correlação entre os valores do NDVI e a produtividade de grãos, calculou-se o
18 INSEY (*In-season Estimated Yield*), onde se dividiu o valor obtido no GreenSeeker®
19 (NDVI) pelo número de graus-dia. Os graus-dia foram calculados utilizando-se a seguinte
20 equação, proposta por YAO et al. (2012).

$$21 \quad GD = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - 12,5^{\circ}C$$

22 Onde Tmin e Tmax representam, respectivamente, a temperatura mínima e
23 máxima registradas diariamente e 12,5°C é a temperatura basal (YAO et al., 2012).

24

25

1 **RESULTADOS**

2 Os valores de NDVI para os cinco genótipos de arroz irrigado foram avaliados a
3 partir do estágio V6 (32 dias após emergência - DAE) ao R9 (126 DAE) e apresentaram
4 uma variação de 0,43 a 0,80 (Figura 1A). Durante a fase vegetativa, as cvs. QM 1010 CL,
5 BR-IRGA 409 e IRGA 424 RI apresentaram valores de NDVI crescentes de 32 a 42 DAE,
6 atingindo valores médios próximos a 0,80, permanecendo nesta faixa até os 56 DAE, ou
7 seja, um pouco antes de entrarem na fase reprodutiva. A cv. IRGA 424 somente chegou
8 ao valor de 0,80 aos 49 DAE e a linhagem IRGA 4720 somente alcançou um valor
9 máximo de 0,77 aos 52 DAE. Logo após o início da fase reprodutiva, todos os genótipos
10 apresentaram redução no valor de NDVI. Esta avaliação foi realizada aos 59 DAE, o que
11 correspondia ao estágio R1. Porém, logo em seguida, aos 63 DAE os valores subiram
12 novamente e mantiveram-se praticamente constantes até 88 DAE.

13 A correlação linear entre a biomassa seca da parte aérea e o NDVI foi significativa
14 apenas nos estádios vegetativos V7 ($R=0,86$) e V9 ($R=0,57$) (Tabela 1). Observa-se que
15 as correlações apresentam valores positivos e significativos nos estádios iniciais de
16 desenvolvimento. A partir dos estádios reprodutivos (R1 a R9) não ocorre efeito
17 significativo nas correlações, porém se observa um decréscimo nos valores, que se tornam
18 negativos à medida que ocorre o avanço dos estádios.

19 O N acumulado na biomassa da parte aérea foi avaliado em quatro estádios de
20 desenvolvimento (Figura 1B) e somente apresentou diferença estatística significativa
21 entre os genótipos no estágio R9 (maturação). No estágio V9, os valores situaram-se em
22 torno de 61 a 77 kg ha⁻¹ de N, enquanto que, no início do período reprodutivo (R1), os
23 valores variaram de 92 a 128 kg ha⁻¹ de N. Durante o florescimento (R4), apenas a cv.
24 QM 1010 CL superou os 200 kg ha⁻¹ de N. Na maturação, a cv. IRGA 424 RI apresentou
25 o maior valor de N acumulado (294 kg ha⁻¹ de N), enquanto que a cv. BR-IRGA 409 teve

1 cerca de 183,5 kg ha⁻¹ de N, o que equivale a 100 kg a menos de N que a cv. IRGA 424
2 RI.

3 A primeira avaliação indireta de clorofila ocorreu no estágio V6 (35 DAE) e
4 apresentou valores variando de 33 a 35 para as cultivares comerciais e 37 para a linhagem
5 IRGA 4720 (Figura 1C). Aos 42 DAE (V8-V9) foi realizada a aplicação 50 kg ha⁻¹ de N
6 em cobertura na forma de ureia e, aos 46 DAE, realizou-se a segunda avaliação, onde
7 foram observados valores acima de 40 para a linhagem e próximo a 37 para os demais
8 genótipos. Este foi o ponto mais alto de valores SPAD notado durante a fase vegetativa.

9 Logo após a aplicação de N, os valores SPAD decresceram em todos os genótipos
10 e situaram-se em torno de 32 próximo ao estágio R1 e novamente subiram no período de
11 transição entre R1 e R2. Os genótipos QM 1010 CL e IRGA 4720 apresentaram os
12 maiores valores deste estágio em diante. Observou-se dois picos de valores SPAD nos
13 estádios R2 e R4, com o híbrido QM 1010 CL apresentando valores em torno de 40. Já
14 as cvs. IRGA 424 e IRGA 424 RI demonstraram os menores valores neste período de
15 avaliação. De R4 em diante todos os genótipos apresentaram índice SPAD decrescentes
16 até o final do ciclo. Para determinar o índice SPAD no período de senescência (140 DAE),
17 realizou-se uma avaliação após a colheita do experimento, utilizando a área destrutiva da
18 parcela. Observou-se que os valores caíram drasticamente neste período.

19 Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os genótipos
20 para os teores de clorofila a, b e total (*dados não mostrados*). No entanto, houve
21 correlação linear significativa entre os teores de clorofila determinados diretamente pelo
22 método de HISCOX & ISRAELSTAM (1979) e o índice SPAD (R=0,49 a 0,71) apenas
23 no final do ciclo da cultura (Tabela 2).

24 A área da folha bandeira foi estatisticamente igual entre as quatro cultivares
25 utilizadas neste estudo, enquanto que a linhagem IRGA 4720, apresentou menor área,

1 variando de 18,5 a 19,9 cm² (Figura 2A). A maior área foliar foi exibida pela cv. BR-
2 IRGA 409, com valores de 31,9 a 32,6 cm², possuindo em média 40,3% a mais de área
3 foliar da folha bandeira que a linhagem IRGA 4720. Observa-se que do florescimento (96
4 DAE) ao enchimento de grãos (112 DAE) a área da folha bandeira dos genótipos
5 avaliados ainda está em expansão. No entanto, do enchimento de grãos (112 DAE) até o
6 final do ciclo de desenvolvimento (140 DAE), ocorreu redução da área foliar útil. Porém,
7 a linhagem IRGA 4720 permaneceu com valores praticamente inalterados neste período.

8 A área foliar da folha bandeira menos um diferiu significativamente entre os
9 genótipos aos 96 e 112 DAE, contudo aos 140 DAE não foram identificadas diferenças
10 significativas (Figura 2B). A cv. BR-IRGA 409 apresentou maior área da folha bandeira
11 menos um aos 96 e 112 DAE, com média em torno de 36 cm². Enquanto que, a linhagem
12 IRGA 4720 obteve os menores valores, variando de 22 a 24 cm². Aos 96 DAE, a cv. BR-
13 IRGA 409 foi a única que teve área foliar superior a 30 cm². Contudo, aos 112 DAE, além
14 desta cultivar, as cvs. IRGA 424 e QM 1010 CL ultrapassaram este valor.

15 A análise nutricional da folha bandeira durante o florescimento revelou diferença
16 significativa apenas para o teor de Si, enquanto que, para o teor de N, não houve diferença
17 entre os genótipos (Tabela 3). No mesmo período, também foram realizadas leituras
18 utilizando o clorofilômetro, onde foi possível verificar diferença entre os genótipos. A cv.
19 QM 1010 CL e a linhagem IRGA 4720 destacaram-se por apresentar os maiores teores
20 de Si, bem como maiores índice SPAD.

21 Foi realizada análise de correlação linear dos parâmetros avaliados na folha
22 bandeira no período do florescimento (Tabela 4). O índice SPAD apresentou correlação
23 significativa com o Si ($R=0,66$), no entanto não apresentou com o teor de N foliar. Notou-
24 se também que os valores do NDVI se correlacionaram negativamente ao SPAD ($R=-$

1 0,71), bem como ao Si ($R=-0,65$), demonstrando que estes dois índices apresentaram
2 relações inversas durante este período de desenvolvimento.

3 Foram feitas análises de correlação linear em quatro estádios-chave de
4 desenvolvimento: V9 e R1 (Tabela 5) e R4 e R9 (Tabela 6). No estádio V9, o N
5 acumulado apresentou uma alta correlação com a biomassa da parte aérea ($R=0,88$), a
6 qual se correlacionou ao NDVI ($R=0,57$). Novamente, observou-se correlação negativa
7 entre os índices SPAD e NDVI ($R=-0,46$). No estádio R1, a biomassa correlacionou-se
8 ao SPAD ($R=0,67$) e o NDVI ao N acumulado ($R=0,48$).

9 No estádio R4, o N acumulado correlacionou-se positivamente à biomassa
10 ($R=0,61$), SPAD ($R=0,53$) e, negativamente ao NDVI ($R=-0,46$). No estádio R9, o SPAD
11 teve correlação positiva significativa com o N acumulado ($R=0,58$), negativa com a área
12 foliar da folha bandeira ($R=-0,46$) e a produtividade de grãos ($R=-0,45$).

13 Diante das relações observadas anteriormente entre os aparelhos GreenSeeker® e
14 SPAD, uma correlação linear foi realizada nas datas em que as duas ferramentas foram
15 utilizadas (Tabela 7). A partir disso, confirma-se o comportamento contrário destes
16 índices, uma vez que todas as correlações foram negativas. Contudo, as correlações
17 significativas foram nos períodos vegetativo (38 a 52 DAE) e do início da emissão da
18 panícula (87 DAE) ao final do enchimento de grãos (108 DAE).

19 Os valores de NDVI não apresentaram correlação significativa com a
20 produtividade de grãos em nenhum dos momentos de avaliação. Por isso, optou-se pela
21 normalização do NDVI, utilizando os graus-dia acumulados, o que resultou no índice
22 NDVI-INSEY. A maior correlação entre os valores do NDVI-INSEY e a produtividade
23 de grãos foi observada no período de 49 a 80 DAE (Tabela 8), que compreende os estádios
24 de R0 a R2.

25

1 **DISCUSSÃO**

2 As avaliações com o GreenSeeker[®] iniciaram quando as plantas apresentaram um
3 fechamento considerável do dossel. Isto buscou evitar uma possível limitação deste
4 aparelho, que sofre influência negativa da refletância da superfície da água (KANKE et
5 al., 2016). YAO et al. (2014) encontraram que o GreenSeeker[®] explicou mais de 70% da
6 variação da biomassa da parte aérea de arroz nos estádios iniciais de desenvolvimento.
7 No entanto, o índice NDVI tornou-se saturado quando a cultura atingiu 100 kg ha⁻¹ de N
8 acumulado. Os dados do presente estudo corroboram com esta informação, pois somente
9 foi observada correlação positiva significativa entre NDVI e biomassa no período
10 vegetativo, quando os níveis de N ainda eram inferiores a 100 kg ha⁻¹. A ausência de
11 correlação entre biomassa e NDVI nos estádios reprodutivos também pode estar
12 associada à absorção de luz vermelha, aproximando-se da saturação, quando ocorre o
13 fechamento total do dossel (KANKE et al., 2016). Alguns autores têm associado um valor
14 de 0,80 à saturação dos índices de NDVI obtidos pelo aparelho GreenSeeker[®] para a
15 cultura do arroz irrigado (ALI et al., 2015; GNYP et al., 2014; YAO et al., 2012).

16 O NDVI mede a refletância do dossel da planta, a partir da biomassa verde
17 presente. Quando ocorreu a emissão completa da panícula e o florescimento, os valores
18 do NDVI apresentaram comportamento decrescente. Estes valores permaneceram
19 diminuindo até o final do ciclo da cultura, devido à presença da panícula, que apresenta
20 coloração mais clara, o que reduz o valor de NDVI.

21 Outro fator a ser levado em consideração para o uso dos índices de vegetação é a
22 assinatura espectral das cultivares de arroz utilizadas, pois sabe-se que a estrutura
23 geométrica do dossel e as composições químicas foliares determinam uma assinatura
24 espectral única (KANKE et al., 2016). Portanto, é importante entender qual o impacto
25 potencial de usar diferentes cultivares, com diferentes estruturas de dossel, sobre a

1 reflectância espectral. Isto justifica, possivelmente, os diferentes padrões apresentados ao
2 longo do tempo entre os genótipos utilizados no presente estudo, que apresentaram
3 comportamentos distintos em períodos-chave ao longo do desenvolvimento da cultura.

4 Numerosos estudos têm sido realizados para melhorar a confiabilidade do
5 medidor de clorofila SPAD para a diagnose de N em diversas culturas agrícolas (LIU et
6 al., 2017; YUAN et al., 2016a; POCOJESKI et al., 2015). No presente estudo, o valor
7 máximo para o índice SPAD foi de 40,2, apresentado pela linhagem IRGA 4720 aos 44
8 DAE, enquanto que o mínimo de 20,8 foi observado aos 139 DAE para a cv. IRGA 424
9 RI. Estes valores apresentaram similaridade à faixa observada por YUAN et al. (2016a),
10 que reportaram valores variando de 17 a 39.

11 Os genótipos utilizados apresentaram valores de SPAD inferiores a 35 durante o
12 estágio R1. Sabe-se que existe uma maior demanda de N do perfilhamento ao
13 florescimento (SINGH et al., 2002), uma vez que a planta apresenta maior requerimento
14 de N para os processos de definição dos componentes de produção de grãos que ocorre
15 entre estes estádios (CAO et al., 2016). A cv. híbrida QM 1010 CL exibiu os maiores
16 índices SPAD a partir do estágio R2, quando comparada aos outros genótipos. Segundo
17 HUANG et al. (2016), os híbridos apresentam maiores teores de clorofila total, quando
18 comparados a cultivares de arroz linhas puras.

19 A partir do estágio R4 ocorre um decréscimo nos valores do índice SPAD. Este
20 comportamento deve-se à translocação de reservas foliares da planta para os grãos durante
21 a fase de enchimento dos mesmos, já que as plantas direcionaram praticamente toda a
22 reserva de fotoassimilados das folhas para os grãos.

23 Recentemente, foi reportado que as leituras do índice SPAD se tornam mais
24 precisas à medida em que a folha de arroz envelhece (JINWEN et al., 2009), o que
25 justifica a correlação observada entre o SPAD e os teores de clorofila apenas nos estádios

1 de maturação e senescência. O SPAD correlaciona-se com o teor de N na folha avaliada,
2 não sendo válida esta relação quando se considera o teor de N de toda a planta. No
3 presente trabalho, a quantidade de N acumulado só diferiu entre os genótipos no estágio
4 de maturação e, as correlações entre o N e o SPAD só foram significativas no
5 florescimento ($R=0,53$) e na maturação ($R=0,58$).

6 Para as avaliações realizadas na folha bandeira no período de florescimento,
7 observou-se correlação positiva entre o teor de Si e o índice SPAD, com coeficiente de
8 correlação (R) de 0,66. Diversos autores têm relacionado o micronutriente Si ao aumento
9 nos teores de clorofila (BUENO et al., 2017). Isto leva à hipótese de que as leituras do
10 aparelho SPAD podem ter sido influenciadas por diferenças no teor de Si presente nas
11 folhas bandeiras, ou seja, maiores teores de Si refletiram em maiores valores no SPAD.

12 De acordo com BUENO et al. (2017), o Si está associado à prevenção do
13 progresso da senescência foliar ou *staygreen*, devido à manutenção da fotossíntese e à
14 proteção da destruição da clorofila. Altos nível de Si foram verificados nos genótipos QM
15 1010 CL e IRGA 4720, que também foram os genótipos que apresentaram os maiores
16 valores SPAD durante o período reprodutivo. Juntas, essas informações poderiam sugerir
17 que QM 1010 CL e IRGA 4720 apresentam um período de *staygreen* superior aos demais
18 genótipos e que essa característica é devido ao maior teor de Si na folha bandeira.
19 YAMAMOTO et al. (2017) afirmam ainda, que o *staygreen* é caracterizado também pelo
20 atraso da quebra da clorofila durante a senescência.

21 Valores de SPAD e NDVI têm sido largamente usados como estimadores padrões
22 do status de N em arroz (ZHANG et al., 2017). ALI et al. (2015) afirmam que a avaliação
23 do status de N em plantas de arroz durante os estádios R0 e R1 é crítica para determinar
24 o potencial produtivo de grãos da cultura. No presente estudo, observou-se que, no estágio
25 R1, o NDVI correlacionou-se positivamente ao N acumulado na parte aérea ($R=0,48$),

1 confirmando as informações relatadas acima. Uma maior biomassa da parte aérea resulta
2 ainda em menor índice SPAD, devido ao efeito de diluição do N (POCOJESKI et al.,
3 2015), o que levou a uma correlação linear negativa entre SPAD e o valor de NDVI em
4 todos os estádios avaliados.

5 Na correlação do NDVI com a biomassa da parte aérea, percebe-se que esta foi
6 significativa na fase vegetativa, conforme igualmente relatado por GNYP et al. (2014).
7 Já utilizando o índice padronizado NDVI-INSEY para estimativa de produtividade de
8 grãos, verificou-se que o mesmo foi eficiente no início do período reprodutivo, antes da
9 emissão das panículas. CAO et al. (2016) também afirmam que a eficiência do NDVI-
10 INSEY para estimar a produtividade está relacionada ao início do período reprodutivo de
11 arroz. Entre os estádios R0 e R2, observou-se valores do coeficiente de correlação (R)
12 variando de 0,43 a 0,69 para as correlações de NDVI-INSEY x produtividade,
13 corroborando com o trabalho de CAO et al. (2016), que encontraram valores de 0,47 a
14 0,52. Sendo assim, o NDVI normalizado parece ser um bom estimador da produtividade
15 de grãos quando utilizado na fase reprodutiva inicial. O NDVI-INSEY permitiu uma
16 melhor padronização dos dados de índice de vegetação, pois os graus-dia acumulados
17 influenciam diretamente o desenvolvimento de cultivares de arroz.

18

19 **CONCLUSÃO**

20 As ferramentas utilizadas evidenciaram relações importantes para períodos-chave
21 do desenvolvimento de arroz irrigado no Sul do Brasil. O índice de vegetação NDVI,
22 avaliado por meio do GreenSeeker[®], mostrou-se eficiente durante o período vegetativo
23 para avaliar indiretamente a biomassa. O NDVI-INSEY, determinado pelo mesmo
24 aparelho, foi a melhor maneira para estimativa da produtividade de grãos no início do
25 período reprodutivo, antes da emissão das panículas. As leituras realizadas com o

1 aparelho SPAD tornam-se mais precisas no final do período reprodutivo da cultura, seja
2 para a determinação indireta de clorofila ou de N. Neste contexto, o uso de ferramentas
3 portáteis, como o Greenseeker[®] e o SPAD, pode auxiliar na caracterização de genótipos
4 de arroz irrigado. Pois, além de permitir uma fenotipagem de plantas a campo direcionada
5 a momentos chave para a utilização dos dois aparelhos, podem auxiliar em programas
6 de melhoramento genético.

7

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 9 ALI, A.M. et al. A framework for refining nitrogen management in dry direct-seeded rice
10 using GreenSeeker[™] optical sensor. **Comput. Electron. Agr.**, v.110, p.114-120, 2015.
11 Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169914002907.
12 Acesso em: Fev. 14, 2018. doi: 10.1016/j.compag.2014.10.021.
- 13 BUENO, A.C.S.O. et al. Response of photosynthesis and chlorophyll a fluorescence in
14 leaf scald-infected rice under influence of rhizobacteria and silicon fertilizer. **Plant**
15 **Pathol.**, v.66, n.9, p.1487-1495, 2017. Disponível em:
16 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ppa.12690>. Acesso em: May. 1, 2018.
17 doi: 10.1111/ppa.12690.
- 18 CAO, Q. et al. Improving in-season estimation of rice yield potential and responsiveness
19 to topdressing nitrogen application with Crop Circle active crop canopy sensor. **Precis.**
20 **Agric.**, v.17, n.2, p.136-154, 2016. Disponível em:
21 <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-015-9412-y>. Acesso em: Mar. 5,
22 2018.
- 23 FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons.
24 **Ciênc. Agrotec.**, v.38, n.2, p.109-112, 2014. Disponível em:

- 1 <www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542014000200001&script=sci_arttext>.
- 2 Acesso em: Jan. 10, 2018. doi: 10.1590/S1413-70542014000200001.
- 3 GNYP, M. L. et al. Hyperspectral canopy sensing of paddy rice aboveground biomass at
4 different growth stages. **Field Crop Res.**, v.155, p.42-55, 2014. Disponível em:
5 <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429013003298>. Acesso em: Fev. 18,
6 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2013.09.023.
- 7 HISCOX, J.D., ISRAELSTAM, G.F. A method for the extraction of chlorophyll from
8 leaf tissue without maceration. **Can. J. Botany**, v.57, p.1132-1334, 1979. Disponível em:
9 <www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/b79-163>. Acesso em: Jul. 15, 2016. doi:
10 10.1139/b79-163.
- 11 HUANG, L. et al. Different mechanisms underlying the yield advantage of ordinary
12 hybrid and super hybrid rice over inbred rice under low and moderate N input conditions.
13 **Field Crops Res.**, v.216, p.150-157, 2018. Disponível em:
14 <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429017312650>. Acesso em: May.
15 10, 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2017.11.019.
- 16 HUANG, M. et al. Leaf photosynthetic performance related to higher radiation use
17 efficiency and grain yield in hybrid rice. **Field Crop Res.**, v.193, p.87-93, 2016.
18 Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429016300685>.
19 Acesso em: Jan. 20, 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2016.03.009.
- 20 JINWEN, L. et al. Responses of rice leaf thickness, SPAD readings and chlorophyll a/b
21 ratios to different nitrogen supply rates in paddy field. **Field Crop Res.**, v.114, n.3, p.426-
22 432, 2009. Disponível em:
23 <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429009002445>. Acesso em: Fev. 1,
24 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2009.09.009.

- 1 KANKE, Y. et al. Evaluation of red and red-edge reflectance-based vegetation indices
2 for rice biomass and grain yield prediction models in paddy fields. **Precis. Agric.**, v.17,
3 n.5, p.507-530, 2016. Disponível em: <[https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-](https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-016-9433-1)
4 [016-9433-1](https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-016-9433-1)>. Acesso em: Mar. 5, 2018. doi: 10.1007/s11119-016-9433-1.
- 5 LIU, X. et al. Canopy chlorophyll density based index for estimating nitrogen status and
6 predicting grain yield in rice. **Front. Plant Sci.**, v.8, p.1829, 2017. Disponível em:
7 <www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01829/full>. Acesso em: May. 10,
8 2018. doi: 10.3389/fpls.2017.01829.
- 9 MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional**
10 **das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p
- 11 POCOJESKI, E. et al. Uso do clorofilômetro no monitoramento nutricional de arroz
12 irrigado com vistas ao manejo da adubação nitrogenada. **Rev. Ceres**, v.62, n.3, 2015.
13 Disponível em: <www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/107>. Acesso em:
14 Nov. 15, 2017. doi: 10.1590/0034-737X201562030011.
- 15 ROUSE, J. et al. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. Third
16 ERTS Symposium NASA SP-351, 1, p.309-317, 1973. Disponível em:
17 <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022614.pdf>>. Acesso em:
18 Mar. 15, 2018.
- 19 SINGH, B. et al. Chlorophyll meter–and leaf color chart–based nitrogen management for
20 rice and wheat in Northwestern India. **Agron. J.**, v.94, n.4, p.821-829, 2002. Disponível
21 em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/94/4/821>>. Acesso em: Abr.
22 1, 2018. doi: 10.2134/agronj2002.8210.
- 23 YAMAMOTO, T. et al. Characterization of a genomic region that maintains chlorophyll
24 and nitrogen contents during ripening in a high-yielding stay-green rice cultivar. **Field**
25 **Crop Res.**, v.206, p.54-64, 2017. Disponível em:

- 1 <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429017303350>. Acesso em: Mar.
2 15, 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2017.03.001.
- 3 YAO, Y. et al. Active canopy sensor-based precision N management strategy for rice.
4 **Agron. Sustain. Dev.**, v.32, n.4, p.925-933, 2012. Disponível em:
5 <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-012-0094-9>>. Acesso em: Abr. 5,
6 2018. doi: 10.1007/s13593-012-0094-9.
- 7 YAO, Y. et al. In-season estimation of rice nitrogen status with an active crop canopy
8 sensor. **IEEE J. Sel. Top. Appl.**, n.7, v.11, p.4403-4413, 2014. Disponível em:
9 <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6822547>>. Acesso em: Fev. 8, 2018. doi:
10 10.1109/JSTARS.2014.2322659.
- 11 YUAN, Z. et al. Indicators for diagnosing nitrogen status of rice based on chlorophyll
12 meter readings. **Field Crop Res.**, v.185, p.12-20, 2016a. Disponível em:
13 <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429015300630>. Acesso em: Fev. 15,
14 2018. doi: 10.1016/j.fcr.2015.10.003.
- 15 YUAN, Z. et al. Optimal leaf positions for SPAD meter measurement in rice. **Front.**
16 **Plant Sci.**, v.7, p.719, 2016b. Disponível em:
17 <www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00719/full>. Acesso em: Mar. 18, 2018.
18 doi: 10.3389/fpls.2016.00719.
- 19 ZHANG, K. et al. Evaluation of the chlorophyll meter and GreenSeeker for the
20 assessment of rice nitrogen status. **Adv. Anim. Biosci.: Precision Agriculture (ECPA)**,
21 v.8, n.2, p.359-363, 2017. Disponível em: <[www.cambridge.org/core/journals/advances-](http://www.cambridge.org/core/journals/advances-in-animal-biosciences/article/evaluation-of-the-chlorophyll-meter-and-greenseeker-for-the-assessment-of-rice-nitrogen-status/D9D5D9AE176FAA05F65EA901BEFC511A)
22 [in-animal-biosciences/article/evaluation-of-the-chlorophyll-meter-and-greenseeker-for-](http://www.cambridge.org/core/journals/advances-in-animal-biosciences/article/evaluation-of-the-chlorophyll-meter-and-greenseeker-for-the-assessment-of-rice-nitrogen-status/D9D5D9AE176FAA05F65EA901BEFC511A)
23 [the-assessment-of-rice-nitrogen-status/D9D5D9AE176FAA05F65EA901BEFC511A](http://www.cambridge.org/core/journals/advances-in-animal-biosciences/article/evaluation-of-the-chlorophyll-meter-and-greenseeker-for-the-assessment-of-rice-nitrogen-status/D9D5D9AE176FAA05F65EA901BEFC511A)>.
24 Acesso em: Mar. 1, 2018. doi: 10.1017/S2040470017000917.

1 ZHOU, G; YIN, X. Assessing nitrogen nutritional status, biomass and yield of cotton with
 2 NDVI, SPAD and petiole sap nitrate concentration. **Exp. Agr.**, p.1-18, 2017. Disponível
 3 em: <[//www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/assessing-](http://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/assessing-nitrogen-nutritional-status-biomass-and-yield-of-cotton-with-ndvi-spad-and-petiole-sap-nitrate-concentration/D5154BD95DDD44879EA581B9A91A4F24)
 4 [nitrogen-nutritional-status-biomass-and-yield-of-cotton-with-ndvi-spad-and-petiole-sap-](http://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/assessing-nitrogen-nutritional-status-biomass-and-yield-of-cotton-with-ndvi-spad-and-petiole-sap-nitrate-concentration/D5154BD95DDD44879EA581B9A91A4F24)
 5 [nitrate-concentration/D5154BD95DDD44879EA581B9A91A4F24](http://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/assessing-nitrogen-nutritional-status-biomass-and-yield-of-cotton-with-ndvi-spad-and-petiole-sap-nitrate-concentration/D5154BD95DDD44879EA581B9A91A4F24)>. Acesso em: Mar.
 6 1, 2018. doi: 10.1017/S0014479717000229.

7

8 Tabela 1. Coeficiente de correlação linear (R) entre os valores do NDVI e a biomassa da
 9 parte área avaliados em seis estádios de desenvolvimento em cinco genótipos de arroz
 10 irrigado, Cachoeirinha (RS).

NDVI X Biomassa	Estádios de desenvolvimento					
	V7	V9	R1	R2	R4	R9
Valor p	0,86**	0,57**	0,21	0,20	-0,08	-0,07
	>0,001	>0,008	0,34	0,39	0,30	0,75

11 **, significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

12

13 Tabela 2. Coeficiente de correlação linear (R) entre o índice SPAD e o teor de clorofila a
 14 (Clor a), b (Clor b) e total (Clor t) avaliados em cinco genótipos de arroz irrigado,
 15 Cachoeirinha (RS).

	Clor a	Clor b	Clor t
Iniciação da panícula (R1) - 66 DAE			
SPAD	0,34	0,17	0,22
Valor p	0,149	0,467	0,354
Enchimento de grãos (R5-R8) - 120 DAE			
SPAD	0,29	0,36	0,30
Valor p	0,211	0,121	0,193
Maturação (R9) - 128 DAE			
SPAD	0,49*	0,58**	0,51*
Valor p	0,030	0,007	0,023
Senescência (após a colheita) - 139 DAE			
SPAD	0,61**	0,71**	0,62**
Valor p	0,004	0,001	0,003

16 **, * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; pelo teste F.

17

1 Tabela 3. Teores de nitrogênio, silício e índice SPAD avaliados na folha bandeira no
2 estágio de florescimento em cinco genótipos de arroz irrigado, Cachoeirinha (RS).

Genótipos	N (%)	Si (mg g ⁻¹) ¹	SPAD ²
BR-IRGA 409	2,84 ^{ns}	47,47 bc	32,9 b
IRGA 424	2,78	29,65 c	32,4 b
IRGA 424 RI	2,70	30,92 c	31,6 b
IRGA 4720	2,67	58,92 ab	36,5 a
QM 1010 CL	2,74	75,46 a	39,1 a
CV (%) ³	5,33	24,45	3,83

3 ^{ns} – Efeito não significativo pelo teste F. ¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de
4 acordo com o teste de Tukey, a 1% de significância. ²Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente
5 entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância. ³CV=coeficiente de variação.
6

7 Tabela 4. Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas no estágio de
8 florescimento: teores de nitrogênio (N) e silício (Si), determinados na folha bandeira; área
9 foliar média da folha bandeira (AFB); área foliar média da folha bandeira menos um
10 (AFB⁻¹); índice SPAD e; valores do NDVI, Cachoeirinha (RS).

	N	Si	AFB	AFB ⁻¹	SPAD	NDVI
N	1	-0,05	0,48*	0,49*	-0,24	0,16
Si		1	-0,22	-0,09	0,66**	-0,65**
AFB			1	0,75**	-0,41	0,58**
AFB ⁻¹				1	-0,12	0,18
SPAD					1	-0,71**
NDVI						1

11 **, * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.
12

13 Tabela 5. Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas no estágio de
14 formação do colar da nona folha (V9), à direita e, iniciação da panícula (R1), à esquerda:
15 nitrogênio acumulado na parte aérea (N); biomassa da parte aérea (BM); índice SPAD;
16 valores do NDVI e; produtividade de grãos (PG), Cachoeirinha (RS).

	----- V9 -----				
	N	BM	SPAD	NDVI	PG
N	1	0,88**	-0,02	0,40	0,14
BM	0,15	1	0,04	0,57**	0,17
SPAD	0,25	0,67**	1	-0,46*	0,11
NDVI	0,48*	0,21	-0,01	1	0,10
PG	-0,10	-0,21	-0,09	0,20	1

17 **, * significativo a 1% e 5% de probabilidade; respectivamente; pelo teste F.

1 Tabela 6. Coeficiente de correlação linear (R) entre as variáveis analisadas no estádio de
 2 florescimento (R4), à direita e, maturação (R9), à esquerda: nitrogênio acumulado na
 3 parte aérea (N); biomassa da parte aérea (BM); área foliar da folha bandeira (AFB); área
 4 foliar da folha bandeira menos um (AFB⁻¹); índice SPAD; valores do NDVI e;
 5 produtividade de grãos (PG), Cachoeirinha (RS).

----- R4 -----							
	N	BM	AFB	AFB ⁻¹	SPAD	NDVI	PG
N		0,61**	-0,03	0,26	0,53*	-0,46*	-0,40
BM	0,32		-0,03	-0,23	0,42	-0,08	-0,11
AFB	-0,42	0,05		0,75**	-0,41	0,62**	0,18
AFB ⁻¹	0,35	0,06	0,13		-0,12	0,25	-0,07
SPAD	0,58**	-0,11	-0,46*	0,17		-0,71**	-0,31
NDVI	0,17	-0,07	0,24	0,33	0,20		0,21
PG	0,14	0,50*	-0,32	0,15	-0,45*	0,15	

6 **,* significativo a 1% e 5% de probabilidade; respectivamente; pelo teste F.

7

8 Tabela 7. Coeficiente de correlação linear (R) entre o índice SPAD e os valores do NDVI,
 9 Cachoeirinha (RS).

	Estádios / Dias após a emergência												
	V6	V9	R0	R1-R2		R2		R4	R7-R8		R9		
	38	45	52	59	66	73	80	87	94	101	108	115	122
SPAD													
X	-0,45*	-0,46*	-0,62**	-0,01	-0,05	-0,29	-0,17	-0,85**	-0,71**	-0,68**	-0,64**	-0,33	-0,20
NDVI													
Valor p	0,05	0,04	0,03	0,95	0,83	0,22	0,48	0,001	0,001	0,001	0,002	0,08	0,04

10 **,* significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; pelo teste F.

11

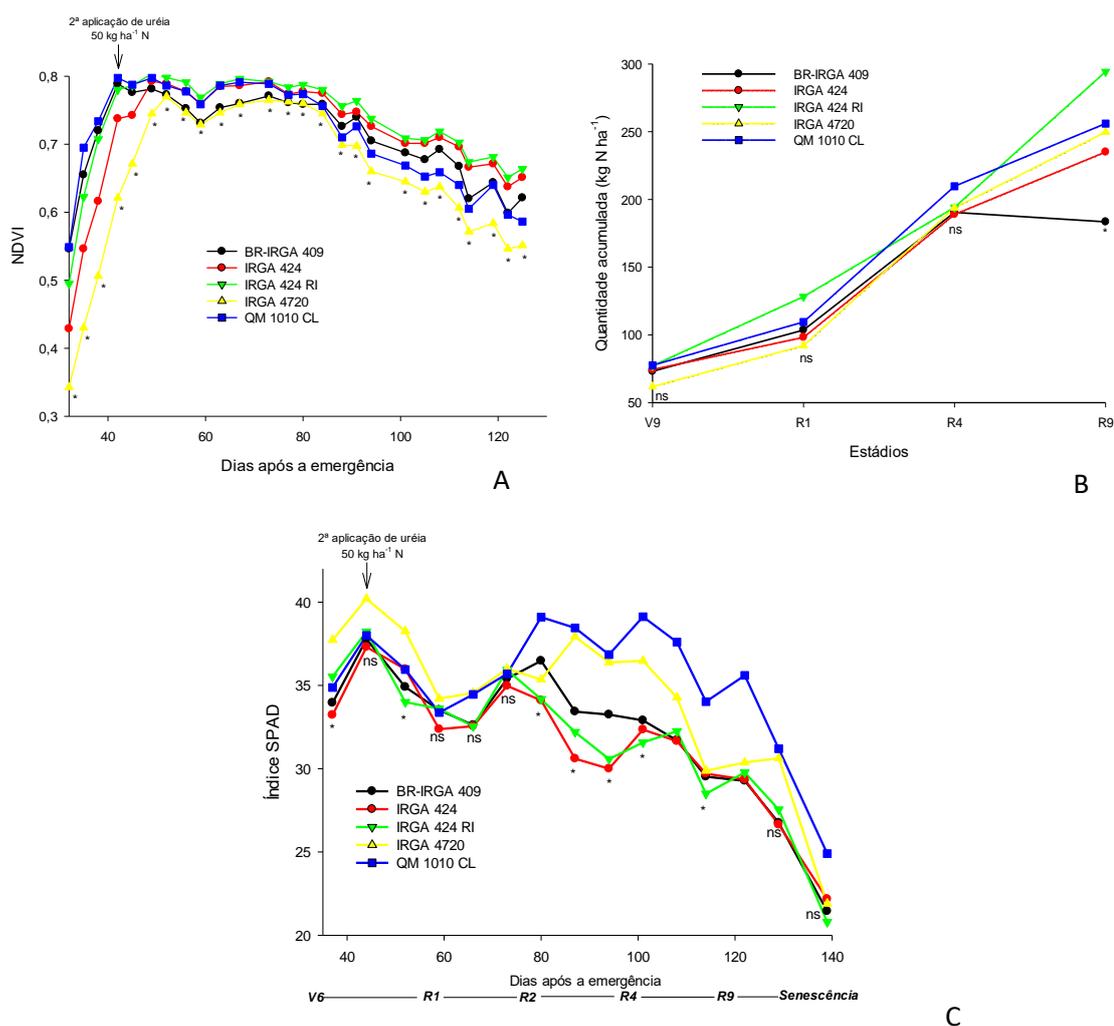
12 Tabela 8. Coeficiente de correlação linear (R) entre o NDVI-INSEY e a produtividade de
 13 grãos (PG), Cachoeirinha (RS).

	Estádios / Dias após a emergência														
	V6	V9	R0	R1-R2		R2		R4	R7-R8		R9				
	38	45	49	56	59	63	67	73	80	87	94	101	108	115	122
INSEY															
X	0,23	0,28	0,49*	0,55**	0,52*	0,62**	0,69**	0,43*	0,47*	0,14	0,22	0,19	0,11	0,29	0,37
PG															
Valor p	0,33	0,23	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	0,56	0,35	0,41	0,66	0,20	0,11

14 **,* significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; pelo teste F.

15

1

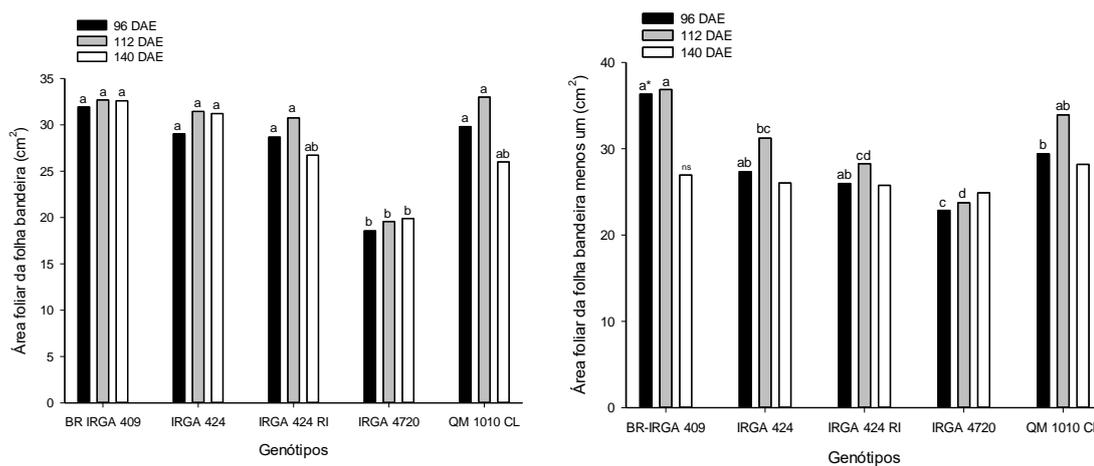


2 Figura 1. A) Valores do NDVI; B) Quantidade de nitrogênio acumulado e; C) Índice
 3 SPAD, avaliados na parte aérea ao longo do desenvolvimento de cinco genótipos de arroz
 4 irrigado, Cachoeirinha (RS).

5 *Significativos a 5% de probabilidade pelo teste F. ns - Efeito não significativo pelo teste F.

6

1



2 Figura 2. A) Área foliar média da folha bandeira e; B) da folha bandeira menos um de
 3 cinco genótipos de arroz irrigado (96 DAE=R4, florescimento; 112 DAE=R6-R7,
 4 enchimento de grãos e; 140 DAE=R9, senescência), Cachoeirinha (RS).

5 *Médias seguidas pela mesma letra, para os genótipos em cada estágio, não diferem estatisticamente entre si de acordo
 6 com o teste de Tukey, a 5% de significância. ns - Efeito não significativo pelo teste F.

5 CONCLUSÕES GERAIS

O arroz irrigado é uma das principais culturas para a região Sul do Brasil, que é responsável por cerca de 80% da produção nacional deste grão. O Rio Grande do Sul (RS) possui uma produtividade média 27% acima da nacional, o que ressalta a importância desta cultura. Essa elevada produtividade tem sido alcançada devido à melhoria das técnicas de manejo e à introdução de cultivares de arroz irrigado com alto potencial produtivo nos últimos anos.

A partir da utilização de cinco genótipos de arroz irrigado de alto potencial produtivo, observou-se que as altas produtividades apresentadas pelos mesmos foram relacionadas à associação de diversas características morfofisiológicas favoráveis. Ensaio realizados em duas safras (2015/16 e 2016/17) no município de Cachoeirinha (RS) sugerem que existe um mecanismo compensatório entre as características relacionadas às panículas e aos grãos, com destaque para panículas m^{-2} , grãos $panícula^{-1}$, peso de mil grãos, porcentagem de esterilidade das espiguetas e comprimento da panícula. A produtividade de grão dos genótipos teve correlação direta ao comprimento da folha bandeira no estágio de florescimento (R4), à biomassa da parte aérea e ao índice de colheita determinados na maturação (R9).

Dentre os genótipos avaliados, as maiores produtividades foram observadas em QM 1010 CL, IRGA 424 RI e IRGA 424. Esses genótipos apresentaram estabilidade produtiva nas duas safras avaliadas, sendo a estabilidade uma característica de interesse para genótipos com alta produtividade de grãos. Estas informações sugerem que estas cultivares podem ser menos sensíveis às alterações meteorológicas, como apresentado neste estudo.

Sabe-se que a fenotipagem de plantas realizada para o melhoramento genético requer ferramentas que possam auxiliar na identificação de genótipos

de elevado potencial produtivo, bem como características de interesse agrônomo relacionados a este potencial. No presente trabalho, as ferramentas SPAD e NDVI demonstraram associações a parâmetros importantes, que foram relacionados à biomassa, nitrogênio (N) acumulado e teor de clorofila em diversos estádios da cultura. A biomassa relacionou-se ao NDVI, avaliado pelo sensor Greenseeker[®], apenas no período vegetativo. A padronização do NDVI-INSEY, a partir dos graus-dia, permitiu uma associação a produtividade de grãos nos estádios da diferenciação da panícula até o emborrachamento (R0 a R2). O clorofilômetro SPAD mostrou-se mais eficiente no período reprodutivo, já que se correlacionou à biomassa em R1 e ao N acumulado nos estádios R4 e R9.

O presente estudo evidencia um conjunto de informações importantes para a cultura do arroz irrigado, visto que as avaliações aqui relatadas, principalmente aquelas relacionadas a ferramentas não destrutivas, ainda não haviam sido realizadas em genótipos brasileiros de arroz irrigado altamente produtivos. Os dados podem e devem ser usados por programas de melhoramento com o objetivo de identificar características que possam estar associadas à produtividade de grãos. Sendo assim, a identificação de características morfofisiológicas associadas ao uso de ferramentas de fenotipagem de plantas, pode contribuir para pesquisa na cultura do arroz irrigado no Brasil.