



Classificação da Incidência de Área Gessada do Arroz de Terras Altas e o Impacto das Variáveis Climáticas



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
63**

**Classificação da Incidência de Área
Gessada do Arroz de Terras Altas e o
Impacto das Variáveis Climáticas**

*Beatriz Rodrigues
Priscila Zaczuk Bassinello
Tereza Cristina de Oliveira Borba
David Henriques da Matta
Luís Fernando Stone
Alexandre Bryan Heinemann*

Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533-2105
Fax: (62) 3533-2100
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da
Embrapa Arroz e Feijão

Presidente
Roselene de Queiroz Chaves

Secretário-Executivo
Luiz Roberto Rocha da Silva

Membros
Ana Lúcia Delalibera de Faria, Luís Fernando Stone, Newton Cavalcanti de Noronha Júnior, Tereza Cristina de Oliveira Borba

Supervisão editorial
Luiz Roberto Rocha da Silva

Revisão de texto
Luiz Roberto Rocha da Silva

Normalização bibliográfica
Ana Lúcia Delalibera de Faria

Projeto gráfico da coleção
Fabiano Severino

Editoração eletrônica
Fabiano Severino

Foto da capa
Sebastião José de Araújo

1ª edição
Publicação digital - PDF (2022)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Classificação da incidência de área gessada do arroz de terras altas e o impacto das variáveis climáticas / Beatriz Rodrigues ... [et al.]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2022.

26 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 63)

1. Arroz - Temperatura. 2. Arroz - Gessamento. 3. Arroz - Qualidade do grão. I. Rodrigues, Beatriz. II. Bassinello, Priscila Zaczuk. III. Borba, Tereza Cristina de Oliveira. IV. Matta, David Henriques da. V. Stone, Luís Fernando. VI. Heinemann, Alexandre Bryan. VII. Embrapa Arroz e Feijão. VIII. Série.

CDD 633.18

Ana Lúcia Delalibera de Faria (CRB-1/324)

© Embrapa, 2022

Sumário

Introdução.....7

Material e Métodos8

Resultados.....15

Conclusões.....24

Referências25

Classificação da Incidência de Área Gessada do Arroz de Terras Altas e o Impacto das Variáveis Climáticas

Beatriz Rodrigues¹
Priscila Zaczuk Bassinello²
Tereza Cristina de Oliveira Borba³
David Henriques da Matta⁴
Luís Fernando Stone⁵
Alexandre Bryan Heinemann⁶

Resumo - O gessamento no grão de arroz torna-o opaco, mais quebradiço e com maior probabilidade de empapamento, portanto diminui a qualidade, além do valor de mercado. É um problema altamente influenciado por adversidades meteorológicas durante a safra. Até então, não há classificação oficial definida para a área gessada. Este estudo objetivou estabelecer uma classificação para a área gessada e determinar as variáveis climáticas que mais impactam esse defeito. Dados de quatro experimentos realizados em Porangatu, GO, e Vilhena, RO, safras 2018/2019 e 2019/2020, com 11 genótipos contrastantes, foram utilizados. A análise estatística foi dividida em três passos: 1) análise dos valores preditos da área gessada de 11 genótipos; 2) classificação dos valores preditos; e 3) análise classificatória para a indicação das variáveis climáticas mais discriminantes nos níveis de incidência de área gessada. Como resultado, foram obtidas três classes de incidência de área gessada, alta (valores >20%), média (valores >15% e ≤20%) e baixa (valores ≤15%). A variável meteorológica mais discriminante da incidência de área gessada foi a temperatura mínima do ar no ciclo da cultura. Valores de temperatura mínima do ar maiores que 23 °C durante o ciclo da cultura favoreceram a incidência de área gessada.

Termos para indexação: *Oryza sativa*, temperatura, gessamento.

¹ Graduanda em Estatística na Universidade Federal de Goiás, estagiária da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

² Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

³ Engenheira de Alimentos, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

⁴ Matemático, mestre em Estatística, professor da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

⁶ Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

Chalkiness Incidence Classification for Upland Rice and the Impact of Climate Variables

Abstract - Chalkiness in the rice grain makes it opaque, more brittle and with a higher probability of soggy, hence decrease its quality in the market value. This is a problem highly influenced by adverse weather conditions during the crop cycle. Nowadays, there is no official classification defined for the chalkiness area. This study aimed to establish a classification for the chalkiness area and to determine the climatic variables that most impact this defect. Data set from four experiments carried out in Porangatu, GO, and Vilhena, RO, 2018/2019 and 2019/2020 seasons, with 11 contrasting genotypes were used. The statistical analysis was done in three steps: 1) analysis of the predicted values of chalkiness area from 11 genotypes, 2) classification of the chalkiness predict values by a cluster method and 3) classification analysis for the indication of the most discriminating climatic variables in the incidence levels of the chalkiness area. As a result, three classes of chalkiness area were obtained, high (values $>20\%$), medium (values $>15\%$ and $\leq 20\%$) and low (values $\leq 15\%$). The most discriminating climate variable was the minimum temperature during the crop cycle. Minimum temperature greater than $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ during the crop cycle favored the incidence of the chalkiness.

Index terms: *Oryza sativa*, temperature, chalkiness.

Introdução

O Brasil é o décimo maior produtor de arroz e o consumo médio é de 32 kg por pessoa ao ano, representando 59% do consumo médio mundial, 54 kg por pessoa (Coêlho, 2021). O arroz faz parte do mercado global de grãos secos, crescendo a uma taxa robusta, devido à crescente conscientização sobre os benefícios para a saúde (Coêlho, 2021; USDA, 2022). Dada a importância no hábito alimentar e na cultura brasileira, estudar a diversidade genética da cultura para selecionar genótipos com maior potencial produtivo e melhor desempenho em aspectos culinários é uma importante estratégia para ações futuras nos programas de melhoramento. Para Fitzgerald et al. (2009), aspectos ligados à qualidade dos grãos de arroz envolvem aparência física, propriedades culinárias e sensoriais e valor nutricional, sendo tais fatores determinantes para o valor de mercado e para a aceitação do produto pelo consumidor. Um aspecto visual importante do grão é a translucidez, que pode ser comprometida por áreas opacas no endosperma, chamada de gessamento. Esse defeito, o gesso, torna o grão opaco, mais quebradiço e com maior probabilidade de empapamento, diminuindo a qualidade na culinária típica brasileira, além do valor de mercado (Marchezan et al., 1992), sendo, portanto, tema relevante para agricultores, melhoristas e consumidores em geral. Segundo Cheng et al. (2005) os principais fatores apontados para o gessamento são as condições meteorológicas adversas, especificamente as altas temperaturas do ar durante o enchimento dos grãos, ocasionando alterações na molécula do amido e tornando a formação dos grânulos dessa molécula desuniforme. Portanto, uma melhor compreensão dos efeitos dos elementos meteorológicos na qualidade do arroz poderá fornecer informações para novas estratégias de melhoramento para desenvolver cultivares adaptadas a um mundo afetado pelo aquecimento global (Zhao; Fitzgerald, 2013).

Segundo normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) (Brasil, 2009), o gesso é um defeito do grão, e para o arroz ser considerado gessado, o mesmo descascado e polido, inteiro ou quebrado deve apresentar coloração totalmente opaca. Nas indústrias brasileiras, mesmo os grãos totalmente gessados sendo considerados como defeito, de acordo com a Instrução Normativa nº 06/2009 (Brasil, 2009) para

enquadramento do arroz em tipos, também são identificados, separados e calculados os percentuais de grãos que apresentam opacidade entre 50% a 99% da área (comumente chamados de “barriga branca”) e entre 25% e 49% (“barriguinha”). Tal análise é feita de forma visual, com classificadores treinados. Alguns programas de melhoramento genético e indústrias beneficiadoras substituíram a avaliação visual da incidência de área gessada pela instrumental, realizada no analisador estatístico de arroz S21. Porém, não há uma escala padronizada para categorizar a porcentagem de área gessada, podendo ser realizado a critério de cada programa de melhoramento, tendo como referência a cultivar testemunha do experimento. O objetivo deste estudo foi propor uma metodologia para a classificação da incidência de área gessada por meio de uma combinação de técnicas estatísticas e determinar os impactos das variáveis meteorológicas nessa incidência. Este trabalho contribui para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 (ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável).

Material e Métodos

Quatro experimentos foram conduzidos em Porangatu, GO, e Vilhena, RO, nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, avaliando-se 11 genótipos de arroz de terras altas, dos quais cinco cultivares comerciais (AN Cambará, BRS A503, BRS Esmeralda, BRS Sertaneja e BRS Talento) e seis linhagens (AB172678, AB172729, AB172732, AB172740, AB172741 e AB172748) oriundas do Programa de Melhoramento Genético de Arroz da Embrapa Arroz e Feijão. A definição de uso dos genótipos nos ensaios ocorreu devido à relevância e possível contraste para a ocorrência de gessamento. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, parcelas de oito linhas com 5 m de comprimento, espaçamento de 0,35 m e densidade de 60 sementes por metro.

A distribuição das variáveis meteorológicas, a precipitação pluvial, as temperaturas máxima e mínima do ar e a radiação solar global nos experimentos estão ilustrados na Figura 1. A Figura 2 ilustra a diferença entre os locais, Porangatu, GO, e Vilhena, RO, na temperatura média do ar, considerando dados climáticos históricos de 1980 a 2016, provenientes do aplicativo infoclima (<https://www.cnpaf.embrapa.br/infoclima/>).

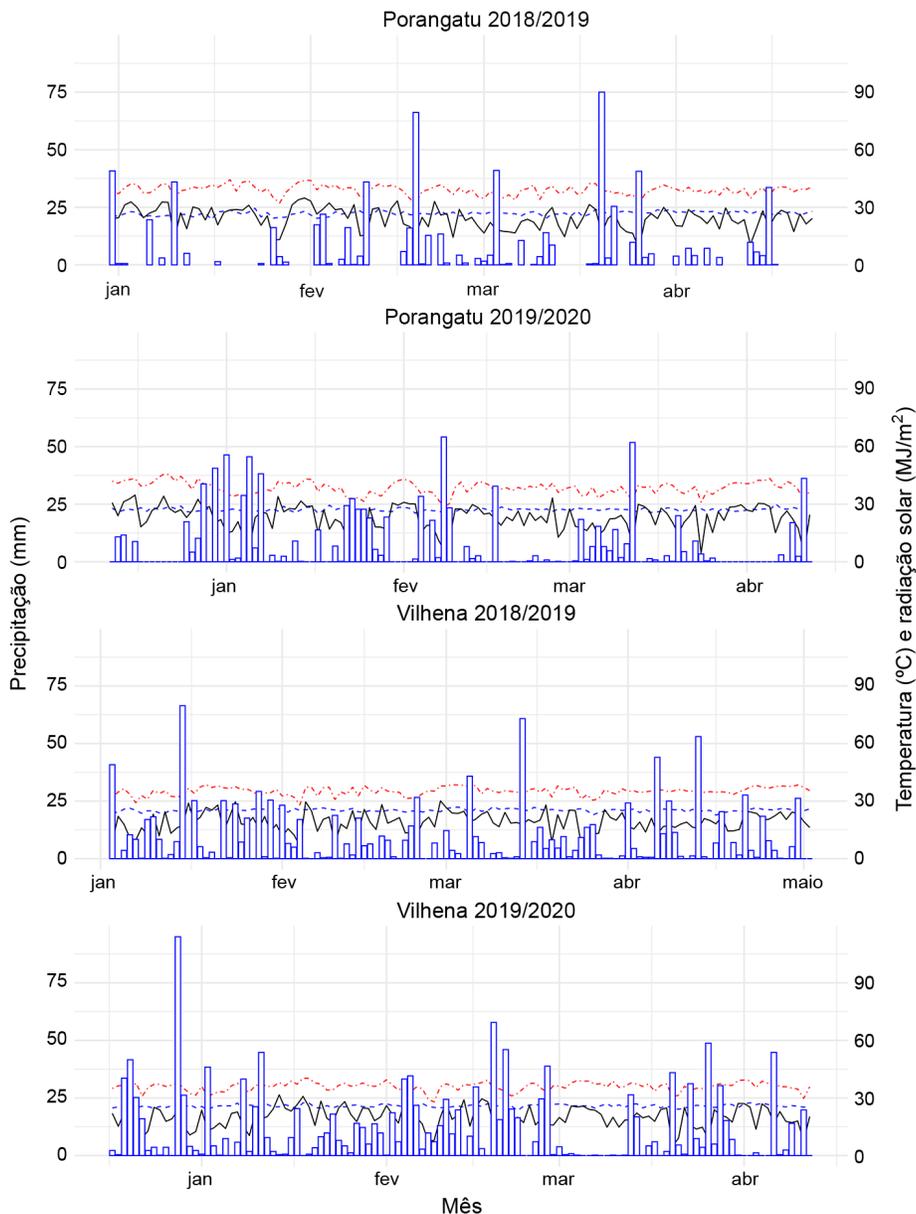


Figura 1. Distribuição das variáveis meteorológicas, precipitação pluvial (mm), temperaturas máxima e mínima do ar (°C) e radiação solar global (MJ/m²) por locais (Porangatu, GO, e Vilhena, RO) e safra (2018/2019 e 2019/2020) nos experimentos utilizados no estudo.

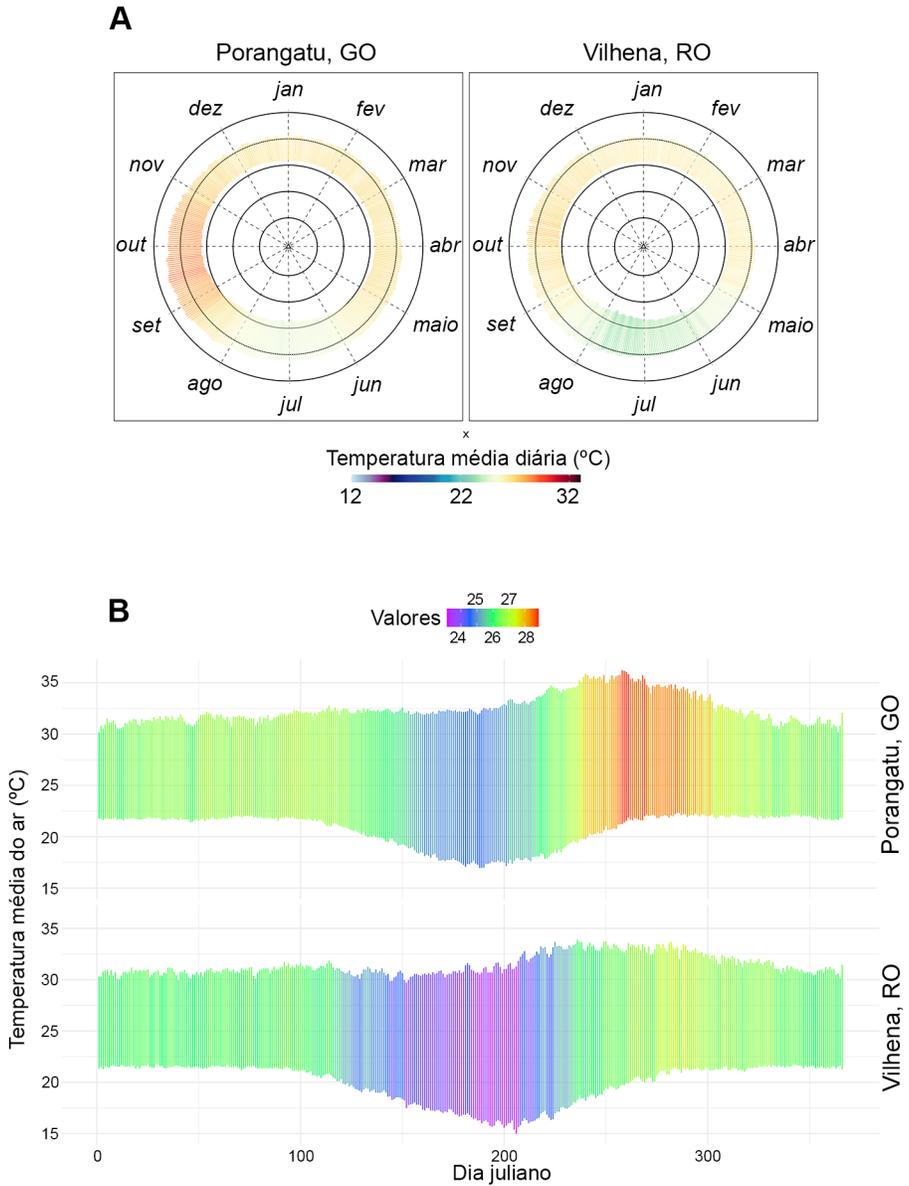


Figura 2. Diferenças da temperatura média do ar baseadas em dados históricos (1980 a 2016) para as localidades de Porangatu, GO, e Vilhena, RO, em duas formas de visualização: circular (A) e linear (B).

Caracterização do grão de arroz de terras altas

Os grãos dos experimentos descritos foram colhidos após a maturação fisiológica dos genótipos, tendo o mesmo intervalo entre a maturação fisiológica e a data de colheita, em todos os experimentos e após a colheita, foram secos ao sol e beneficiados (descascados e polidos) em moinho de provas. A caracterização do grão polido foi realizada acerca da aparência física (gessamento) do grão cru. A variável de caracterização analisada foi a área gessada (%), obtida através do Analisador Estatístico de Arroz S21[®], com 100 g de arroz polido, provenientes de cada parcela experimental dos experimentos de campo, sendo a porcentagem de gessamento avaliada proporcionalmente dada a presença de opacidade ocasionada pelo arranjo dos grânulos de amido e as proteínas das células do arroz.

Análise estatística

Após análise exploratória dos dados observados, foi feita uma abordagem estatística, em três etapas. A primeira etapa, definida como “modelo misto”, objetivou obter os valores preditos da área gessada em função dos valores observados para os 11 genótipos em cada experimento de campo; a segunda, denominada “análise de classificação”, consistiu na aplicação de análise de classificação não supervisionada nos valores preditos obtidos na etapa 1, objetivando obter os níveis de classificação para gessagem; e a terceira consistiu na aplicação de um modelo de regressão não paramétrico, tendo como variável resposta os níveis de classificação, obtidos na etapa 2 e como variável independente uma matriz com variáveis meteorológicas, obtidas nos experimentos de campo, chamada “árvore de decisão” visando quantificar o impacto das variáveis meteorológicas nos níveis da área gessada obtidos na etapa 2. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa R (R Core Team, 2022).

Modelo misto

Após análise descritiva, optou-se pela aplicação de modelo misto devido a falta de normalidade e homocedasticidade da variância dos dados observados, verificando-se também a heterocedasticidade sob o efeito das safras e locais, presumindo que tais variáveis devam ser estimadas como efeitos aleatórios. Assim, local e safra foram definidos como efeitos aleatórios.

O modelo misto final foi definido por:

$$\log(A_{ijk}) = G_i + L_j * S_k + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

Em que $\log(A_{ijk})$ é o logaritmo da área gessada (%) estimada do i -ésimo genótipo, do j -ésimo local e da k -ésima safra; G_i , é o genótipo i ($i = 1, \dots, 11$) é a i -ésima posição do vetor de efeitos fixos que descreve os genótipos; L_j é o local j ($j = 1, 2$) é a j -ésima posição do vetor de efeitos aleatórios dos locais (Porangatu, GO, e Vilhena, RO) e S_k é a safra k ($k = 1, 2$) e a k -ésima posição do vetor de efeitos aleatórios que descreve as safras (2018/2019 e 2019/2020); e ϵ_{ijk} o vetor aleatório de erros ou resíduos, com distribuição normal de média zero e variância σ^2 .

As interações genótipo x local e genótipo x safra não foram incorporadas no modelo final como efeito fixo, pois não foram significativas. Por outro lado, quando incorporadas como efeito aleatório não impactaram significamente a *deviance* explicada. Ressalta-se que as variáveis não contempladas no modelo final não eram significativas como efeito fixo, ou não impactaram significativamente a *deviance* explicada, quando tomadas como efeito aleatório.

Análise de classificação

Para a classificação dos valores preditos da área gessada dos genótipos, aplicou-se um método de aprendizado supervisionado, denominado *K-means*, algoritmo de aprendizado de máquina (ML) não supervisionado, para o método de reconhecimento de padrões. O número de clusters (ambientes) foi definido com base no critério do Método do Cotovelo (soma dos quadrados dentro dos clusters). A similaridade entre quaisquer dados foi quantificada em termos de distância euclidiana (Hartigan; Wong, 1979).

Árvore de decisão

Depois de classificar os níveis de área gessada observados na análise de classificação, por meio do algoritmo *K-means*, foi aplicado um segundo método de aprendizado supervisionado para associar os níveis de área gessada às informações ambientais (matriz de variáveis meteorológicas). Primeiramente, o processo de tradução de dados ambientais brutos em informações confiáveis (ambientipagem) foi realizado no Software R (R Core Team, 2022), seguindo as

etapas: 1) coleta de dados ambientais nas estações climáticas localizadas nas áreas experimentais; 2) processamento estatístico dos dados, contabilizando o ciclo da cultura e/ou estágios específicos de desenvolvimento; e 3) uso dos dados para elaborar a matriz de variáveis meteorológicas (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis meteorológicas utilizadas no estudo.

Informação	Acrônimo	Descrição	Período
Temperatura	Tmáx máxima	Máximo da temperatura máxima do ar (°C)	Todo o ciclo da cultura
	Tmáx mínima	Mínimo da temperatura máxima do ar (°C)	Todo o ciclo da cultura
	Tmáx média	Média da temperatura máxima do ar (°C)	Todo o ciclo da cultura
	Tmáx ip e i	Temperatura máxima do ar (°C)	Iniciação da panícula (IP)
	Tmáx fld m	Temperatura máxima do ar (°C)	Florescimento (FLO)
	Tmáx V	Temperatura máxima do ar (°C)	Vegetativo (V)
	Tmáx ACC V	Temperatura máxima acumulada (°C)	Vegetativo (V)
	Tmáx R	Temperatura máxima do ar (°C)	Reprodutivo (R)
	Tmáx ACC R	Temperatura máxima acumulada (°C)	Reprodutivo (R)
	Tmáx EG	Temperatura máxima do ar (°C)	Enchimento de grãos (EG)
	Tmáx ACC EG	Temperatura máxima acumulada (°C)	Enchimento de grãos (EG)
	Tmín máxima	Máximo da temperatura mínima do ar (°C)	Todo o ciclo da cultura
	Tmín mínima	Mínimo da temperatura mínima do ar (°C)	Todo o ciclo da cultura
	Tmín média	Média da temperatura mínima do ar (°C)	Todo o ciclo da cultura
	Tmín ip e i	Temperatura mínima do ar (°C)	Iniciação da panícula (IP)
	Tmín fld m	Temperatura mínima do ar (°C)	Florescimento (FLO)
	Tmín V	Temperatura mínima do ar (°C)	Vegetativo (V)
	Tmín ACC V	Temperatura mínima acumulada (°C)	Vegetativo (V)
	Tmín R	Temperatura mínima do ar (°C)	Reprodutivo (R)
	Tmín ACC R	Temperatura mínima acumulada (°C)	Reprodutivo (R)
Tmín EG	Temperatura mínima do ar (°C)	Enchimento de grãos (EG)	
Tmín ACC EG	Temperatura mínima acumulada (°C)	Enchimento de grãos (EG)	
Precipitação	Chuva ACC	Precipitação pluvial acumulada mm	Todo o ciclo da cultura
	Chuva ACC V	Precipitação pluvial acumulada mm	Vegetativo (V)
	Chuva ACC R	Precipitação pluvial acumulada mm	Reprodutivo (R)
	Chuva ACC EG	Precipitação pluvial acumulada mm	Enchimento de grãos (EG)
Radiação	Rad ACC	Radiação solar global acumulada MJ/m ²	Todo o ciclo da cultura
	Rad ACC V	Radiação solar global acumulada MJ/m ²	Vegetativo (V)
	Rad ACC R	Radiação solar global acumulada MJ/m ²	Reprodutivo (R)
	Rad ACC EG	Radiação solar global acumulada MJ/m ²	Enchimento de grãos (EG)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Informação	Acrônimo	Descrição	Período
Umidade	Umidade mínima máxima	Máximo da umidade mínima do ar (%)	Todo o ciclo da cultura
	Umidade mínima	Mínimo da umidade mínima do ar (%)	Todo o ciclo da cultura
	Umidade mínima média	Média da umidade mínima do ar (%)	Todo o ciclo da cultura
	Umidade mínima ip e i	Umidade mínima do ar (%)	Iniciação da panícula (IP)
	Umidade mínima fld m	Umidade mínima do ar (%)	Florescimento (FLO)
	Umidade mínima V	Umidade mínima do ar (%)	Vegetativo (V)
	Umidade mínima ACC V	Umidade mínima acumulada (%)	Vegetativo (V)
	Umidade mínima R	Umidade mínima do ar (%)	Reprodutivo (R)
	Umidade mínima ACC R	Umidade mínima acumulada (%)	Reprodutivo (R)
	Umidade mínima EG	Umidade mínima do ar (%)	Enchimento de grãos (EG)
	Umidade máxima	Máximo da umidade máxima do ar (%)	Todo o ciclo da cultura
	Umidade máxima Mínima	Mínimo da umidade máxima do ar (%)	Todo o ciclo da cultura
	Umidade máxima Média	Média da umidade máxima do ar (%)	Todo o ciclo da cultura
	Umidade máxima ip e i	Umidade máxima do ar (%)	Iniciação da panícula (IP)
	Umidade máxima fld m	Umidade máxima do ar (%)	Florescimento (FLO)
	Umidade máxima V	Umidade máxima do ar (%)	Vegetativo (V)
	Umidade máxima R	Umidade máxima do ar (%)	Reprodutivo (R)
	Umidade máxima EG	Umidade máxima do ar (%)	Enchimento de grãos (EG)
Vento	Vento média	Velocidade média do vento (km/h)	Todo ciclo da cultura
	Vento fld m	Velocidade do vento (km/h)	Florescimento (FLO)
	Vento V	Velocidade do vento (km/h)	Vegetativo (V)
	Vento R	Velocidade do vento (km/h)	Reprodutivo (R)
	Vento EG	Velocidade do vento (km/h)	Enchimento de grãos (EG)
Ponto de orvalho	POmín máxima	Máximo do ponto de orvalho mínimo (°C)	Todo o ciclo da cultura
	POmín mínima	Mínimo do ponto de orvalho mínimo (°C)	Todo o ciclo da cultura
	POmín média	Média do ponto de orvalho mínimo (°C)	Todo o ciclo da cultura
	POmín ip e i	Ponto de orvalho mínimo (°C)	Iniciação da panícula (IP)
	POmín fld m	Ponto de orvalho mínimo (°C)	Florescimento (FLO)
	POmín V	Ponto de orvalho mínimo (°C)	Vegetativo (V)
	POmín R	Ponto de orvalho mínimo (°C)	Reprodutivo (R)
	POmín EG	Ponto de orvalho mínimo (°C)	Enchimento de grãos (EG)
	POmáx máxima	Máximo do ponto de orvalho máximo (°C)	Todo o ciclo da cultura
	POmáx mínima	Mínimo do ponto de orvalho máximo (°C)	Todo o ciclo da cultura
	POmáx média	Média do ponto de orvalho máximo (°C)	Todo o ciclo da cultura
	POmáx ip e i	Ponto de orvalho máximo (°C)	Iniciação da panícula (IP)
	POmáx fld m	Ponto de orvalho máximo (°C)	Florescimento (FLO)
	POmáx V	Ponto de orvalho máximo (°C)	Vegetativo (V)
	POmáx R	Ponto de orvalho máximo (°C)	Reprodutivo (R)
POmáx EG	Ponto de orvalho máximo (°C)	Enchimento de grãos (EG)	

Após relacionar os níveis de gessamento, definidos na análise de classificação, e as variáveis meteorológicas (Tabela 1), aplicou-se método de aprendizado supervisionado não paramétrico, utilizado para classificação, denominado modelos de árvore de decisão (AD).

Resultados

Com base nas informações climáticas históricas, as maiores diferenças entre as duas localidades (Vilhena, RO) e (Porangatu, GO) relacionadas à temperatura média do ar (Figura 2) ocorre no período de abril (a partir do dia juliano 100) ao final de outubro (dia juliano 300). Nesse período, Porangatu, GO, tem valores maiores para a temperatura média do ar, principalmente no período da segunda quinzena de julho ao final de outubro. Para a época de cultivo do arroz de terras altas (novembro a abril) as temperaturas médias do ar não apresentam contraste acentuado, com Porangatu, GO, apresentando, em média, temperaturas do ar maiores (um a dois graus a mais) que Vilhena, RO (Figura 2).

Os dados observados da área gessada para os dois locais, Porangatu, GO, e Vilhena, RO, e as safras 2018/2019 e 2019/2020 estão na Figura 3.

Na Figura 3, verifica-se tendência de não normalidade dos resíduos (assimetria observada nos gráficos de boxplot), homocedasticidade da variância e a heterocedasticidade sob o efeito das safras e locais (amplitude observada nos gráficos de boxplot). A variância e os erros médios da predição, a posteriori dos efeitos aleatórios, estão na Tabela 2, ilustrando a importância dos efeitos aleatórios para a predição da área de gessamento dos grãos dos genótipos avaliados no estudo. Por exemplo, apenas o local explica 18% da área gessada dos grãos, enquanto a interação com a safra explica 40,6% (Tabela 2), retirando grande parte do impacto encontrado no resíduo, que não pode ser explicado.

Tabela 2. Variância, erro médio e importância explicativa dos efeitos aleatórios.

Fator	Variância	Erro	Importância explicativa (%)
Interação safra/local	0,021	0,145	40,6
Local	0,004	0,064	18,0
Resíduos	0,022	0,148	41,4

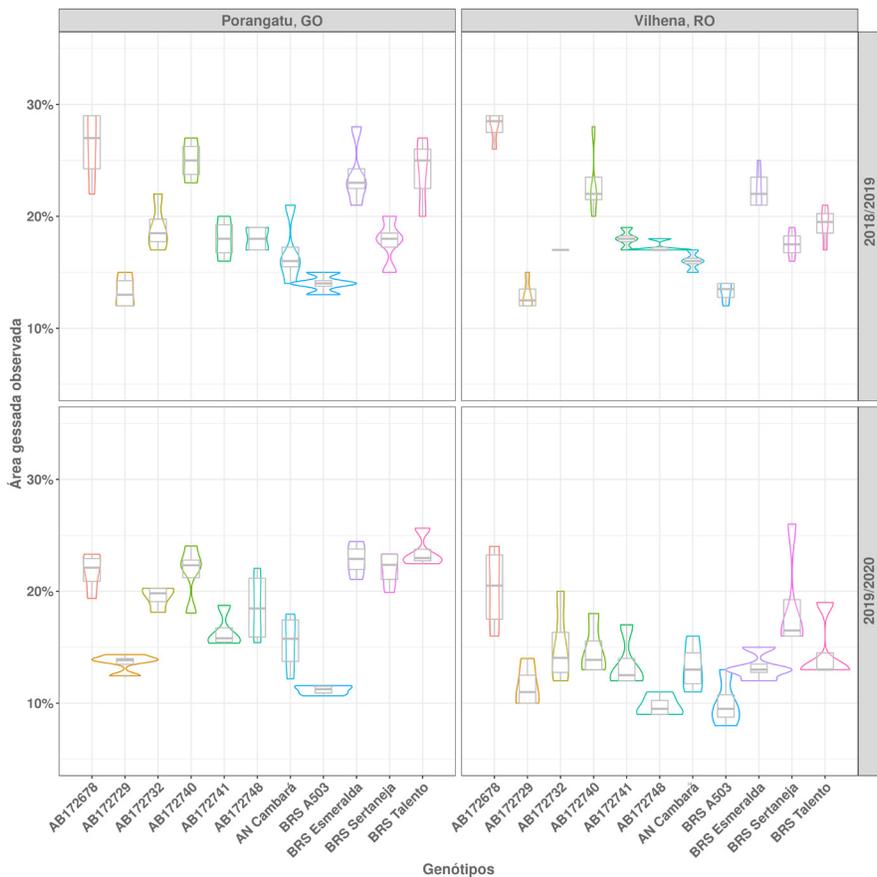


Figura 3. Distribuição da área gessada, por genótipo, local e safra.

Os valores preditos da área gessada e os respectivos limites, superior e inferior, do intervalo de confiança e o erro médio padrão da predição a posteriori são ilustrados na Tabela 3. A maior incidência de área gessada foi observada no genótipo AB172678. Entretanto, o genótipo BRS A503 apresentou a menor incidência de gessamento.

Tabela 3. Área gessada predita das cultivares e respectivos limites de confiança e erro dentro da safra e local.

Cultivar	Safra	Local	Área gessada estimada (%)	Limite inferior	Limite superior	Erro
AB172678	2018/2019	Porangatu	26	21,9	31,2	2,6

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Cultivar	Safra	Local	Área gessada estimada (%)	Limite inferior	Limite superior	Erro
AB172729	2018/2019	Porangatu	14	11,8	16,8	1,4
AB172732	2018/2019	Porangatu	19	16,1	22,9	1,9
AB172740	2018/2019	Porangatu	23	19	27,1	2,2
AB172741	2018/2019	Porangatu	18	15	21,4	1,8
AB172748	2018/2019	Porangatu	17	14,2	20,2	1,7
AN Cambará	2018/2019	Porangatu	17	14	20	1,7
BRS A503	2018/2019	Porangatu	13	11	15,7	1,3
BRS Esmeralda	2018/2019	Porangatu	22	18,5	26,3	2,2
BRS Sertaneja	2018/2019	Porangatu	21	17,4	24,7	2,1
BRS Talento	2018/2019	Porangatu	22	18,1	25,8	2,1
AB172678	2018/2019	Vilhena	25	20,7	29,5	2,5
AB172729	2018/2019	Vilhena	13	11,3	16,1	1,3
AB172732	2018/2019	Vilhena	18	15,4	22	1,8
AB172740	2018/2019	Vilhena	22	18,1	25,8	2,1
AB172741	2018/2019	Vilhena	17	14,4	20,5	1,7
AB172748	2018/2019	Vilhena	16	13,6	19,4	1,6
AN Cambará	2018/2019	Vilhena	16	13,4	19,1	1,6
BRSA503	2018/2019	Vilhena	13	10,6	15	1,2
BRS Esmeralda	2018/2019	Vilhena	21	17,7	25,2	2,1
BRS Sertaneja	2018/2019	Vilhena	20	16,6	23,7	2
BRS Talento	2018/2019	Vilhena	21	17,3	24,7	2
AB172678	2019/2020	Porangatu	25	21	30	2,5
AB172729	2019/2020	Porangatu	14	11,4	16,2	1,3
AB172732	2019/2020	Porangatu	19	15,5	22,1	1,8
AB172740	2019/2020	Porangatu	22	18,2	26	2,2
AB172741	2019/2020	Porangatu	17	14,4	20,5	1,7
AB172748	2019/2020	Porangatu	16	13,5	19,3	1,6
AN Cambará	2019/2020	Porangatu	16	13,5	19,3	1,6
BRSA503	2019/2020	Porangatu	13	10,5	15	1,2
BRS Esmeralda	2019/2020	Porangatu	21	17,8	25,3	2,1
BRS Sertaneja	2019/2020	Porangatu	20	16,7	23,8	2
BRS Talento	2019/2020	Porangatu	21	17,4	24,8	2,1
AB172678	2019/2020	Vilhena	19	15,8	22,5	1,9

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Cultivar	Safra	Local	Área gessada estimada (%)	Limite inferior	Limite superior	Erro
AB172729	2019/2020	Vilhena	10	8,5	12	1
AB172732	2019/2020	Vilhena	14	11,6	16,5	1,4
AB172740	2019/2020	Vilhena	16	13,6	19,3	1,6
AB172741	2019/2020	Vilhena	13	10,8	15,4	1,3
AB172748	2019/2020	Vilhena	12	10,1	14,4	1,2
AN Cambará	2019/2020	Vilhena	12	10	14,3	1,2
BRSA503	2019/2020	Vilhena	9	7,9	11,3	0,9
BRS Esmeralda	2019/2020	Vilhena	16	13,2	18,8	1,6
BRS Sertaneja	2019/2020	Vilhena	15	12,3	17,5	1,5
BRS Talento	2019/2020	Vilhena	16	13	18,5	1,5

Classificação da área gessada

Com base na análise de agrupamento (K-Means) dos valores preditos de área gessada, formou-se três classes, denominadas baixa, média e alta incidência (Figura 4). Baixa incidência ocorre para valores de área gessada menores ou iguais a 15%, alta incidência para valores acima de 20% e média para valores acima de 15% e menores ou iguais a 20%. Considerando os quatro experimentos analisados, foram observadas 14 ocorrências de alta incidência de área gessada (Tabela 3), 17 de média incidência e 13 de baixa incidência (Tabela 3 e Figura 5). Os resultados indicam que Porangatu, GO, é menos afetado pela variabilidade da safra do que Vilhena, RO, dado os valores estimados de área gessada para Porangatu, GO, serem próximos para as duas safras. Portanto, Porangatu, GO, pode ser considerado local importante para testar genótipos para área gessada. No entanto, Vilhena, RO, tem maior variabilidade, em função da safra. A safra 2018/2019, em Vilhena, RO, teve maiores números de alta e média incidências de área gessada do que a safra 2019/2020. A safra 2018/2019 em Vilhena, RO, apresentou maiores picos de temperatura máxima do ar durante a fase juvenil (germinação à iniciação da panícula) (Figura 1). A Tabela 4 confirma o dado, mostrando a temperatura máxima do ar acumulada para a safra 2018/2019 de 1.310 °C, e na safra 2019/2020 de 1.285 °C. Comparando-se as duas localidades, Porangatu, GO, e Vilhena, RO, nas duas safras, Porangatu apresentou maior acúmulo de temperatura máxima para as duas safras.

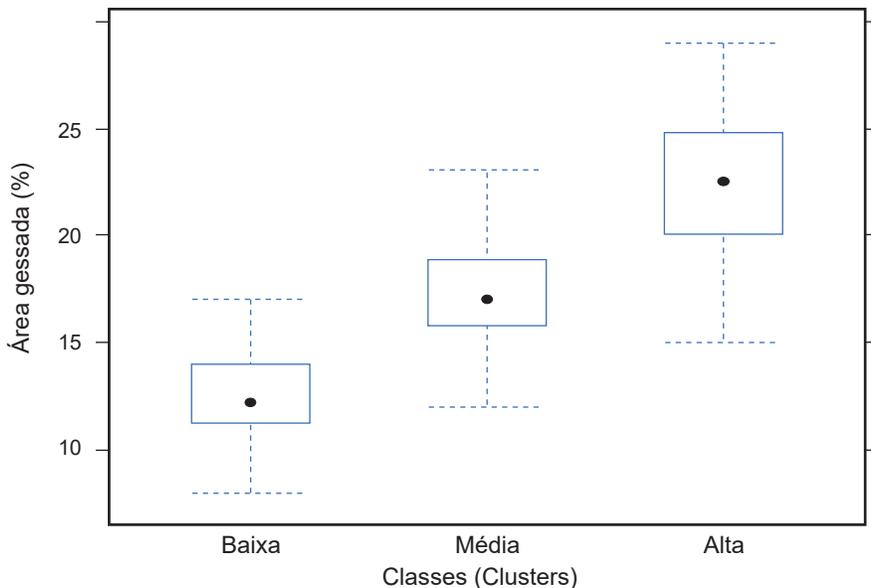


Figura 4. Distribuição das classes de incidência de área gessada pela análise de classificação.

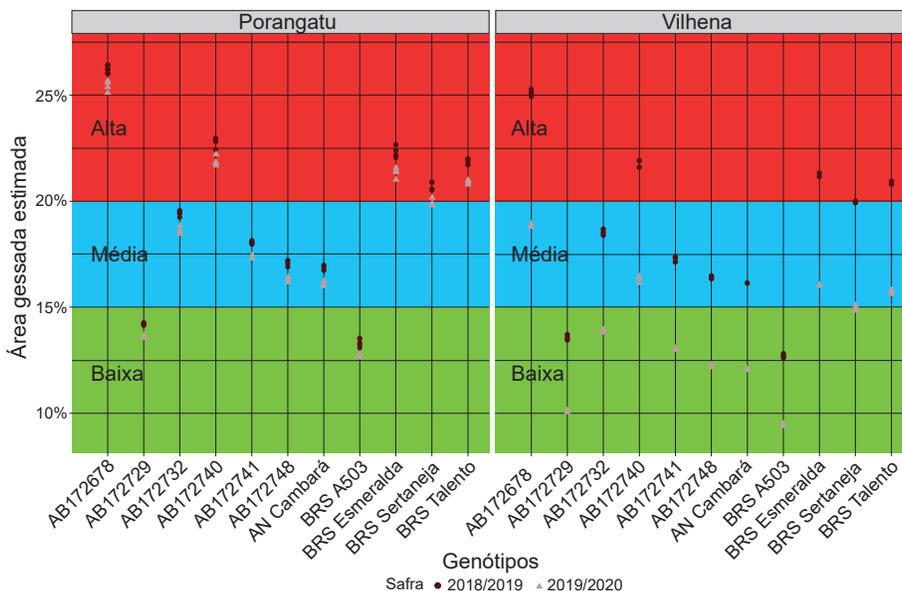


Figura 5. Área gessada estimada dos genótipos, por safra e local. Cores indicam a incidência da área gessada: Vermelho: alta incidência; azul: média incidência; e verde: baixa incidência; Circulo preto cheio é a safra 2018/2019 e triângulo cinza cheio safra 2019/2020 .

Impacto das variáveis meteorológicas na área gessada

O impacto das variáveis meteorológicas nas classes de incidência de área gessada (alta, média e baixa) é ilustrado na Figura 6. A acurácia da árvore de decisão foi de 79%, sendo a quantidade no número de dados observados um fator limitante para o aumento.

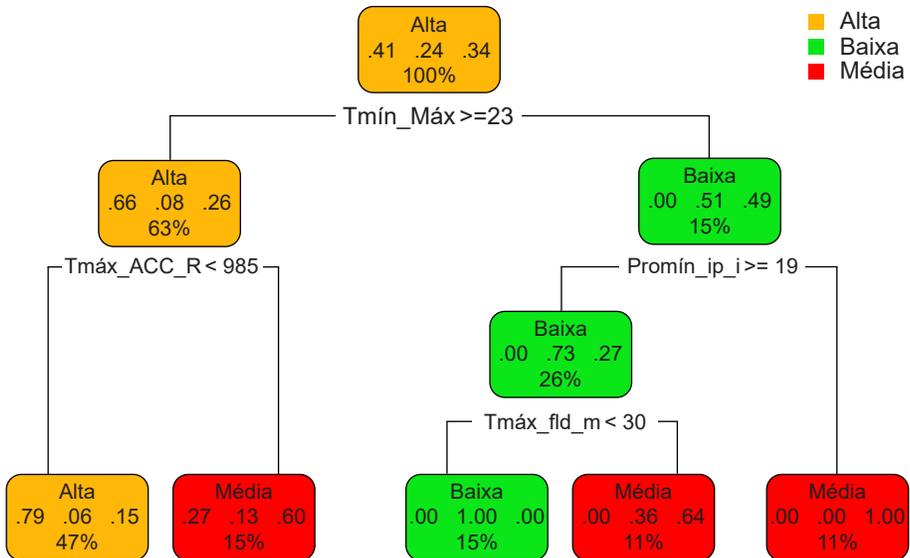


Figura 6. Impacto das variáveis meteorológicas nas classes de incidência de área gessada (alta, média e baixa), proporção dos eventos nas classes e porcentagem de indivíduos em relação ao total .

A variável meteorológica com maior poder de discriminação é a temperatura mínima do ar. Vários estudos afirmam que a alta temperatura, principalmente durante a etapa de enchimento dos grãos, diminui a taxa de branqueamento do arroz, aumenta a área gessada e reduz o amido total e a amilose (Jing et al., 2016; Kato et al., 2019; Yao et al., 2020). Segundo Lanning et al. (2011), a elevada temperatura do ar noturna durante o estágio reprodutivo contribui para o aumento da formação de grãos gessados e reduz a qualidade do arroz beneficiado. Os autores sugerem que pode existir uma faixa de temperatura do ar ideal para a formação de amido, abaixo e acima da qual a formação de gessamento é desencadeada. A

temperatura ótima do ar afeta a funcionalidade das enzimas responsáveis pela formação do amido no endosperma durante os estádios de enchimento do grão. Neste estudo, a temperatura noturna do ar maior que 23 °C durante o ciclo da cultura, favoreceu a incidência da área gessada. Para o sítio de Porangatu, GO, ambas as safras, 2018/2019 e 2019/2020, a temperatura mínima máxima para o ciclo da cultura foi de 24,6 °C, ou seja, acima do valor mínimo (23 °C). No entanto, para o sítio de Vilhena, RO, os valores da temperatura mínima máxima foram de 23,1 °C e 22,9 °C, isto é, para a safra 2018/2019 o valor foi pouco acima do valor crítico (>23 °C), e para a safra 2019/2020, abaixo do valor crítico, explicando a maior incidência de gessagem no sítio de Porangatu, GO, e na safra 2018/2019, para Vilhena, RO. A segunda variável climática com maior poder de discriminação é o valor acumulado da temperatura máxima no período reprodutivo, que deve ser menor que 985 °C, favorecendo a incidência de área gessada. O sítio de Porangatu, GO, apresentou, para ambas as safras, valores muito próximos a esse (Tabela 4). Entretanto, para o sítio de Vilhena, RO, os valores de temperatura acumulada foram menores que 985 °C (913 °C e 915 °C) para as safras 2018/2019 e 2019/2020. Na literatura não foi encontrada explicação plausível para o efeito de valores acumulados de temperatura máxima abaixo de 985 °C, no período reprodutivo, que favoreçam alta incidência de gessagem. Mais uma vez, ressalta-se a necessidade de futuros experimentos com maior gama de dados climáticos contrastantes para validar as informações obtidas no estudo. De acordo com a literatura, o incremento da temperatura do ar aumenta o gessamento devido ao comprometimento no acúmulo de amido e outras vias biossintéticas de armazenamento no grão, reduzindo a porcentagem de grãos inteiros e o rendimento de engenho (Sreenivasulu et al., 2015). Souza et al. (2020) constataram que maiores valores de gessamento foram observados quando ocorreram elevadas temperaturas do ar na antese à colheita (máxima de 34,3 °C), ou seja, altas temperaturas durante o período de enchimento de grãos aumenta a incidência de grãos gessados. Durante o desenvolvimento dos grãos de arroz, temperaturas altas favorecem a formação de gesso devido ao acúmulo irregular e pouco compactado dos fotoassimilados no endosperma, o que resulta em grãos mais frágeis durante o processo industrial, aumentando a quebra e diminuindo o rendimento de engenho (Lyman et al., 2013). Os autores relataram que um aumento de 1 °C na temperatura média do ar durante o ciclo da cultura reduziu a produtividade

do arroz em 6,2%, o rendimento de arroz beneficiado entre 7,1% e 8%, o rendimento de grãos inteiros entre 9% e 13,8% e aumentou a porcentagem de grãos gessados. Na fase de enchimento de grãos (FLO-MF), a temperatura máxima do ar foi de 32,1 °C e 31,2 °C nas safras 2018/2019 e 2019/2020, em Porangatu, GO, e 29,6 °C e 30,2 °C no sítio de Vilhena, RO, respectivamente. O incremento da temperatura do ar aumenta o gessamento devido ao comprometimento no acúmulo de amido e outras vias biossintéticas de armazenamento no grão, reduzindo a porcentagem de grãos inteiros e o rendimento de engenho (Sreenivasulu et al., 2015). Zhao e Fitzgerald (2013), por sua vez, afirmaram que a temperatura do ar por si só pode não ser o principal fator que diminui a quantidade e a qualidade de arroz, mas outros elementos meteorológicos combinados levam a condições desfavoráveis para a evaporação e resfriamento transpiracional. Verificaram também que o efeito das variáveis meteorológicas variou com a estação de cultivo. Baixa umidade relativa do ar e alto deficit de pressão de vapor na estação seca resultou em baixo gessamento e alto rendimento de grãos inteiros, apesar da temperatura máxima do ar mais alta. Contudo, nas condições opostas da estação chuvosa, o gessamento foi alto e o rendimento de grãos inteiros foi baixo, sugerindo que o resfriamento transpiracional é fator chave que afeta o gessamento e o rendimento de grãos inteiros. Para Sreenivasulu et al. (2015), altas temperaturas se referem a 35 °C/30 °C dia/noite. Lyman et al. (2013) consideraram 33 °C/22 °C dia/noite e para Souza et al. (2020) a temperatura máxima de 34,3 °C foi a que aumentou a incidência de grãos gessados. Como neste estudo as temperaturas máximas ficaram abaixo desses valores, é possível que tenham menos impacto no gessamento.

Valores de ponto de orvalho na iniciação da panícula maior que 19 °C também favorecem a incidência de gessagem. Entretanto, na literatura não há estudos específicos para essa fase que descrevam o impacto do fator na gessagem. Neste trabalho os valores encontrados para o ponto de orvalho mínimo na iniciação da panícula foi de 20 °C; 20,7 °C; 18,9 °C e 18,4 °C para Porangatu, GO, e Vilhena, RO, safras 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente.

Tabela 4. Resumo das variáveis meteorológicas acumulada e média observadas nos experimentos.

Local	Safra	Intervalo	Tmáx (°C)	Tmín (°C)	Prec (mm)	Radiação (MJ/m ²)
Porangatu	2018/2019	G-IP	1565/32,2	1033/22,0	227	1044/22,2
Porangatu	2019/2020	G-IP	1527/32,6	1064/22,6	462	920/19,6
Porangatu	2018/2019	IP-FLO	979/31,7	686/22,2	208	573/18,5
Porangatu	2019/2020	IP-FLO	980/31,2	696/22,5	202	582/18,8
Porangatu	2018/2020	FLO-MF	991/32,1	706/22,8	271	589/19,0
Porangatu	2019/2021	FLO-MF	959/31,2	698/22,5	173	541/17,5
Porangatu	2018/2020	G-MF	3535/32,5	2425/22,3	706	2206/19,6
Porangatu	2019/2020	G-MF	3466/31,8	2459/22,6	838	2043/18,6
Vilhena	2018/2019	G-IP	1310/29,7	924/21,0	455	772/17,6
Vilhena	2019/2020	G-IP	1285/29,9	916/21,7	531	720/16,8
Vilhena	2018/2019	IP-FLO	913/29,5	660/21,3	334	530/17,1
Vilhena	2019/2020	IP-FLO	915/29,6	666/21,5	468	515/16,6
Vilhena	2018/2019	FLO-MT	915/29,6	661/21,2	292	478/15,4
Vilhena	2019/2020	FLO-MT	931/30,2	666/21,6	292	489/15,8
Vilhena	2018/2019	G-MF	3138/29,6	2244/21,3	1081	1780/16,7
Vilhena	2019/2020	G-MF	3131/29,8	2249/21,5	1291	1724/16,4

Tmáx: Temperatura máxima do ar; Tmín: Temperatura mínima do ar; Prec: Precipitação pluvial; Radiação: Radiação solar global; G-IP: Germinação à iniciação da panícula (IP); IP-FLO: Iniciação da panícula ao florescimento (FLO); e FLO-MF: Florescimento à maturação fisiológica (MF). Considerou-se a média dos genótipos para as datas de IP, FLO e MF para cada local e safra.

Conclusões

- a) A metodologia proposta, ineditamente, no estudo, pode ser utilizada para definir uma escala de gessamento e determinar variáveis meteorológicas que impactam no gessamento do grão de arroz. Entretanto, a metodologia proposta deve ser validada utilizando-se dados de área gessada de mais locais e safras;
- b) Definiram-se três classes de incidência de área gessada: alta (valores >20%); média (valores >15% e ≤20); e baixa (valores ≤15%);

- c) A variável meteorológica que mais diferenciou o aumento da área gessada durante o ciclo da cultura foi a temperatura mínima do ar, com valores maiores que 23 °C.

Referências

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009. Aprova o Regulamento Técnico do Arroz, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem e revoga os normativos que menciona. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 17 fev. 2009. Seção 1. p. 3-8.
- CHENG, F. M.; ZHONG, L. J.; WANG, F.; ZHANG, G. P. Differences in cooking and eating properties between chalky and translucent parts in rice grains. **Food Chemistry**, v. 90, n. 1/2, p. 39-46, Mar./Apr. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.018>.
- COÊLHO, J. D. **Arroz: produção e mercado**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2021. (Série Caderno Setorial ETENE, 156). Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/698/1/2021_CDS_156.pdf. Acesso em: 27 abr. 2022.
- FITZGERALD, M. A.; MCCOUCH, S. R.; HALL, R. D. Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in Plant Science**, v. 14, n. 3, p. 133-139, Mar. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.12.004>.
- HARTIGAN, J.; WONG, M. A. Algorithm AS 136: a k-means clustering algorithm. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C**, v. 28, n. 1, p. 100-108, 1979. DOI: <https://doi.org/10.2307/2346830>.
- JING, L.; WANG, J.; SHEN, S.; WANG, Y.; ZHU, J.; WANG, Y.; YANG, L. The impact of elevated CO₂ and temperature on grain quality of rice grown under open-airfield conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 11, p. 3658-3667, Aug. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7545>.
- KATO, K.; SUZUKI, Y.; HOSAKA, Y.; TAKAHASHI, R.; KODAMA, I.; SATO, K.; KAWAMOTO, T.; KUMAMARU, T.; FUJITA, N. Effect of high temperature on starch biosynthetic enzymes and starch structure in japonica rice cultivar 'Akitakomachi' (*Oryza sativa* L.) endosperm and palatability of cooked rice. **Journal of Cereal Science**, v. 87, p. 209-214, May 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.04.001>.
- LANNING, S. B.; SIEBENMORGEN, T. J.; COUNCE, P. A.; AMBARDEKAR, A. A.; MAUROMOUSTAKOS, A. Extreme nighttime air temperatures in 2010 impact rice chalkiness and milling quality. **Field Crops Research**, v. 124, n. 1, p. 132-136, Oct. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.012>.
- LYMAN, N. B.; JAGADISH, K. S. V.; NALLEY, L. L.; DIXON, B. L.; SIEBENMORGEN, T. Neglecting rice milling yield and quality underestimates economic losses from high temperatures stress. **Plos One**, v. 8, n. 8, p. e72157, Aug. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072157>.
- MARCHEZAN, E.; DARIO, G. J. A.; TORRES, S. Ocorrência de grãos gessados em três cultivares de arroz. **Scientia Agricola**, v. 49, n. 1, p. 87-91, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161992000400012>.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 27 abr. 2022.

SOUZA, N. M. de; MARSCHALEK, R.; SANGOI, L. Produtividade e qualidade de grãos de arroz irrigado em safras com regimes térmicos distintos na floração. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 2, p. 54-58, maio/ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.52945/rac.v33i2.793>.

SREENIVASULU, N.; BUTARDO JUNIOR, V. M.; MISRA, G.; CUEVAS, R. P.; ANACLETO, R.; KISHOR, P. B. K. Designing climate-resilient rice with ideal grain quality suited for high-temperature stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 7, p. 1737-1748, Apr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eru544>.

USDA. United States Department of Agriculture. **Production, supply and distribution**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 27 abr. 2022.

YAO, D.; WU, J.; LUO, Q.; LI, J.; ZHUANG, W.; XIAO, G.; DENG, Q.; LEI, D.; BAI, B. Influence of high natural field temperature during grain filling stage on the morphological structure and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) starch. **Food Chemistry**, v. 310, 125817, Apr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125817>.

ZHAO, X.; FITZGERALD, M. Climate change: implications for the yield of edible rice. **Plos One**, v. 8, n. 6, e66218, June 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066218>.



Arroz e Feijão