

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**TESE**

**Interação genótipo x ambiente em ensaios de valor de cultivo e uso  
em cultivares de arroz vermelho**

**Rafael Hydalgo Passeri Lima**

**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**INTERAÇÃO GENÓTIPO x AMBIENTE EM ENSAIOS DE VALOR DE  
CULTIVO E USO EM CULTIVARES DE ARROZ VERMELHO**

**RAFAEL HYDALGO PASSERI LIMA**

*Sob orientação do Professor*  
**Maurício Ballesteiro Pereira**

*e Coorientação do Professor*  
**Luiz Beja Moreira**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de concentração em Produção Vegetal.

Seropédica (RJ)  
Março, 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L732i Lima, Rafael Hydalgo Passeri, 1987-  
Interação genótipo x ambiente em ensaios de valor de  
cultivo e uso em cultivares de arroz vermelho /  
Rafael Hydalgo Passeri Lima. - Rio de Janeiro, 2019.  
73 f.

Orientador: Maurício Ballesteiro Pereira.  
Coorientador: Luiz Beja Moreira.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro, Fitotecnia, 2019.

1. Produção Vegetal. 2. Melhoramento de Plantas. 3.  
Arroz. 4. Arroz Vermelho. 5. Oryza sativa L.. I.  
Pereira, Maurício Ballesteiro , 1954-, orient. II.  
Moreira, Luiz Beja, 1955-, coorient. III Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. Fitotecnia. IV.  
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS - GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**RAFAEL HYDALGO PASSERI LIMA**

Tese submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Fitotecnia**, no Programa de Pós – Graduação em Fitotecnia, Área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovado em 21/03/2019.

---

Maurício Ballesteiro Pereira. Prof. Dr. UFRRJ/ICBS/DGen

---

Carlos Frederico de Menezes Veiga. Dr. UFRRJ/CCG

---

Bruna Rafaela da Silva Menezes. Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. UFRRJ/ICBS/DGen

---

Geraldo de Amaral Gravina. Prof. Dr. UENF/CCTA/LEAG

---

Roberto dos Santos Trindade. Pesquisador. Dr. Embrapa Milho e Sorgo/NRGC

*Dedico aos que ainda acreditam na educação pública,  
gratuita, de boa qualidade e acessível a todos.*

## AGRADECIMENTOS

Finalizando este trabalho, agradeço sinceramente:

A Deus, por me conceder saúde física e mental para concretizar esse trabalho e concluir mais uma etapa.

A minha família, sempre presente, me apoiando e incentivando, permitindo que eu me dedicasse integralmente aos estudos.

Ao professor Luiz Beja, por toda a dedicação e companheirismo nessa “caminhada orizícola”, pelo conhecimento compartilhado e amizade formada durante esses anos.

Ao professor Maurício Ballesteiro, por prontamente aceitar encarar esse desafio junto com a gente, por transferir um pouco de seus conhecimentos e experiências, por estar sempre disposto a ajudar e pela atenção ao trabalho.

À professora Bruna Menezes por todas as sugestões e contribuições fundamentais para esse trabalho.

Aos funcionários do Setor de Grandes Culturas, do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ e aos professores e funcionários da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.

A toda equipe do Câmpus Campos dos Goytacazes (CCG) da UFRRJ, na qual hoje faço parte, pelo apoio técnico e logístico, essenciais para a realização desse trabalho.

Ao Instituto Federal Fluminense – Câmpus Nilo Peçanha, pela parceria formada e apoio na execução dos experimentos, em especial ao técnico agrícola “Padeiro”, por estar sempre solícito e pelo grande comprometimento ao nosso trabalho.

Ao Laboratório de Classificação Oficial do Serviço de Inspeção e Sanidade Vegetal da Superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SISV/SFA) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), pela recepção e disposição em colaborar com a classificação dos grãos e avaliações de rendimento de beneficiamento.

Aos estagiários Michele, Ariadne e Wedis pela ajuda na coleta dos dados.

Aos amigos e amigas que sempre demonstraram interesse e valorizaram nosso trabalho, responsáveis por diversos momentos de descontração extremamente importantes e necessários para manter o equilíbrio entre trabalho e lazer.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*“Quando a educação não é libertadora,  
o sonho do oprimido é ser o opressor.”*

*Paulo Freire*

## RESUMO

Lima, Rafael Hydalgo Passeri. **Interação genótipo x ambiente em ensaios de valor de cultivo e uso em cultivares de arroz vermelho**. 2019. 73 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica (RJ), 2019.

O arroz vermelho é um tipo especial de arroz em que os grãos apresentam o pericarpo de coloração avermelhado que ocorre devido à presença de um caráter dominante que é controlado pelo gene Rd no cromossomo 1 e Rc no cromossomo 7, quando esses genes estão presentes juntos (Rc\_Rd\_) há produção de grãos vermelhos. O arroz vermelho apresenta maior valor agregado e, conseqüentemente, maior valor de mercado quando comparado ao arroz branco, principalmente, devidos às suas características funcionais, como alto teor de antioxidantes. Uma cultivar de arroz vermelho capaz de apresentar alta produtividade, aliado ao alto valor de mercado desse produto, sugere que esta possa surgir como uma alternativa de produção para produtores que não dispõem de grandes áreas e que precisam agregar valor à sua produção, buscando aumentar sua renda. A pesquisa voltada à cultura do arroz vermelho ainda é escassa, há a necessidade de ampliar o estudo da adaptabilidade e estabilidade das linhagens de arroz vermelho existentes visando o lançamento de novas cultivares, para tornar possível, e de maneira segura, a recomendação desse cultivo para diversas regiões e diferentes sistemas de produção. Objetivou-se com esse trabalho descrever morfológicamente duas cultivares de arroz vermelho e avaliar seus respectivos comportamentos agronômicos, comparando-as a duas cultivares de arroz branco, em três locais e dois anos consecutivos, no estado do Rio de Janeiro. Os ensaios foram realizados durante os anos agrícolas de 2016/2017 e 2017/2018 nos municípios de Campos dos Goytacazes, Seropédica e Pinheiral, e foram conduzidos em sistema de sequeiro, com irrigação suplementar, e sob manejo orgânico de produção. Foram avaliadas as características morfológicas: ângulo da folha bandeira, cor da folha, comprimento do colmo, presença de aristas, comprimento da panícula, cor do ápulo na maturação, cor das glumelas, comprimento do grão e forma do grão; e as seguintes características agronômicas: panículas viáveis por metro quadrado, espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas, peso de 100 espiguetas, produtividade, comprimento do colmo, comprimento da panícula, altura da planta, ciclo cultural e florescimento médio; além disso, foi feita a classificação dos grãos e avaliado os rendimentos de engenho e de grãos inteiros. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram as cultivares registradas de arroz branco, BRS Esmeralda e IAC 201 e das cultivares tradicionais de arroz vermelho, ENA-AR1601 e Virgínia. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, individual para cada local e ano, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), em seguida foi realizada a análise conjunta da variância, considerando as quatro cultivares, os três locais e os dois anos. Foi realizado um estudo a fim conhecer o comportamento das cultivares nos diferentes locais, onde avaliou-se a característica “Produtividade”. Foi realizada a estratificação de ambientes, a decomposição de interação em partes simples e estimados os parâmetros indicadores de estabilidade e adaptabilidade. As cultivares de arroz vermelho diferenciam-se aos comprimentos do colmo e da panícula, à presença de aristas e à forma do grão, apresentaram ótimos desempenho produtivo e rendimento de beneficiamento. Foi identificada interação GxA, com predominância do tipo simples e formaram-se dois grupos a partir da estratificação de ambientes. As cultivares ENA-AR1601, Virgínia e BRS Esmeralda apresentaram ampla adaptabilidade e alta estabilidade.

**Palavras-chave:** adaptabilidade, estabilidade, tipos especiais, sequeiro, *Oryza sativa* L.

## ABSTRACT

Lima, Rafael Hydalgo Passeri. **Genotype x environment interaction in trials of crop value and use of red rice cultivars**. 2019. 73 p. Thesis (Doctorate in Plant Science). Institute of Agronomy, Department of Plant Science, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica (RJ), 2019.

Red rice is a special type of rice in which the grains have the reddish-colored pericarp that occurs due to the presence of a dominant character that is controlled by the Rd gene on chromosome 1 and Rc on chromosome 7 when these genes are present together (Rc\_Rd\_) there is red grain production. Red rice has greater added value and, consequently, greater market value when compared to white rice, mainly due to its functional characteristics, such as high antioxidant content. A red rice cultivar capable of presenting great productivity, together with the high market value of this product, suggests that this crop may appear as an alternative production for producers who do not have large areas and who need to add value to their production, seeking to increase their productivity income. Research on the cultivation of red rice is still scarce, there is a need to expand the study of the adaptability and stability of the existing red rice strains in order to launch new cultivars, in order to make possible the recommendation of this cultivation for different regions and different production systems. The objective of this study was to morphologically describe two cultivars of red rice and to evaluate their respective agronomic behaviors, comparing them to two cultivars of white rice, in three locations and two consecutive years, in the state of Rio de Janeiro. The experiments were carried out during the agricultural years of 2016/2017 and 2017/2018 in the municipalities of Campos dos Goytacazes, Seropédica and Pinheiral, and were conducted in a rainfed system, with supplementary irrigation, and under organic production management. The morphological characteristics were evaluated: flag leaf angle, leaf color, stem length, presence of edges, panicle length, apiculus color, glumelle color, grain length and grain shape; and the following agronomic characteristics: viable panicles per square meter, panicle spikelets, spikelet fertility, 100 spikelet weight, yield, stem length, panicle length, plant height, cultural cycle and mean flowering; in addition, the classification of the grain and the milling yield and whole grains were evaluated. The experimental design was a randomized block design, with four treatments and five replications. The treatments were registered cultivars of white rice, BRS Esmeralda and IAC 201 and the traditional cultivars of red rice, ENA-AR1601 and Virginia. The data were submitted to analysis of variance, individual for each location and year, the means were compared by the Tukey test ( $p < 0.05$ ), then the analysis of the variance was performed, considering the four cultivars, the three places and the two years. A study was carried out in order to know the behavior of the cultivars in the different locations, where the "Productivity" characteristic was evaluated. It was carried out the stratification of environments, the decomposition of interaction in simple parts and estimated the parameters of stability and adaptability. The cultivars of red rice differ to the lengths of stem and panicle, to the presence of edges and to the shape of the grain, presented excellent productive performance and yield of processing. GxA interaction was identified, with a predominance of the simple type and two groups were formed from the stratification of environments. The cultivars ENA-AR1601, Virginia and BRS Esmeralda presented broad adaptability and high stability.

**Key words:** adaptability, stability, special types, rainfed, *Oryza sativa* L.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Número de produtores de arroz nos anos de 2014, 2015 e 2016 no estado do Rio de Janeiro.....	18
<b>Tabela 2:</b> Datas de semeaduras e transplante das mudas nos três locais e dois anos dos ensaios .....	21
<b>Tabela 3:</b> Análise de solo das áreas onde os ensaios foram implantados. L1 – Campos dos Goytacazes; L2 – Seropédica; L3 – Pinheiral.....	24
<b>Tabela 4:</b> Descritores morfológicos ângulo da folha bandeira, cor da folha, comprimento do colmo, presença de aristas, comprimento da panícula, cor do apículo na maturação, cor das glumelas, comprimento do grão descascado e forma do grão das cultivares ENA AR-1601 e Virgínia. Campos dos Goytacazes, 2018.....	28
<b>Tabela 5:</b> Descritores morfológicos ângulo da folha bandeira, cor da folha, comprimento do colmo, presença de aristas, comprimento da panícula, cor do apículo na maturação, cor das glumelas, comprimento do grão descascado e forma do grão das cultivares ENA AR-1601 e Virgínia. Seropédica, 2018. ....	29
<b>Tabela 6:</b> Descritores morfológicos ângulo da folha bandeira, cor da folha, comprimento do colmo, presença de aristas, comprimento da panícula, cor do apículo na maturação, cor das glumelas, comprimento do grão descascado e forma do grão das cultivares ENA AR-1601 e Virgínia. Pinheiral, 2018. ....	29
<b>Tabela 7:</b> Florescimento médio (dias) e ciclo cultural (dias) das cultivares ENA-AR 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos três locais (L1, L2 e L3) e dois anos (Ano 1 e Ano 2).....	30
<b>Tabela 8:</b> Resumo da análise de variância individual das quatro cultivares (ENA AR-1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2) e nos locais L1 (Campos dos Goytacazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral). ....	31
<b>Tabela 9:</b> Resumo da análise de variância conjunta das quatro cultivares (ENA AR-1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201), três locais (Campo dos Goytacazes, Seropédica e Pinheiral) e dois anos agrícolas (2016/2017 e 2017/2018).....	32

<b>Tabela 10:</b> Número de panículas por metro quadrado ( $\text{Pan.m}^{-2}$ ) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).....	33
<b>Tabela 11:</b> Espiguetas por panícula ( $\text{Esp.pan}^{-1}$ ) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).....	34
<b>Tabela 12:</b> Fertilidade das espiguetas (Fert) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).....	34
<b>Tabela 13:</b> Peso de cem espiguetas (P100) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).....	35
<b>Tabela 14:</b> Produtividade (Prod) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).....	37
<b>Tabela 15:</b> Estimativas das correlações parciais entre os componentes da produção Panículas por metro quadrado ( $\text{Pan.m}^{-2}$ ), Espiguetas por panícula ( $\text{Esp.pan}^{-1}$ ), Fertilidade das espiguetas (Fert) e Peso de 100 espiguetas (P100) com a Produtividade (Prod). .....	37
<b>Tabela 16:</b> Comprimento do colmo (C. Colmo) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).....	38
<b>Tabela 17:</b> Comprimento da panícula (C.pan) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).....	39

<b>Tabela 18:</b> Altura da planta (Alt) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).....	39
<b>Tabela 19:</b> Análise da variância conjunta da produtividade das quatro cultivares (ENA-AR 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201) e seis ambientes (Campos dos Goytacazes, Seropédica e Pinheiral, nos dois anos, 2016/2017 e 2017/2018). .....	40
<b>Tabela 20:</b> Formação de grupos de ambientes com interação GxA não significativa.....	41
<b>Tabela 21:</b> Porcentagem de parte simples (PS%) da interação genótipo x ambiente e estimativas das correlações entre ambientes (r), nas 15 combinações possíveis entre os ambientes estudados. ....	42
<b>Tabela 22:</b> Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade das quatro cultivares de arroz (ENA AR-1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201) estudados pelo método de Eberhart & Russel (1966). ....	43
<b>Tabela 23:</b> Classificação dos grãos das cultivares ENA-AR 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201. ....	44
<b>Tabela 24:</b> Rendimento de grãos inteiros (G.int) dos genótipos ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2). ....	45
<b>Tabela 25:</b> Rendimento de engenho (Rend) dos genótipos ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2). ....	46

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa ilustrativo do estado do Rio de Janeiro com destaque para a região Noroeste.....16
- Figura 2:** Dados climáticos registrados durante os meses de outubro a fevereiro de 2016/2017 (Ano 1) nos municípios de Campos dos Goytacazes, Seropédica e Pinheiral. Média das temperaturas máximas e mínimas e temperatura média (a), precipitação pluviométrica (b) e umidade relativa média (c).....22
- Figura 3:** Dados climáticos registrados durante os meses de outubro a fevereiro de 2017/2018 (Ano 2) nos municípios de Campos dos Goytacazes, Seropédica e Pinheiral. Média das temperaturas máximas e mínimas e temperatura média (a), precipitação pluviométrica (b) e umidade relativa média (c).....23
- Figura 4:** Diagrama das distâncias conforme as interações entre os ambientes e formação dos grupos entre ambientes que não apresentaram interação significativa.....41
- Figura 5:** Representação gráfica do comportamento das cultivares ENA-AR 1601 (azul escuro), Virgínia (verde), BRS Esmeralda (azul claro) e IAC 201 (marrom) em relação à característica Produtividade (Prod) avaliada em seis ambientes pelo método proposto por Eberhart e Russel (1966). .....44

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Origem e Taxonomia .....	3
2.2 Biologia Reprodutiva.....	4
2.3 Métodos de Melhoramento do Arroz.....	5
2.4 Interação Genótipo X Ambiente .....	10
2.4.1 Eberhart e Russel (1966).....	12
2.4.2 Cruz, Torres e Vencovsky (1989) .....	13
2.4.3 Lin e Binns (1988).....	13
2.4.4 Moreira e Pereira (2001) .....	14
2.5 Importância da Cultura do Arroz .....	15
2.5.1 Sistema agrário de produção de arroz no estado do Rio de Janeiro.....	15
2.6 Arroz Vermelho .....	18
3 OBJETIVOS.....	20
3.1 Objetivo Geral.....	20
3.2 Objetivos Específicos .....	20
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
5.1 Características Morfológicas .....	28
5.2 Características Agronômicas: estudo das interações e comparação das médias.....	30
5.3 Estudo do comportamento das cultivares nos diferentes ambientes.....	40
5.4 Qualidade Industrial dos Grãos.....	44
6 CONCLUSÕES.....	48
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

# 1 INTRODUÇÃO

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana. É o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 168 milhões de hectares, com produção de cerca de 741,0 milhões de toneladas de grãos em casca, o que corresponde a 29% do total de grãos consumidos (SOSBAI, 2016). A produção mundial na safra de 2017/18 está estimada em 486,26 milhões de toneladas de arroz beneficiado (USDA, 2018). Ainda segundo o U.S. Department of Agriculture – USDA (2018), os dez principais países produtores, em ordem decrescente, são: China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Myanmar, Filipinas, Brasil e Japão (Usda, 2018).

No Brasil, O Rio Grande do Sul se destaca como o maior produtor nacional, sendo responsável por aproximadamente 70% do total produzido, seguido por Santa Catarina com produção de cerca de 10% na safra de 2017/2018. Esses dois Estados são considerados os estabilizadores para o mercado brasileiro de arroz e garantem o suprimento desse cereal à população (CONAB, 2019).

As informações disponíveis sobre a produção de arroz no Brasil são referentes ao cultivo do arroz branco, que é o tipo de arroz mais difundido e consumido pelos brasileiros. Porém, existem outros tipos de arroz sendo produzidos, ainda que de uma maneira incipiente, que são os tipos especiais de arroz. Segundo Magalhães Júnior *et al.* (2012), é qualificado como tipo especial de arroz aquele que apresenta característica sensorial ou de processamento diferente dos tipos predominantemente consumidos pela população. Além da forma, tamanho, teor de amilose, cor do grão e aroma.

O arroz vermelho é um tipo especial de arroz, onde os grãos apresentam o pericarpo de coloração avermelhada (BRASIL, 2009), o pigmento vermelho só está presente no pericarpo e é formado com a perda de água do grão no momento da maturação (HANS *et al.*, 2006). A coloração avermelhada ocorre devido à presença de um caráter dominante que é controlado pelo gene Rd no cromossomo 1 e Rc no cromossomo 7, quando esses genes estão presentes juntos (Rc\_Rd\_) há produção de grãos vermelhos. Se ocorrer apenas a presença do gene Rd, há produção de grãos com pericarpo branco; assim como, se ocorrer apenas o gene Rc os grãos serão de cor marrom (SWEENEY *et al.* 2006; PEREIRA e MORAIS, 2014)

O arroz vermelho apresenta maior valor agregado e, conseqüentemente, maior valor de mercado quando comparado ao arroz branco, principalmente, devidos às suas características funcionais, como alto teor de antioxidantes (PEREIRA 2004; BASSINELO 2008; SANTOS *et al.*, 2011; CALDERÓN *et al.*, 2011). São consumidos por determinados nichos de mercado, como os adeptos de uma alimentação mais saudável, e de forma tradicional em algumas regiões do país.

Em relação à produtividade, as cultivares de arroz branco geralmente apresentam melhor desempenho do que as de arroz vermelho, o que está relacionado ao fato de as cultivares de arroz branco já terem passado por diversos programas de melhoramento, visando o incremento de características que estão associadas ao aumento da produtividade, assim como buscando melhor adaptação aos diferentes ambientes de cultivo. Enquanto que o arroz vermelho cultivado ainda é, praticamente, proveniente de cultivares locais ou tradicionais, que ainda não passaram por processos de melhoramento genético. Mesmo assim, há casos em que a produtividade do arroz vermelho se aproxima bastante a do arroz branco, como em Moreira *et al.*, 2011; Menezes *et al.*, 2011; Menezes *et al.*, 2012; Menezes *et al.*, 2013; Passeri Lima, 2014. Uma cultivar de arroz vermelho capaz de apresentar alta produtividade, aliado ao alto valor de mercado desse produto, sugere que esta possa surgir como uma alternativa de produção para produtores que não dispõem de grandes áreas e que precisam agregar valor à sua produção, buscando aumentar sua renda.

A pesquisa voltada à cultura do arroz vermelho ainda é escassa (PEREIRA e MORAIS, 2014), hoje há apenas duas cultivares de arroz vermelho registrada no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sendo uma recomendada para o Estado de Santa Catarina, a SCS119 Rubi (WICKERT *et al.*, 2014); e a outra para a região Nordeste, a BRS 901 (PEREIRA *et al.*, 2015), ambas para o sistema irrigado por inundação. Há a necessidade de ampliar o estudo da adaptabilidade e estabilidade das linhagens de arroz vermelho existentes visando o lançamento de novas cultivares, para tornar possível, e de maneira segura, a recomendação desse cultivo para outras regiões e outros sistemas de produção.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Origem e Taxonomia

O conhecimento do centro de origem da espécie que será trabalhada em um programa de melhoramento vegetal é fundamental. Centro de origem é o local, ou a região, onde o ancestral silvestre de uma espécie se distribui em seu estado nativo, e onde se encontra a maior diversidade dessa espécie.

O arroz pertence a família Poacea (antiga Gramineae), subfamília Oryzoideae, tribo Oryzeae e gênero *Oryza* (MORAIS et al., 2006).

O gênero *Oryza* tem sua origem e distribuição em várias partes do mundo, tais como no continente asiático, onde são encontrados *O. sativa*, *O. granulata*, *O. meyeriana*, *O. nivara*, *O. rufipogon*, *O. minuta*, *O. rhizomatis*, entre outros; no continente africano, com destaque para *O. glaberrima*, *O. barthii*, *O. longistaminata*, *O. puctata*, *O. brachyantha*, entre outros; continente americano, onde encontra-se *O. glumaepatula*, *O. latifolia*, *O. alta*, *O. grandiglumis*; bem como no continente australiano, com destaque para *O. australiensis* e *O. meridionalis* (VAUGHAN e CHANG, 1995). Existem mais de 20 espécies pertencentes a esse gênero, essas espécies estão distribuídas em todos os continentes, com exceção da antártica (KRUSH, 1997). Existe arroz silvestre nativo do Brasil, pertencentes a diversas espécies, entre as quais *O. glumaepatula*, *O. grandiglumis*, *O. latifolia* e *O. alta* (RANGEL, 1998).

As espécies do gênero *Oryza* são classificadas em quatro complexos: *Sativa*, *Officinalis*, *Ridleyi* e *Meyeriana*. Os complexos *Sativa* e *Officinalis* são os mais estudados. Pertencem ao complexo *Sativa* as duas espécies cultivadas, *O. sativa* L. e *O. glaberrima* Steud., e os seus ancestrais silvestres, *O. nivara*, *O. rufipogon*, *O. barthii*, *O. longistaminata*, *O. glumaepatulae* *O. meridionalis* (VAUGHAN, 1994). Todas essas espécies são diplóides ( $2n=24$ ) e por apresentarem genoma semelhante (AA), o cruzamento entre espécies do complexo *Oryza* pode resultar em pareamento normal dos cromossomos produzindo híbridos férteis comuns na natureza (MORISHIMA et al., 1992). Das espécies silvestres que ocorrem no Brasil, a *Oryza glumaepatula*, por ser autógama, diploide e possuir genoma semelhante ao da espécie cultivada, é a que possui maior potencial de uso no melhoramento genético (MORAIS et al., 2006).

Embora a identificação, caracterização e manutenção das diferentes espécies do gênero *Oryza* seja de fundamental importância, o destaque em termos de importância alimentar mundial, atualmente, recai sobre as espécies *O. sativa* e *O. glaberrima* (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007).

A espécie *Oryza glaberrima* teve origem no Delta Central do Níger, na África Ocidental, onde se encontra praticamente restrita sua área de exploração e consumo. O cultivo de arroz na África remonta a mais de 3.000 anos (WANG et al., 2014). Posteriormente, com a introdução do arroz asiático pelos portugueses e holandeses na costa da África Ocidental, ocorreu a substituição do cultivo do arroz africano pelo asiático, em função da sua melhor adaptação e por apresentar cariópse branca, uma vez que, de uma maneira geral, *O. glaberrima* possui cariópse com coloração vermelha. Esta característica de natureza genética é controlada pelo gene *Rd*, localizado no cromossomo 1 do genoma do arroz (RANGEL, 1998). A existência desse arroz africano foi ignorada pela comunidade científica por mais de 400 anos. Somente na segunda metade do século XX os cientistas aceitaram as provas de que *O. glaberrima* é uma espécie diferente daquela domesticada na Ásia (CARNEY e MARIN, 2004).

Não se sabe exatamente onde a espécie *Oryza sativa* foi domesticada, mas acredita-se, baseado em fortes evidências, que seu centro de origem seja no sudeste asiático, mais

precisamente na região compreendida entre a Índia e Mianmar (antiga Birmânia), devido à rica diversidade de formas cultivadas deste arroz ali encontrada (PEREIRA, 2002).

Baseado na distribuição geográfica, na morfologia da planta e do grão, na esterilidade dos cruzamentos (híbridos) e em outras características, em 1928, esta espécie foi classificada em duas principais subespécies, grupos ou raças, denominadas índica e japônica. Posteriormente, na década de 1950, a esta subdivisão seria acrescentada a subespécie javânica (LU e CHANG, 1980).

Essas subespécies apresentam segundo Chan e Bardenas (1965) e Chang (1976), de maneira geral, as seguintes características:

- *Índica* - colmos longos, alta capacidade de perfilhamento, folhas longas e decumbentes de cor verde-clara, estatura alta, normalmente não possuem aristas, degranam facilmente, ciclo tardio e grãos longos, estreitos e levemente achatado. A maioria das cultivares de arroz irrigado do Brasil pertence a este grupo;
- *Japônica* - colmos curtos e rígidos, mediana capacidade de perfilhamento, folhas estreitas de cor verde-escura, baixa estatura, baixo degrane, ciclo geralmente curto e grãos largos, espessos e arredondados;
- *Javanica* - possui folhas largas e rígidas de cor verde-clara, alta estatura, grãos largos e espessos, arista ausente ou longa, baixa sensibilidade ao fotoperíodo, baixa capacidade de perfilhamento e baixo degrane.

## 2.2 Biologia Reprodutiva

O conhecimento da biologia reprodutiva de uma espécie (biologia floral e mecanismos reprodutivos) é de fundamental importância para a condução adequada de programas de melhoramento e conservação genética, já que os métodos aplicados para esse fim são diferentes e específicos, em função do sistema de reprodução prevalente na população e também ser essencial para a compreensão do processo de domesticação (SILVA et al., 2001; FERREIRA et al., 2004).

A partir do estudo da biologia floral e dos mecanismos reprodutivos, pode-se ainda, determinar como os genes são recombinados e mantidos pela espécie para a perpetuação de sua variabilidade genética natural, base do seu contínuo potencial evolutivo, fazer inferências sobre os mecanismos de herança, estimar a expressão e a determinação genética do sexo, estudar os padrões de herança, a fisiologia e os mecanismos envolvidos na autoincompatibilidade e na macho - esterilidade e, finalmente, determinar a taxa de cruzamento natural.

Existem três tipos de sistemas de reprodução: a autogamia, a alogamia, e o sistema misto ou intermediário. Nas espécies autógamas a reprodução ocorre, preferencialmente, por autofecundações naturais, podendo, no entanto, ocorrer até 5% de cruzamentos naturais. Ao contrário, as espécies alógamas reproduzem-se via cruzamentos naturais e eventualmente por autofecundações naturais. Já as espécies mistas ou intermediárias reproduzem-se tanto por autofecundações quanto por cruzamentos naturais, sendo que estas taxas variam de 5% a 95% (FERREIRA et al., 2004).

O arroz é uma espécie anual autógama, com taxa de cruzamento natural variável, porém baixa, inferior a 1%. As flores da planta de arroz são hermafroditas e estão reunidas em uma inflorescência do tipo panícula que emerge da parte terminal do colmo. Essa inflorescência é composta por um grupo de flores denominadas espiguetas, cujo número pode variar de um, nas cultivares silvestres, até 500, sendo que cada espiguetas contém uma única flor. Em média, uma panícula comercial possui de 100 a 150 espiguetas (CORDEIRO, 2008).

A flor de arroz é constituída de: pedicelo, glumelas rudimentares, lema estéril, pistilo, estames e glumelas. O pedicelo é a estrutura de sustentação da flor e a conecta ao restante da

planta. O órgão reprodutivo feminino, o pistilo, é composto por ovário, um estilete curto e dois estigmas plumosos, bifurcados e de coloração branca. O órgão reprodutivo masculino, o androceu, é constituído de seis estames, formados cada um, de um filete, conectivo, e, na sua extremidade, uma antera, que contem os grãos de pólen. Cada antera pode conter de 500 a 1000 grãos de pólen com coloração geralmente amarelada (CORDEIRO, 2008). As glumelas são as estruturas de suporte e proteção da semente, sendo a maior denominada lema e a menor, pálea.

A inflorescência da planta de arroz é denominada panícula, se localiza no último entrenó do caule e é subtendida pela folha-bandeira. É composta pela ráquis principal, de onde saem as ramificações primárias e secundárias, respectivamente, e são das ramificações secundárias que surgem as espiguetas. As espiguetas são formadas por dois pares de brácteas ou glumas. As glumas do par superior denominam-se pálea e lema e contém no seu interior a flor propriamente dita, composta por um pistilo e seis estames; o pistilo contém um óvulo. A lema pode ter uma extensão filiforme denominada arista, que é um importante descritor varietal (PINHEIRO, 2006).

A panícula jovem torna-se visível a olho nu como uma estrutura cônica, plumosa, cerca de 10 dias após o início da sua diferenciação. Contudo, como essa estrutura em desenvolvimento se encontra envolvida pela bainha das folhas, sua observação só é possível mediante a dissecação do colmo. A emergência das panículas através da bainha ocorre em cerca de três dias e alcançam o máximo da floração entre o segundo e o quarto dia após a completa emergência (CORDEIRO, 2008). Durante o estágio de floração, os filetes se alongam no interior das espiguetas e quando as anteras estão a ponto de tocar a parte superior desta e de iniciar a antese, se abrem e deixam cair o pólen sobre os estigmas.

No máximo do alongamento dos filetes, as anteras são expostas para fora da espiguetas. Concomitantemente, o estigma que está ereto, começa a se abrir para ambos os lados e também fica exposto. Esse ponto é considerado o clímax da antese e ocorre entre 10 e 20 minutos depois que a espiguetas se abre. Toda espiguetas passa por esse processo, entretanto, o momento varia de acordo com a posição que ocupa na panícula. O processo inicia na extremidade apical da panícula e progride em direção a base. Toda a panícula terá florescido em período de cinco a sete dias.

Segundo Coffmann e Herrera (1980), a abertura das flores do arroz, em condições naturais, pode durar até 2 horas por dia, e Vieira et al. (2007) complementam dizendo que essa abertura ocorre entre as 11 e 14 horas sob condições de temperaturas ideais, que é de 25 a 30°C. O pólen é liberado no momento da antese e mantém-se viável por 5 minutos após sua liberação, ao passo que o estigma se mantém fértil por até cinco dias (COFFMANN e HERRERA, 1980).

### **2.3 Métodos de Melhoramento do Arroz**

A pesquisa em recursos genéticos e melhoramento vegetal é atividade das mais relevantes do sistema de inovação agropecuária no país, tendo produzido resultados que contribuíram significativamente para os principais ganhos qualitativos e quantitativos alcançados pela agricultura brasileira. O desenvolvimento de cultivares mais produtivas, e adaptadas aos diferentes ambientes de cultivo do arroz, contribui para a sustentabilidade econômica dessa cultura.

Os estudos genéticos pioneiros com o arroz foram realizados na Ilha de Java, Indonésia, por Van der Stock, porém, os primeiros trabalhos de melhoramento genético, propriamente ditos, ocorreram no Japão, a partir de 1893, na Estação Experimental Agrícola Nacional (CHANG e LI, 1980). O primeiro método de melhoramento utilizado no arroz foi o de seleção em variedades nativas do Japão, seguido pelo de seleção de linhagens. Após as

primeiras hibridações artificiais em 1904, o programa japonês de melhoramento genético do arroz passou a empregar o método genealógico e, em seguida, os métodos de *bulk* e de mutação artificial (PEREIRA, 2002).

No Brasil, os primeiros trabalhos de melhoramento genético na orizicultura iniciaram apenas em 1937, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), visando ao desenvolvimento de variedades para o sistema de terras altas, e no Instituto Rio Grandense de Arroz (IRGA), para o sistema irrigado (MORAIS et al., 2006) e pode ser dividido em três fases: a primeira decorre ao período anterior a 1938, caracterizada pelo aproveitamento da variabilidade genética existente nas variedades locais, em materiais de coletas e introduções feitas de outros países. A segunda, que compreende o período entre 1938 e 1970 é caracterizada pela obtenção da variabilidade genética por meio de hibridação e pelas coletas e introduções, principalmente, de outros países. A terceira fase, iniciada na década de 70 até os dias atuais, é caracterizada pelas atividades desenvolvidas pela Embrapa e as instituições estaduais de pesquisa agropecuária (ABBUD, 1991; PEREIRA, 2002).

No início dos programas de melhoramento no Brasil, o método utilizado foi a introdução de linhagens e cultivares oriundas de outras instituições. No entanto, à medida que os mesmos materiais genéticos são utilizados em cruzamentos e venham gerar novas cultivares, a base genética vai ficando mais estreita pela redução do número de genitores.

Os programas tradicionais de melhoramento genético de arroz utilizam métodos que maximizam a endogamia. No procedimento normal, o incremento da endogamia pelo avanço das gerações segregantes através de autofecundações leva a uma redução drástica nas oportunidades de recombinação (MARTINEZ et al., 1997). Assim, os métodos tradicionais utilizados nos programas de melhoramento de arroz, em especial o genealógico, restringem a obtenção de novas combinações favoráveis de genes.

Segundo Canci *et al.* (1997), nos sistemas convencionais de melhoramento de espécies autógamas, a utilização de um número limitado de pais resulta na formação de um “pool” gênico pequeno, podendo resultar na não inclusão de genes importantes. Estima-se que cerca de 68% do conjunto gênico das variedades de arroz cultivadas no Brasil tenham se originado de apenas 10 ancestrais (RANGEL *et al.*, 1996). A principal consequência da limitação da variabilidade genética é a redução da possibilidade de ganhos adicionais na seleção devido ao pequeno tamanho do conjunto gênico explorado (HANSON, 1959). O abandono de variedades tradicionalmente cultivadas em favor de cultivares mais amplamente adaptados é a causa principal da erosão de recursos genéticos (MAGALHÃES *et al.*, 2005).

Com o intuito de gerar variabilidade genética, alguns pesquisadores utilizam a mutação induzida. A mutação ocorre espontaneamente na natureza e é a principal fonte de variabilidade genética, mas ela pode ser criada artificialmente também, por meio da utilização de raios gama e cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ ), por exemplo, com o objetivo de introduzir certas características e criar novas cultivares. Existem cultivares de arroz que foram geradas a partir da mutação induzida que toleram mais o frio no período vegetativo (MARTINS *et al.*, 2007), que são resistentes a herbicidas (FAGUNDES e ANDRES, 2008; AVILA *et al.*, 2009) dentre outros.

A hibridação é um processo amplamente utilizado em programas de melhoramento de arroz. Hibridação é o cruzamento fecundo entre indivíduos, e tem por objetivo a recombinação alélica podendo-se transferir características desejáveis de um ou mais genótipos para outro, além de favorecer a expressão de novas características inexistentes nos genitores (MEDEIROS, 2016).

Os híbridos de arroz já são cultivados na China, a mais de 30 anos, sendo que neste período a tecnologia já contribuiu para aumentar em 50% a sua produção (PESKE e BARROS, 2004). De acordo com a FAO (2004), a produção de sementes híbridas de arroz foi limitada por mais de 30 anos devido o caráter de autopolinização da cultura. Em 1974,

cientistas chineses transferiram com êxito o gene da esterilidade masculina de arroz selvagem para criar a linha macho estéril através da macho esterilidade genético - citoplasmática. Esta tecnologia possibilitou a produção de sementes híbridas de arroz em escala comercial. Segundo Coimbra *et al.*, (2006), a produção comercial de arroz híbrido na China representa uma das maiores realizações para o melhoramento de plantas do último século.

O sistema de produção de híbridos de arroz mais utilizado é o de três linhas (A, B, R), em que se utilizam linhagens com macho esterilidade genético - citoplasmática (COIMBRA *et al.*, 2008). Há ainda o sistema de duas linhas ou sistema de macho esterilidade termossensível, ou sensível ao fotoperíodo (*Thermo-sensitive or Photoperiod-sensitive Genic Male Sterility*) (YUAN *et al.*, 2015; COIMBRA *et al.*; 2006), e também um terceiro método de uma única linha ou sistema de apomixia (COIMBRA *et al.*, 2006). O objetivo maior e comum, entre os sistemas, é aumentar a heterose.

O sistema de duas linhas deve incluir o (T) P GMS (sistema gênico de macho - esterilidade termo - sensível ou fotoperíodo - sensível para linha estéril) e o sistema químico - emasculação, o mesmo tem sido bastante estudado, visando à simplificação do procedimento para a produção de sementes de arroz híbrido (LI; YUAN, 2000). A base genética do sistema de três linhas para produção de arroz híbrido é a utilização de uma linha macho-estéril (linha A), uma linha mantenedora (linha B), e uma linha restauradora (linha R).

A linhagem A é macho estéril, não sendo capaz de produzir pólen viável devido a uma interação entre genes do citoplasma e do núcleo. Essa linhagem é utilizada como fêmea na produção de sementes híbridas de arroz.

A linhagem B ou linhagem mantenedora é similar à linha macho estéril, mas produz pólen fértil e semente normalmente. Essa linhagem é utilizada como polinizadora para manter a linha macho-estéril.

A linha R ou restauradora é uma linha que quando cruzada com a linha A (macho-estéril), restaura a fertilidade do F1. Essa linhagem é também chamada de linhagem macho. A linhagem R é utilizada como polinizadora da linha macho estéril para produção de semente híbrida.

De acordo com Coimbra *et al.* (2006), alto rendimento de grãos da linha A é primordial para a produção de arroz híbrido, sendo que a produtividade média na multiplicação da linha A na China é de 2.000-2.400 kg ha<sup>-1</sup>, no Brasil está próximo a 500 kg ha<sup>-1</sup> em média, tal fato influencia diretamente, elevando o preço da semente híbrida comercial (F1). Segundo esse autor, o vigor híbrido, ou heterose, é considerado uma das principais aplicações técnicas da genética na agricultura. Devido o efeito da heterose, os híbridos de arroz apresentam produtividade média superior quando comparadas com cultivares de polinização aberta. Na China, a vantagem do rendimento do arroz híbrido sobre o cultivares convencionais variou de 17,0 % para 53,2 % no período de 1976-2008, o que equivale a um rendimento médio de 30,8 % superior (LI *et al.*, 2009).

A pesquisa de produção de sementes híbridas no Brasil deve avançar em direção aos esclarecimentos básicos como, por exemplo: época de adubação nitrogenada, principalmente, utilização eficiente de hormônios de crescimento (ácido giberélico) com intuito de melhorar a polinização cruzada, aumentar o rendimento de grãos por panícula da linha A e aumentar relação entre A:B e A:R, coincidência floral entre as linhas (ciclo x escalonamento de plantio) (COIMBRA *et al.*, 2006). Por enquanto, a hibridação do arroz em escala comercial ainda é pouco utilizada, quase inviável. Mas instituições de pesquisas realizam a hibridação em pequena escala em seus programas de melhoramento, por meio da emasculação manual, também com o objetivo de reunir em uma nova linhagem pura, alelos favoráveis presentes em duas ou mais cultivares comerciais, linhagens elites ou plantas introduzidas. Os híbridos resultantes podem ser conduzidos por autofecundações, por alguma técnica de avanço de

gerações, até atingir homozigotidade, e assim, poderá ser feita a seleção de linhagens superiores.

Uma vez eleitas as matrizes que vão participar dos cruzamentos, as mesmas devem ser semeadas em quantidades suficientes para fornecer o material conforme as necessidades. O mais importante é a coincidência da floração, ou seja, dispor de pólen maduro no momento em que a planta mãe estiver com o estigma receptivo (PEDROSO, 1982). Segundo Vieira et al. (2007) a hibridação controlada é realizada em duas etapas: emasculação e polinização.

Na emasculação, as anteras do genitor feminino são retiradas. Segundo Souza (2012), corta-se um terço da parte superior de cada espiguetta e as anteras aspiradas através de uma agulha hipodérmica acoplada a uma mangueira ligada à moto-bomba. Os perfílios selecionados devem estar no estágio anterior à antese, pois, dessa forma, a abertura da pálea e da lema ainda não ocorreu, preservando a saída das anteras e, conseqüentemente, o risco de ocorrer a autopolinização diminui.

A polinização acontece com contato de grãos de pólen da antera com o estigma, sendo, para isso, necessário que as flores estejam abertas para liberar o pólen. No momento de abertura das flores, as panículas emasculadas são colocadas próximas ao genitor masculino em plena floração, e se movimentam cuidadosamente as panículas deste sobre as panículas do genitor feminino a fim de promover a polinização. Conhecendo a viabilidade do estigma, mantêm-se os genitores femininos junto ao masculino por cinco dias para que a ação do vento favoreça a polinização (VIEIRA et al., 2007).

Os programas tradicionais de melhoramento genético do arroz utilizam, de maneira geral, métodos que maximizam a endogamia no desenvolvimento de novas linhagens. E, normalmente, após a síntese de uma nova população com os recursos da hibridação, as gerações segregantes são conduzidas, recorrendo-se ao processo natural de autofecundação. A endogamia progressiva no decorrer das sucessivas gerações, reduz de maneira crescente as chances de recombinação, pois com a identidade entre alelos de um mesmo loco, os processos de *crossing-over* perdem sua efetividade na produção de novos recombinantes (SOARES et al., 2004). Ainda segundo o autor, dessa forma, os métodos convencionais apresentam menor potencial de geração de variabilidade do que teria, se os intercruzamentos entre unidades de recombinação fossem mais frequentes, e reduzindo-se a variabilidade, reduz-se também os ganhos genéticos por seleção.

A dificuldade de melhorar populações para os caracteres quantitativos como produção de grãos é reconhecida, existindo a necessidade de utilização de métodos de melhoramento que, além de não restritivos à variabilidade genética da população, contribuam para o aumento da probabilidade de seleção de genótipos com maior número de alelos favoráveis (HALLAUER et al., 2010). Nesse caso, a principal alternativa para a obtenção de sucesso em relação aos objetivos dos programas de melhoramento genético de autógamias é o uso da seleção recorrente (RAMALHO et al., 2005; RAMALHO et al., 2012).

Seleção recorrente é um método de melhoramento que aumenta a frequência de alelos favoráveis em uma população por meio de aplicação cíclica de intercruzamentos e seleção. Envolve a obtenção de progênies, avaliação, seleção e recombinação das melhores visando melhorar a expressão do caráter sob seleção. Basicamente, na seleção recorrente as progênies com características de interesse para o programa são selecionadas e, posteriormente, recombinadas para formar a nova população (GERALDI, 1997).

A produção de grãos é uma característica quantitativa, de caráter poligênico, logo, dificilmente será possível acumular todos os alelos favoráveis de uma única vez, em um único cruzamento. Esses alelos estão dispersos nos indivíduos ou progênies sob avaliação. Selecionando indivíduos mais divergentes e cruzando-os aumenta-se a chance de encontrar indivíduos com maior número desses alelos favoráveis no novo ciclo. Por isso, o uso da

seleção recorrente apresenta-se como principal alternativa para se obter sucesso também nos programas de melhoramento genético de espécies autógamas (RAMALHO *et al.*, 2012)

Esse método é amplamente utilizado no melhoramento de espécies alógamas, devido principalmente, à facilidade da realização dos intercruzamentos. Porém, as técnicas de cruzamento em arroz junto ao uso da macho esterilidade, possibilitaram a realização dessa prática na cultura (SOARES *et al.*, 2004).

Constatada as vantagens de gerar populações sucessivamente melhores e com maior potencial para extração de linhagens (SOARES *et al.*, 2004), algumas das principais instituições de pesquisa que apresentam programas de melhoramento voltados para a cultura do arroz, como a Embrapa Arroz e Feijão, atualmente com o projeto em execução “Melhor Arroz II: Melhoramento Genético para Produtividade e Qualidade dos Grãos da Cultura do Arroz no Brasil, Ciclo II” e a Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) adotaram esse método.

Segundo Morais Júnior (2016), no Brasil, o programa de seleção recorrente para melhoramento de categoria-base em arroz iniciou-se em 1989, tanto para arroz irrigado como de terras altas. Essa iniciativa deu-se por meio de parceria da Embrapa com o IRAT (Institut de Recherches Agronomiques et des Cultivares Vivrières, França), atual CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour Le Développement). Estas instituições iniciaram um programa de melhoramento populacional visando desenvolver populações de base genética ampla com potencial de geração de progênies promissoras. Para o sistema irrigado, a primeira população sintetizada foi a CNA-IRAT-4, obtida pelo intercruzamento de dez genitores de origem genética distinta; nove da subespécie *japônica* e uma da subespécie *indica*. Este era uma linhagem mutante oriunda de IR36, que possui o gene recessivo (*ms*) condicionante de macho esterilidade genética. A primeira cultivar de arroz irrigado oriunda desse programa de seleção recorrente foi SCS-BRS Tio Taka, lançada no ano 2002 (RANGEL *et al.*, 2007), em parceria com a Epagri.

O emprego da seleção recorrente tem apresentado resultados positivos em relação ao ganho genético da cultura do arroz (RANGEL *et al.*, 2002; BRESEGHELLO *et al.*, 2009; MORAIS JÚNIOR *et al.*, 2015) e ao lançamento de cultivares com maior potencial produtivo (MORAIS *et al.*, 2006; RANGEL *et al.*, 2007; RAMALHO *et al.*, 2012).

Uma vez obtidas as sementes híbridas, a exploração da variabilidade se faz por meio do avanço das gerações e seleção dos genótipos superiores até atingir o grau de homozigose desejado. Para isso, vários métodos são passíveis de serem utilizados para a condução das populações, tais como: genealógico, single seed descent (SSD) e população ou bulk (RAMALHO *et al.*, 2001).

O método genealógico, também conhecido como *pedigree* desde que foi descrito pela primeira vez, tem como princípio a seleção de plantas fenotipicamente superiores em  $F_2$ , as quais são selecionadas visualmente e trilhadas individualmente, obtendo-se as famílias  $F_{2.3}$ . As melhores famílias são selecionadas e os indivíduos superiores dentro delas formam as famílias  $F_{3.4}$ . O processo é repetido nas sucessivas gerações até que a maioria dos locos esteja em homozigose, quando as linhagens passam a ser avaliadas em experimentos com repetições. (SILVA, 2009).

A variabilidade do cruzamento vai sendo liberada a cada geração de autofecundação, sendo incrementada entre as famílias, enquanto dentro das famílias é reduzida (RAMALHO *et al.*, 2001). Isso ocorre porque, no decorrer do processo, as plantas dentro das progênies tornam-se homozigotas, o que leva à diminuição da variabilidade. Desse modo, a seleção de indivíduos dentro das progênies só se justifica até a geração  $F_4$ . A partir de  $F_6$ , quase todos os locos estarão em homozigose, e é quando normalmente começam as avaliações de progênies em experimentos com repetições (RAMALHO *et al.*, 1993).

Esse método tem algumas desvantagens, como o grande trabalho envolvido com o processo de individualização das famílias seguida de seleção entre e dentro a cada geração, o que requer grande número de anotações para identificação das progênies. Dessa forma, o melhorista pode conduzir somente poucas populações. Além de também exigir grande demanda de área experimental e de mão-de-obra. Contudo, a principal desvantagem é que a seleção é apenas visual e a eficiência desta seleção tem sido questionada (SILVA, 2009).

O método descendente de uma única semente, conhecido como SSD (*Single Seed Descent*), consiste em avançar as gerações segregantes, utilizando uma semente de cada indivíduo a partir da geração  $F_2$  para estabelecer a geração seguinte. O processo é assim sucessivamente repetido, nas várias gerações, até que a população alcance suficiente homozigose, quando são obtidas as linhagens, em  $F_6$  ou  $F_7$ . Posteriormente, essas são avaliadas em ensaios com repetições. Dessa forma, cada linhagem corresponde a uma planta  $F_2$  diferente e, portanto, reduz-se a perda devido à amostragem (SILVA, 2009).

Esse método é útil principalmente quando o melhorista está interessado em acelerar o processo de endogamia antes de iniciar a avaliação das linhagens. Sua utilização, entretanto, pode ser justificada para atenuar os problemas de amostragem que ocorrem com o método da população, além de não ocorrer à ação da seleção natural, que poderia eliminar alguns fenótipos desejáveis (RAMALHO et al., 2001).

O método da população, também conhecido como o método bulk, além da simplicidade e facilidade de condução, permite avançar várias populações com um grande número de indivíduos ao mesmo tempo. A condução da população inicia-se a partir da geração  $F_2$ , em que as plantas são colhidas em conjunto e suas sementes misturadas e, então, uma amostra é retirada para a obtenção da população na geração  $F_3$ . Esse processo é repetido até a geração em que a maioria dos locos estará em homozigose ( $F_6$  ou  $F_7$ ), quando então são obtidas as progênies a partir de plantas individuais, que serão avaliadas e selecionadas (RAMALHO et al., 2001).

No método de condução massal existe uma grande ação da seleção natural durante a condução das populações segregantes. Quando se retira uma amostra de sementes para a próxima geração, indivíduos que produzirem mais sementes terão mais chances de passar para a próxima geração. A seleção artificial também pode ser utilizada para retirar indivíduos indesejáveis.

A principal desvantagem desse método é decorrente de problemas de amostragens, isto é, perda de combinações genóticas devido à deficiência na amostra utilizada nos subsequentes avanços das gerações. Mesmo não considerando um grande número de locos segregando, é fácil inferir que para manter todas as combinações genóticas, especialmente com o avanço das gerações, o número de indivíduos na população deve ser enorme. Outra desvantagem é que, a condução da população segregante deve ser feita em condições de plantio, não sendo possível a utilização de casa de vegetação (SILVA, 2009).

A seleção e a recomendação de genótipos mais produtivos são objetivos básicos dos programas de melhoramento genético de qualquer espécie cultivada. O processo de seleção é, frequentemente, realizado pelo desempenho dos genótipos em diferentes ambientes (ano, local, época de semeadura). Contudo, a decisão de lançamento de novas cultivares normalmente é dificultada pela ocorrência da interação genótipos x ambientes (CARVALHO et al., 2002).

## **2.4 Interação Genótipo X Ambiente**

O comportamento de uma cultivar é resultante da ação do seu genótipo sob a influência do meio. Quando se considera ambientes diversos, verifica-se que além dos efeitos genéticos e ambientais, ocorre também um efeito adicional, que é proporcionado pela

interação dos mesmos. A interação de cultivares com fatores ambientais assume então um importante papel no trabalho dos melhoristas de plantas. Segundo Yue *et al.*(1997) os efeitos dos cultivares e dos ambientes na interação genótipo X ambiente (G x A) são estatisticamente não - aditivos, indicando com isso que as diferentes respostas verificadas entre cultivares são também devidas ao ambiente. Assim, os procedimentos de seleção baseados somente na produção média de cultivares em um ambiente são menos eficientes (HOPKINS *et al.*, 1995).

A avaliação da interação G x A é de grande importância quando se pretende proceder à recomendação de cultivares de ampla adaptabilidade. É necessário quantificar a verdadeira dimensão desta interação, seus efeitos sobre as técnicas de melhoramento e sobre as estratégias de difusão de tecnologia, como também gerar informações que permitam a adoção de procedimentos para sua minimização e, ou, seu aproveitamento. A interação G x A pode ser entendida pelo fato de que a variância entre ambientes não é a mesma para todos os genótipos e/ou que a resposta dos genótipos nos diferentes ambientes tem baixa correlação. Isto se deve às características genéticas dos diferentes genótipos que têm respostas diferenciadas às variações ambientais.

A existência da interação G x A para Cruz e Regazzi (1997), está associada a dois fatores. O primeiro, denominado simples, é proporcionado pela diferença entre genótipos; o segundo, denominado complexo, é dado pela ausência de correlação entre os genótipos. A interação complexa reduz a correlação entre o fenótipo e o genótipo, e, essa baixa correlação, indica que o genótipo mostrou-se superior em um determinado ambiente, normalmente, não terá o mesmo desempenho em outro ambiente. A seleção com base no componente da interação G x A pode estar eliminando constituições genéticas altamente ajustadas a ambientes específicos. Ainda segundo esses autores, a interação G x A não interfere apenas na recomendação de cultivares, mas também dificulta o trabalho do melhorista, que precisa adotar critérios diferenciados para selecionar genótipos superiores e usar métodos alternativos de identificação de material de alto potencial genético.

Uma das alternativas para se amenizar a influência dos efeitos da interação G x A nos ensaios de competição é a recomendação de cultivares com boa estabilidade e ampla adaptabilidade. São realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, nas quais é possível a identificação daqueles de comportamento previsível e que apresentem respostas às variações ambientais específicas ou amplas. O objetivo principal é a escolha de genótipos que resultam em maior benefício aos produtores, pela sua maior adaptação e estabilidade. Nesse contexto, é importante definir os termos “adaptabilidade” e “estabilidade”:

- Verma *et. al* (1978) definem adaptabilidade como a capacidade do genótipo apresentar rendimentos elevados e invariantes (ou constantes) em ambientes desfavoráveis, mas com habilidade de responder positivamente a melhoria das condições ambientais;
- Eberhart e Russel (1966) conceituaram estabilidade como a capacidade do genótipo apresentar comportamento altamente previsível em função das variações ambientais.

Na análise de estabilidade é necessário o conhecimento do valor ambiental do local onde o experimento foi realizado. Segundo a maioria dos autores, o valor de um ambiente pode ser obtido pela média de todos os genótipos em cada um dos ambientes subtraída da média geral dos experimentos. Este contraste é denominado “índice ambiental ” (MOREIRA, 2001).

As diferenças verificadas entre os genótipos com relação às suas respostas à variação ambiental, são avaliadas através do estudo da interação de genótipos com ambientes, por meio de métodos paramétricos baseados na análise de grupos de experimentos e o seu desdobramento em regressões, dentro de cada genótipo, em função do valor ambiental, ou

através de modelos não - paramétricos baseados na classificação relativa dos cultivares em um grupo de ambientes. Estes procedimentos estatísticos tem por finalidade principal a seleção de cultivares com alto grau de estabilidade ou de previsibilidade de comportamento frente a uma grande amplitude de variação ambiental.

Outra estratégia empregada com a finalidade de minimizar os efeitos da interação G x A é o agrupamento de cultivares ou ambientes segundo a similaridade de suas respostas em sub - grupos ou sub - regiões mais homogêneas, respectivamente, o que possibilita a seleção de cultivares para um determinado grupo de ambientes ou a escolha de um grupo de ambientes para determinado grupo de cultivares (MOREIRA, 2001),

Diversos modelos de regressão que explicam o comportamento de cultivares diante às variações ambientais tem sido utilizados por melhoristas com reconhecidos benefícios, cada um com suas particularidades. Parâmetros estatísticos são usados na caracterização da estabilidade e da adaptabilidade.

Existem os modelos obtidos a partir de funções lineares como as de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russel (1966); modelos bi - segmentados como os de Verma, Chahal e Murty (1978), Silva e Barreto (1985), Cruz, Torres e Vencovsky (1989) e Stork (1989); os modelos não - paramétricos como os de Lin e Binns (1988), Huehn (1990) e Hernandez, Crossa e Castilho (1993), esses mostraram-se uma boa alternativa àqueles paramétricas por apresentarem algumas vantagens como a de não exigirem a satisfação das condições de normalidade, de homogeneidade da variância e da aditividade ou linearidade dos efeitos de genótipos e ambientes, importantes limitações dos modelos paramétricos (YUE *et al.*, 1997) e também por serem de fácil uso e interpretação; e modelos obtidos a partir de regressões polinomiais, como o método Moreira e Pereira (MOREIRA, 2001).

Nessa revisão será brevemente abordado um método de um modelo obtido a partir de funções lineares, Eberhart e Russel (1966); um de modelo bi - segmentado, Cruz, Torres e Vencovsky (1989); um de modelo não - paramétrico, Lin e Binns (1988) e um obtido a partir de funções polinomiais, Moreira e Pereira (2001).

#### **2.4.1 Eberhart e Russel (1966)**

Os autores ampliaram o modelo proposto por Finlay e Wilkinson (1963), que é baseado em análises de regressão linear, que medem a resposta de cada genótipo às variações ambientais e permite avaliar o padrão de resposta de cada genótipo considerando as variações ambientais. Para cada genótipo é computada uma análise de regressão simples da variável dependente considerada em relação a um índice ambiente.

Os autores incluíram neste método o cálculo dos desvios da regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo em relação ao índice ambiental, a fim de proporcionar estimativas de parâmetros de estabilidade e adaptabilidade. Segundo o método, a média, o coeficiente de regressão linear e o desvio da regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo em relação ao índice ambiental, proporcionam as estimativas dos parâmetros de estabilidade e de adaptabilidade.

Nesse método o genótipo ideal é aquele que apresenta alta média de produção, coeficiente de regressão linear aproximadamente igual a 1,0 ( $b \cong 1$ ), e desvio da regressão ( $\sigma^2_d$ ) menor possível. Um genótipo com coeficiente de regressão linear maior que 1,0 ( $b > 1$ ) apresenta adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e outro com coeficiente de regressão linear menor que 1,0 ( $b < 1$ ) apresenta adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis. Genótipos com coeficiente de regressão linear igual a 1,0 (um) são de adaptabilidade geral ou ampla.

#### 2.4.2 Cruz, Torres e Vencovsky (1989)

Baseado na análise de regressão bissegmentada, tem como parâmetros de adaptabilidade, a média e a resposta linear aos ambientes desfavoráveis e favoráveis, com índices ambientais negativos e positivos, respectivamente. A estabilidade dos genótipos é avaliada pelo desvio da regressão de cada cultivar, em função das variações ambientais. O índice ambiental empregado pelo método é o mesmo utilizado por Eberhart e Russel (1966) (MOREIRA, 2001).

Nesse método o genótipo ideal é aquele que apresenta maior previsibilidade (ou estabilidade) de comportamento (com  $QM_{\text{desvio}}$  não significativo pelo Teste F); que apresenta alto comportamento médio (média alta); com  $\beta_1 < 1$  (coeficiente de regressão nos ambientes desfavoráveis menor que um) e com  $(\beta_1 + \beta_2) > 1$  (coeficiente de regressão linear nos ambientes favoráveis, maior que um). Estes genótipos são então relativamente produtivos, com pouca sensibilidade aos ambientes desfavoráveis, responsivos à melhoria do ambiente e com boa previsibilidade ou estabilidade de comportamento em todos os ambientes.

#### 2.4.3 Lin e Binns (1988)

Nas análises não - paramétricas procura-se expressar o desempenho genotípico ou a capacidade de resposta às variações ambientais em termos de rendimento através de um ou poucos parâmetros.

A utilização de métodos não - paramétricos apresenta algumas vantagens em relação aqueles paramétricos. Segundo Huehn (1990), as vantagens são as seguintes:

- a) a tendenciosidade causada por pontos complementares fora da equação de regressão ajustada é reduzida ou, às vezes, eliminada;
- b) não é necessário assumir qualquer hipótese sobre a distribuição dos valores fenotípicos;
- c) os parâmetros estimados com base nas classificações são de fácil uso e interpretação;
- d) a adição ou retirada de um ou poucos genótipos não seria causa de grandes variações nas estimativas, como poderia ser para a estimativa de medidas paramétricas;
- e) uso em outras aplicações, como por exemplo, seleção em programas de melhoramento em que é de fundamental importância a posição relativa ou classificação dos genótipos.

Nesse método para estimar a adaptabilidade e a estabilidade é empregado o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima obtida no ambiente. O parâmetro estimado pelo método é uma medida relativa a uma cultivar ideal, de adaptabilidade geral, cujo coeficiente de regressão é igual, ou próximo, à unidade. Por esse método representar o quadrado médio da distância em relação à resposta máxima em cada local, e não à distância simples, tem propriedade de variância, ponderando de maneira eficiente o comportamento das cultivares ao longo dos ambientes.

Para que a recomendação de determinada cultivar seja realizada tanto para ambientes favoráveis quanto desfavoráveis, isto é, ambientes em que há emprego de alta e baixa tecnologia, foi sugerido por Carneiro (1998) a decomposição do estimador  $P_i$  nas partes devidas a ambientes favoráveis e desfavoráveis em relação à reta bissegmentada. O parâmetro  $P_i$  foi denominado MAEC (medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento) e se refere ao desempenho e comportamento diante de variações ambientais. Logo, o ideal é um material com o menor  $P_i$  possível e que a maior parte desse valor seja atribuída ao desvio genético. Tais modificações trouxeram vantagens ao método como maior facilidade na interpretação, particularização da recomendação das cultivares a grupos de ambientes

favoráveis e desfavoráveis. Além disso, contempla o genótipo desejado, já que classifica os genótipos de média alta e constante em ambientes desfavoráveis e com capacidade de resposta à melhoria da condição ambiental (FRANCESCHI *et al.*, 2010).

#### **2.4.4 Moreira e Pereira (2001)**

Para a aplicação desse modelo deve-se fazer a análise conjunta dos dados, da forma tradicional, determinando a média dos locais, as médias para as cultivares em cada local, os quadrados médios de genótipos, a interação G X A e o erro médio, assim como nos métodos anteriores. A seguir, o quadrado médio do ambiente dentro de cada genótipo será decomposto em um modelo de regressão polinomial, podendo-se usar uma regressão linear ou quadrática, conforme o resultado do teste F respectivo. Usam-se as médias dos locais codificadas (índices ambientais) juntamente com os valores do desempenho relativo de cada genótipo nos locais avaliados, e ajusta-se uma linha polinomial (de 1º ou de 2º), para cada cultivar. Em seguida, são calculados as Soma dos Quadrados correspondentes, e por fim determina-se a área compreendida entre a curva e o eixo dos índices ambientais (MOREIRA, 2001).

São usadas também, como auxiliar no estudo da adaptação dos genótipos, os valores das “áreas entre a curva de melhor ajuste e o eixo horizontal”. Essas áreas serão determinadas em dois segmentos do eixo horizontal, dividindo os ambientes em dois grupos: os com índices ambientais menores que zero e os com índices maiores que zero, representando os ambientes desfavoráveis e os ambientes favoráveis, respectivamente. As áreas serão determinadas pelas integrais definidas das funções (constante, linear ou quadrática), correspondente a cada genótipo (MOREIRA, 2001).

Ainda segundo Moreira (2001), esse método pode facilitar o entendimento da curva de resposta do genótipo nos vários ambientes, estabelecendo a comparação do seu desempenho em relação à resposta média de todas as cultivares avaliadas em todos os locais; gera informações complementares para a predição do comportamento do cultivar diante das variações ambientais, auxiliando na definição dos conceitos de estabilidade e adaptabilidade adotados pelo melhorista, e; permite o ajuste de uma função linear ou não - linear que melhor descreve as respostas fenotípicas de cada genótipo às variações ambientais, obtendo-se desvios da regressão menores e por consequência uma maior probabilidade de que o genótipo ideal não seja descartado como sendo de baixa estabilidade, já que pode não se ajustar ao modelo linear. Mais informações sobre esse método, como sua correlação com outros métodos, podem ser encontradas em Moreira e Pereira (2006).

Em um programa de melhoramento genético de arroz, ao se avaliar diversas linhagens em diferentes locais, com diferentes condições ambientais, é esperado que ocorram interações dos genótipos com o ambiente. Nesse caso, conseguir quantificar essas interações e, sobretudo, as estimativas de parâmetros que avaliam a adaptabilidade e estabilidade desses genótipos, é de fundamental importância. Além disso, verificar quais dentre as variáveis ambientais, locais, ou sistemas de cultivo, por exemplo, que mais contribuem para a interação é uma informação valiosa para o planejamento de futuros trabalhos. Segundo Neto (2013), algumas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade têm sido utilizadas para análise de séries de ensaios de programas de melhoramento de arroz. Tais metodologias podem ser encontradas nos trabalhos de Borges *et al.* (2010) e Morais *et al.* (2008).

O melhoramento genético tem um papel essencial na viabilização da cultura do arroz, mediante o desenvolvimento de cultivares adaptadas para as diferentes regiões e sistemas de cultivo. Este trabalho, assim como qualquer outra atividade econômica, deve ser muito bem planejado e administrado, para que os recursos investidos reflitam em resultados positivos, dentro dos objetivos do programa. Deve ser feito um acompanhamento dos resultados obtidos a cada ano em consequência dos métodos empregados, essa informação é essencial para a

avaliação da sua eficiência, e assim, decidir qual a melhor forma de condução do programa para maximizar as chances de sucesso.

## **2.5 Importância da Cultura do Arroz**

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de grande parte da população, é o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 168 milhões de hectares. A produção de cerca de 741,0 milhões de toneladas de grãos em casca corresponde a 29% do total de grãos usados na alimentação humana. Os dez países maiores produtores são, em ordem decrescente: China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Myanmar, Filipinas, Brasil e Japão (USDA, 2017). O Brasil ocupa a nona posição, sendo o único país, entre os dez principais produtores, que está fora do continente asiático.

O Brasil, com uma produção anual, entre 11 e 13 milhões de toneladas de arroz em casca nas últimas safras, participa com 79,3% da produção do Mercosul (na média de 2008/09 até 2014/15), seguido pelo Uruguai, Argentina e Paraguai (SOSBAI, 2016).

O Rio Grande do Sul se destaca como o maior produtor nacional, sendo responsável por aproximadamente 70% do total produzido no Brasil, seguido por Santa Catarina com produção de cerca de 10% na safra de 2017/2018. Esse grande volume produzido nesses dois estados da região Sul é considerado estabilizador para o mercado brasileiro e garante o suprimento desse cereal à população brasileira (CONAB, 2019).

Segundo o 11º Levantamento de Safra de Grãos da Companhia Nacional de Abastecimento, referente ano agrícola de 2018/2019, publicado em janeiro de 2019, o estado do Rio de Janeiro ocupa a 25ª posição no ranking da produção nacional dessa cultura e responde por 0,03% da produção nacional. Os dados apontam para cerca de 300 hectares de área ocupada pela cultura e 400 toneladas de produção, com produtividade de 1483 Kg.ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019).

### **2.5.1 Sistema agrário de produção de arroz no estado do Rio de Janeiro**

A região Noroeste (Figura 1) é a região que mais contribui para a produção de arroz no estado do Rio de Janeiro, responsável por cerca de 70% da área cultivada, seguida das Baixadas Litorâneas (13,2%) e Norte (9%). Essa última vem diminuindo sua participação na produção estadual (AMORIM NETO e ANDRADE, 2008). Na região Noroeste, Santo Antônio de Pádua e São José de Ubá possuem 117 hectares de área de produção, o que representa quase 50% da área total no Estado (EMATER, 2014).



**Figura 1:** Mapa ilustrativo do estado do Rio de Janeiro com destaque para a região Noroeste. Fonte: Jornal O Globo (<https://oglobo.globo.com>).

O Noroeste Fluminense é formado por 13 municípios que reúnem 2% da população do estado, é a região com a menor densidade demográfica (SEBRAE, 2015). Sua principal atividade econômica é a agropecuária, composta por pequenos produtores.

A agricultura familiar é muito importante no estado do Rio de Janeiro, ela tem dinâmica e características distintas em comparação à agricultura não familiar. Nela a gestão da propriedade é compartilhada pela família e a atividade produtiva agropecuária é a principal fonte geradora de renda. Além disso, o agricultor familiar tem uma relação particular com a terra, seu local de trabalho e moradia. A diversidade produtiva também é uma característica marcante desse setor (MDA, 2016).

No estado são 44.145 estabelecimentos que representam 75% do total das propriedades rurais, sendo responsáveis por 58% dos postos de trabalho no campo. Os estabelecimentos familiares fluminenses são responsáveis pela maior parte da produção agrícola do estado, contribuem com 68% do feijão, 75% da mandioca, 67% do milho em grão, 55% do arroz e 52% do café (IBGE, 2006; MDA, 2016b).

O cultivo do arroz no estado do Rio de Janeiro, basicamente é realizado por agricultores familiares, e, na grande maioria das vezes, é destinado à subsistência. Existem diferentes abordagens e compreensões sobre o conceito de subsistência, alguns autores como Wolf (1970) e Silva (1980) dizem que a subsistência vai além das necessidades básicas alimentares (autoconsumo) da família, representando relações e produções inseridas na lógica mercantil simples, as quais garantem aos camponeses a sua reprodução. A partir desse ponto de vista, não se pode interpretar a subsistência somente como produção de autoconsumo, mas também como um conjunto de necessidades que garantem a reprodução física e social dos indivíduos. A produção de subsistência está relacionada ao conjunto do autoconsumo, e também com o mercado para a manutenção da família (COELHO e FABRINI, 2014).

De acordo com a Silva e Marafon (2005), na produção de subsistência a utilização de crédito rural é quase nula, pois as atividades exercidas por esses agricultores não apresentam viabilidade econômica que permitam o acesso a ele. Esses agricultores geralmente dispõem de baixa tecnologia e têm dificuldades para gerenciar sua propriedade, que são, em sua maioria, menores que 20 hectares. No caso da região em questão, as propriedades são muito menores do que esses 20 hectares.

Segundo a Conab (2015), a produção excedente é destinada às poucas unidades beneficiadoras do produto no estado ou a outros produtores. Há ainda produtores que fornecem o produto para o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA). Ainda assim, é uma cultura pouco relevante no programa institucional, tendo sido comercializada em projetos homologados até o ano de 2013. Há, ainda, uma produção considerável para os parâmetros estaduais no município de Macaé, a qual abastece algumas marcas beneficiadoras da região Noroeste fluminense. Por ser praticamente o único fornecedor desse produto, o abastecimento pode oscilar, fazendo com que os beneficiadores comprem do sul de Minas Gerais e de São Paulo.

Grande parte do arroz comercializado no Rio de Janeiro tem como origem beneficiadores do estado do Rio Grande do Sul. Atualmente as máquinas beneficiadoras de arroz são peças raras nas áreas produtoras, justamente no estado que, em 1766, abrigou a primeira descascadora de arroz do país (CONAB, 2015).

O processo evolutivo do arroz permitiu sua adaptação às diversas condições ambientais. São considerados dois grandes ecossistemas para a cultura do arroz: o de várzeas, irrigado por inundação, controlada ou não; e o de terras altas ou sequeiro, que pode ser sem irrigação (a disponibilidade de água para a cultura fica dependente da precipitação pluvial) ou com irrigação suplementar por aspersão (GUIMARÃES et al, 2006).

No estado do Rio de Janeiro o arroz é cultivado quase que totalmente no ecossistema de várzea, irrigado por inundação (AMORIM NETO e ANDRADE, 2008). Nesse ecossistema, o cultivo pode acontecer em várzeas sistematizadas, com controle da lâmina d'água pelo produtor, permitindo a drenagem quando o produtor achar conveniente; ou em áreas não niveladas adequadamente, sem controle da lâmina d'água e má drenagem, como as várzeas úmidas irrigadas pela água da chuva ou elevação do lençol freático (GUIMARÃES et al, 2006).

Toda a pesquisa envolvendo melhoramento genético do arroz, o desenvolvimento de cultivares de alto potencial produtivo adaptadas ao cultivo no estado, boa qualidade de grãos e outras características desejáveis para a cultura, foram realizadas voltadas para o sistema de cultivo em várzea.

Segundo Amorim Neto e Andrade (2008) o sistema de sequeiro não é um sistema de exploração importante no estado. Porém, contrariando esses autores, segundo o Quarto Levantamento de Safras da Conab (CONAB, 2019), toda a produção de arroz no Rio de Janeiro na safra 2017/2018 foi proveniente desse sistema de produção. Esse sistema que exige menor número de etapas para o preparo da área e demanda menor quantidade de água, é mais acessível ao pequeno produtor. Hoje em dia não há nenhuma cultivar de arroz registrada no Registro Nacional de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (RNC/MAPA) recomendada para o cultivo nesse sistema no estado do Rio de Janeiro.

No final dos anos 1970, segundo a Conab (2015) havia o cultivo em cerca 30 mil hectares, em torno de 0,5% da área plantada nacional, e atingia cerca de 80 mil toneladas, próximo a 0,9% da produção nacional. O fato de estar entre os estados com os maiores valores de produtividade do país garantiu que a redução na participação nacional fosse menos significativa nesse período. Durante a década de 1980, a área cultivada manteve-se estável, em torno de 32 mil hectares, quando a produção atingia valores próximos a 100 mil toneladas, atingindo o ápice na safra de 1985/86, com cerca de 125 mil toneladas. A produtividade média durante esse período estava em torno de 3060 kg.ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017b).

Por outro lado, na safra de 1989/90 houve uma drástica redução da área, que se aproximou aos 24 mil hectares; da produção, que chegou a 44 mil toneladas; e da produtividade, que atingiu cerca de 1.800kg/ha, quase a metade dos valores das safras de 1987/88 e 1990/91 (CONAB, 2015). Ainda segundo a Conab (2015), essa queda de área plantada, produção e produtividade na safra de 1989/1990, pode ser explicada por fatores políticos e

econômicos existentes durante esse ano agrícola. As incertezas ligadas a possíveis mudanças vinculadas ao cenário da primeira eleição direta para presidente pós-1960, assim como a condução das medidas econômicas que vinham sendo executadas no governo Sarney, que resultaram em queda de preços agrícolas aliada à redução de crédito rural oficial. A diminuição de investimento na produção, somada ao fato do estado ter sofrido com a falta de chuva ao longo da safra, agravou ainda mais a queda da produtividade. Com isso, os produtores ficaram desestimulados com o cultivo da cultura. Desde então, com exceção da safra 1992-93, a produção estadual manteve uma tendência de queda, tornando-se praticamente insignificante tanto no contexto nacional como no estadual (CONAB, 2015; INPE, 2015).

Amorim Neto e Andrade (2008) com a proposta de analisar as tendências da orizicultura estadual, estudaram uma série de dados de área plantada, produção e produtividade do período de 1960 a 1995. Verificaram que durante esse período houve queda de 71% na produção, 87% na área plantada, porém, a produtividade teve um aumento de cerca de 130%. Os autores atribuem esse aumento na produtividade ao lançamento e recomendação de cultivares mais adaptadas as condições edafoclimáticas do estado. A orizicultura fluminense realmente seguiu essa tendência de queda.

Segundo a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio de Janeiro, o número de produtores de arroz diminuiu aproximadamente 21% nos últimos três anos (Tabela 1).

**Tabela 1:** Número de produtores de arroz nos anos de 2014, 2015 e 2016 no estado do Rio de Janeiro.

Cultura	Ano	Número de Produtores
Arroz	2014	191
Arroz	2015	74
Arroz	2016	40

Fonte: EMATER-RJ (2014); EMATER-RJ (2015); EMATER-RJ (2016).

Um dos principais fatores que contribuíram para essa situação nada animadora foi o desestímulo dos produtores em função dos baixos preços pagos pelo produto aos produtores, enquanto que o preço dos insumos se comporta de forma contrária e estão sempre aumentando. Além disso, a mão - de - obra está cada vez mais escassa e cara também. O retorno financeiro que o produtor tem plantando um hectare de arroz é insuficiente para arcar com os custos de produção.

## 2.6 Arroz Vermelho

O arroz vermelho foi o primeiro tipo de arroz introduzido no Brasil pelos colonizadores portugueses, no estado do Maranhão, e é o mais antigo cultivado no mundo, ele pertence à mesma espécie do arroz branco, a *Oryza sativa* L. (PEREIRA e MORAIS, 2014). Seu cultivo no Brasil atualmente está restrito a pequenas áreas, principalmente do semiárido nordestino, tendo como principal produtor o estado da Paraíba. Segundo os autores, o arroz vermelho pode ser classificado em três tipos diferentes, diferenciados pelo seu grau de domesticação: o silvestre, o daninho ou espontâneo e o cultivado.

O silvestre compreende 21 espécies do gênero *Oryza*, dentre essas, são naturais do Brasil *Oryza latifolia*, *Oryza alta*, *Oryza grandiglumis* e *Oryza glumaepatula* (LU, 1999; PEREIRA, 2008).

O daninho ou espontâneo é considerado a principal invasora em lavouras de arroz branco. Ele se desenvolve de forma espontânea em populações de arroz branco, podendo originar-se de variedades tanto do grupo *Japonica* quanto do grupo *Indica* (HEU & MOON, 2010).

O cultivado é plantado na América (Brasil), Europa (França e Rússia), África (Madagascar e Moçambique) e em praticamente todos os países da Ásia (PEREIRA e MORAIS, 2014). Estima-se que na China que cerca de 20% de todo o germoplasma nacional de arroz seja representado por acessos de arroz vermelho (AHUJA et al., 2011). Apresenta grande variabilidade genética em termos de ciclo, altura de planta, formato de grãos, teor de amilose, temperatura de gelatinização, aroma, pilosidade, produtividade, tolerância à seca, ao frio, à salinidade, ao acamamento e a diversos insetos-praga e doenças.

Em geral, as variedades plantadas apresentam arquitetura de planta tradicional, porte alto, folhas longas, largas, decumbentes, e baixo potencial genético de produção. Contudo, como resultado do cruzamento natural entre o arroz vermelho tradicional e o arroz branco, já foram identificadas variedades de arroz vermelho com arquitetura de planta moderna, com porte baixo, folhas curtas, estreitas, eretas e elevado potencial produtivo (PEREIRA et al., 2008).

O pigmento vermelho do pericarpo do arroz é característica dominante, controlada pelo gene *Rd* no cromossomo 1 e pelo gene *Rc* no cromossomo 7. Trata-se de uma proantocianina importante para a alimentação humana (responsável pela alta digestibilidade e pela ação antioxidante, esta é capaz de reduzir a formação de placas ateroscleróticas, um fator de risco associado a doenças cardiovasculares), atuando ainda como importante repelente contra alguns patógenos e predadores da cultura do arroz (SWEENEY et al., 2006).

A cor característica do pericarpo do grão de todas as espécies de arroz é a vermelha, a cor branca, na realidade, originou-se de uma mutação e se firmou por fim como característica de grande interesse comercial (PEREIRA et al., 2007; PEREIRA et al., 2008).

O arroz vermelho apresenta características diferenciadas em relação ao arroz branco, como sabor, textura e, provavelmente, valor nutricional. Walter (2009) observou em seu experimento que os grãos de arroz vermelho se destacaram por apresentarem maior teor de proteína, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, ferro, manganês e zinco em relação ao arroz branco. Pereira et al. (2009) também encontraram resultado semelhante para os teores de ferro e zinco.

Quanto às características de natureza culinária, o arroz vermelho possui menor teor de amilose (causa da tendência de seu empapamento) e requer maior tempo e energia para o seu efetivo cozimento (PEREIRA et al., 2009).

No que se refere à superfície atualmente plantada, os dados indicam uma drástica redução durante os últimos 50 anos, tendo caído de 33.149 hectares, no ano de 1964, para apenas 2.552 hectares, em 2010, no estado da Paraíba. No caso do Rio Grande do Norte, tomando-se por base a microrregião geográfica do Seridó, no mesmo período, a queda foi de um total de cerca de 1.000 hectares para inexpressivos 100 hectares, ocorrendo, portanto, uma redução para somente cerca de 10% do total da área cultivada em relação à primeira metade da década de 1960, quando a cultura do arroz vermelho alcançou o seu apogeu naqueles dois estados nordestinos (PEREIRA e MORAIS, 2014).

O desenvolvimento de cultivares de arroz com tipos de grãos especiais, como os de pericarpo vermelho, de boa qualidade e adaptados às condições de cultivo do Brasil, constitui-se em grande oportunidade com vistas a agregar valor à produção e capitalizar o agricultor (BASSINELLO et al., 2005). Porém, apesar da importância da cultura do arroz vermelho, a bibliografia a seu respeito ainda é considerada bastante escassa, principalmente no que se refere às variedades encontradas no mercado nacional (PEREIRA e MORAIS, 2014).

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo Geral**

Objetivou-se com esse trabalho descrever morfológicamente duas cultivares de arroz vermelho e avaliar seus respectivos comportamentos agronômicos, comparando-as a duas cultivares de arroz branco, em três locais e dois anos consecutivos, no estado do Rio de Janeiro.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Realização de ensaios de Valor de Cultivo e Uso;
- Caracterização morfológica da cultivar ENA AR-1601 e Virgínia de acordo com as exigências do Registro Nacional de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
- Avaliação das características agronômicas;
- Avaliar a interação genótipo x ambiente das cultivares de arroz vermelho;
- Avaliar a adaptabilidade e a estabilidade em relação à produção de grãos das cultivares ENA AR-1601 e Virgínia em diferentes locais do estado do Rio de Janeiro;
- Avaliar a qualidade industrial dos grãos das cultivares ENA AR-1601 e Virgínia.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados durante os anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2), em três locais no estado do Rio de Janeiro:

- L1 – Câmpus Campos dos Goytacazes da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), no município de Campos dos Goytacazes (RJ), situado à 21°45'15" S e 41°19'28" W;
- L2 - Área experimental do Departamento de Fitotecnia do Instituto de Agronomia - UFRRJ, no município de Seropédica (RJ), situado à 22°44'29" S e 43°42'49" W;
- L3 - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) – Câmpus Nilo Peçanha, localizado no município de Pinheiral (RJ), situado à 22°30'46" S e 44°00'02" W.

Os ensaios foram conduzidos em sistema de sequeiro, com irrigação suplementar, e sob manejo orgânico de produção. O plantio foi realizado por mudas produzidas em canteiros, com densidade de sementeira 200g de sementes.m<sup>-2</sup>, ajustada de acordo com a germinação e a massa das sementes de cada tratamento. Após a sementeira, quando as mudas apresentavam em médias seis folhas definitivas, foi realizado o transplante, plantando touceiras de 8 a 12 mudas, espaçadas em 0,20m uma da outra. As parcelas foram constituídas de oito fileiras de plantas, com 4,0 m de comprimento e espaçamento de 0,5 m entre fileiras. A área útil da parcela constou das quatro fileiras centrais, excluindo-se 1,0 m das extremidades destas, correspondendo a 4,0 m<sup>2</sup>. O controle de plantas espontâneas foi feito por meio de capinas manuais.

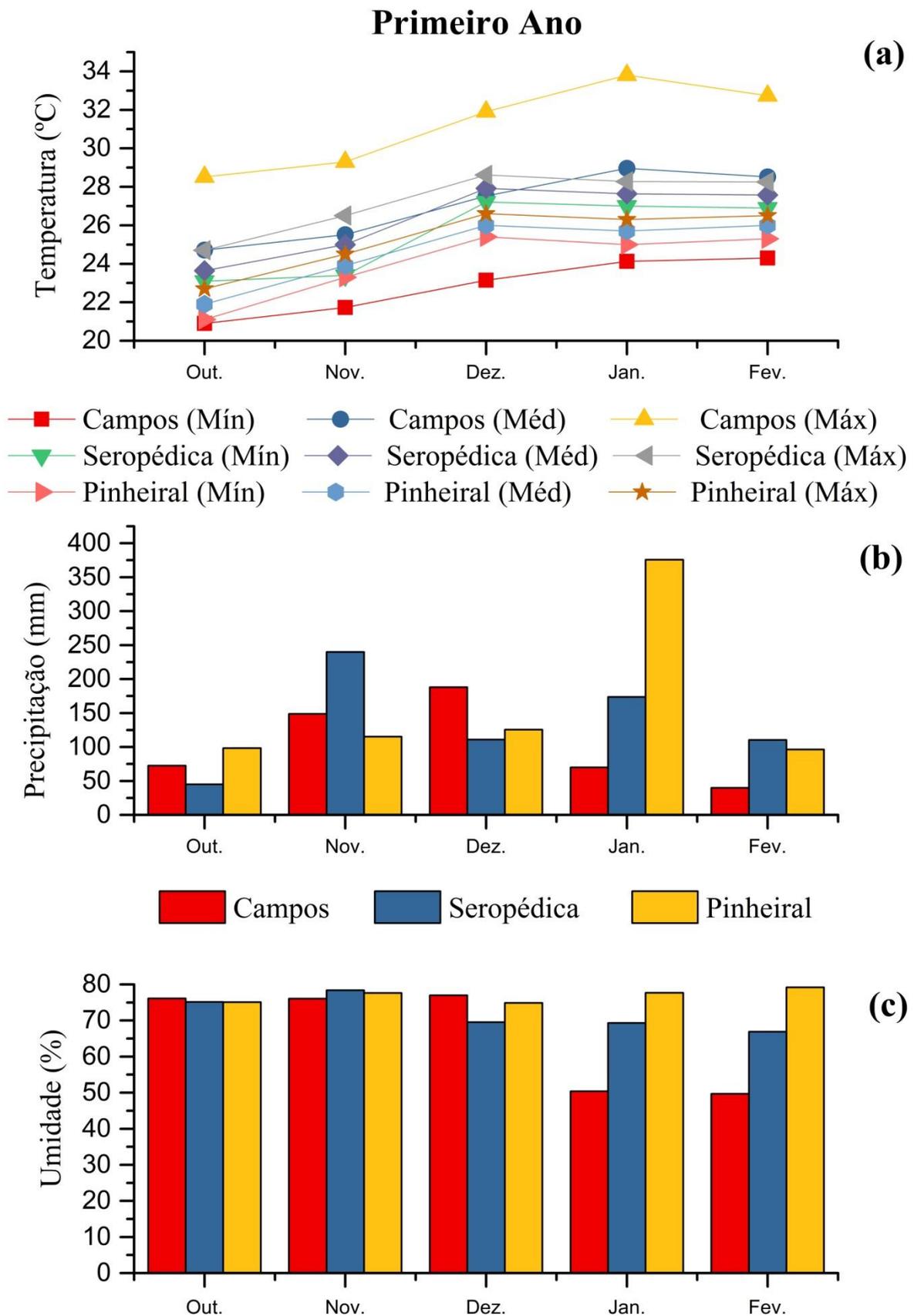
O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram as cultivares registradas de arroz branco, BRS Esmeralda e IAC 201 e das cultivares tradicionais de arroz vermelho, ENA-AR1601 e Virgínia. As cultivares BRS Esmeralda e IAC 201 são recomendadas para cultivo em sistema de sequeiro, a primeira para os estados de Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso, Pará, Piauí, Rondônia, Roraima e Tocantins, e a segunda para o estado de São Paulo. A cultivar Virgínia, que anteriormente era conhecida como “Vermelho Virgínia”, é proveniente no sul de Minas Gerais, no município de Virgínia, foi selecionada e vem sendo produzida na UFRRJ há mais de dez anos, e a cultivar ENA-AR 1601, anteriormente denominada de “Vermelho Pequeno”, foi selecionada na UFRRJ há cerca de quinze anos. As duas veem sendo produzidas e demonstrando bom desempenho agrônômico em dois sistemas de produção, irrigado por inundação e sequeiro com irrigação suplementar.

As sementeiras e transplantes ocorreram conforme Tabela 2:

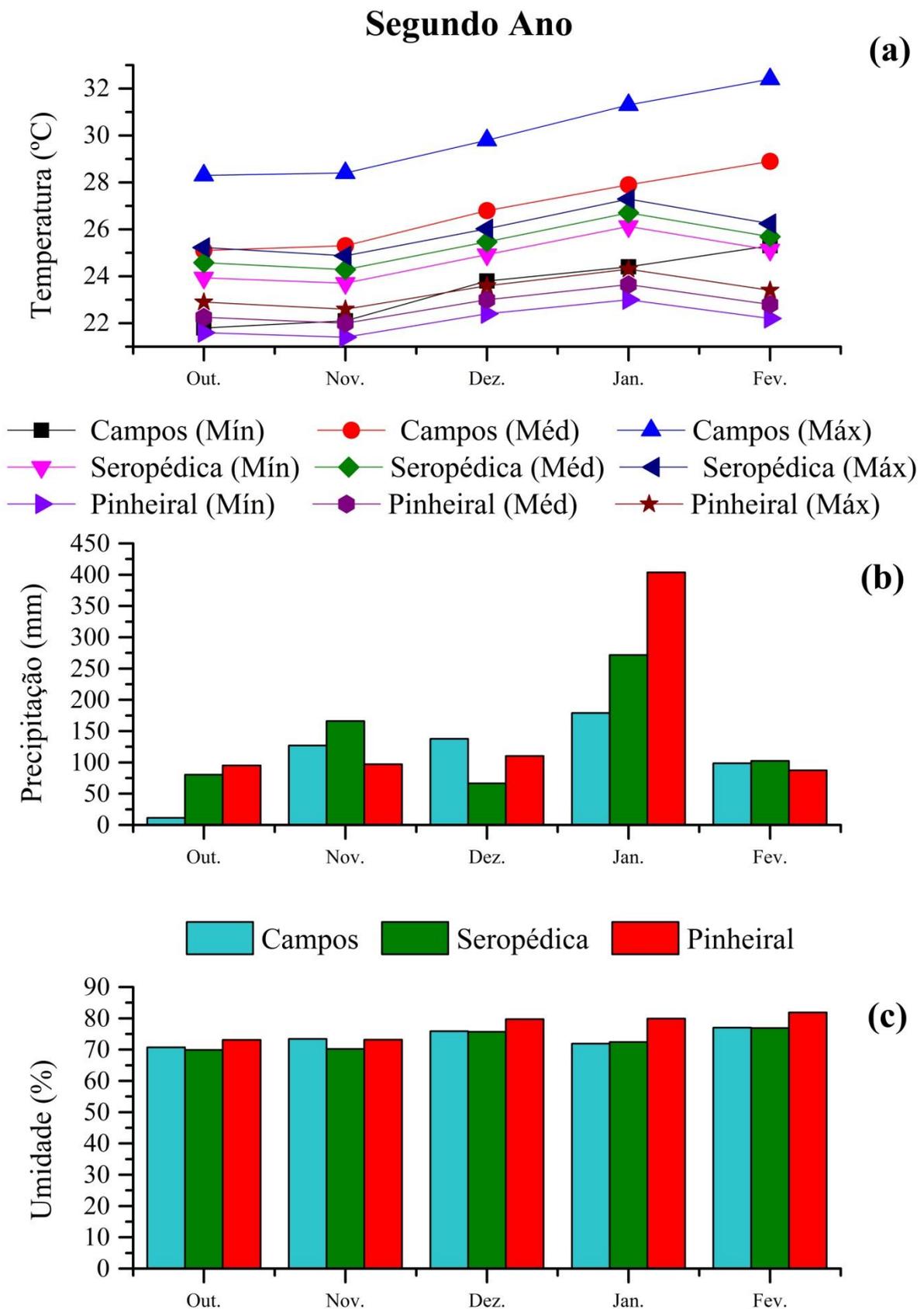
**Tabela 2:** Datas de sementeiras e transplante das mudas nos três locais e dois anos dos ensaios:

	Ano 1		Ano 2	
	Sementeira	Transplante	Sementeira	Transplante
L1	19/09	13/10	26/10	21/11
L2	19/10	17/11	16/10	13/11
L3	07/10	01/11	28/09	24/10

Durante o período de cultivo em cada local, foram registrados os dados climáticos temperatura (média, média das máximas e média das mínimas), precipitação (mm) e umidade relativa do ar (%) (Figuras 2 e 3).



**Figura 2:** Dados climáticos registrados durante os meses de outubro a fevereiro de 2016/2017 (Ano 1) nos municípios de Campos dos Goytacazes, Seropédica e Pinheiral. Média das temperaturas máximas e mínimas e temperatura média (a), precipitação pluviométrica (b) e umidade relativa média (c).



**Figura 3:** Dados climáticos registrados durante os meses de outubro a fevereiro de 2017/2018 (Ano 2) nos municípios de Campos dos Goytacazes, Seropédica e Pinheiral. Média das temperaturas máximas e mínimas e temperatura média (a), precipitação pluviométrica (b) e umidade relativa média (c).

Foram realizadas adubações no plantio e em cobertura, aos 25 dias após o transplante, de acordo com o recomendado para a cultura (FREIRE et al., 2013), baseado nos resultados da análise do solo (Tabela 3). No plantio utilizou-se 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>, 30 kg K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> e 60 kg N.ha<sup>-1</sup>, sendo as fontes, respectivamente, termofostato, cinza de madeira e esterco bovino, nos locais 1 e 3. No local 2, utilizou-se 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>, 60 kg K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> e 60 kg N.ha<sup>-1</sup>, com as mesmas fontes. Em cobertura, foram aplicados nos três locais 60 kg K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> e 60 kg N.ha<sup>-1</sup>, usando como fonte, respectivamente, cinza de madeira e torta de mamona.

**Tabela 3:** Análise de solo das áreas onde os ensaios foram implantados. L1 – Campos dos Goytacazes; L2 – Seropédica; L3 – Pinheiral.

	pH	P	K	Ca	Mg	Al	(H+Al)	Classe
		mg.dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>			
L1	6,1	8	83	5,1	3,9	0,0	5,2	Cambissolo
L2	4,6	36	27	1,0	0,5	0,2	3,3	Planossolo
L3	5,1	7,2	72	2,0	0,9	0,1	3,3	Planossolo

Avaliou - se nas cultivares de arroz vermelho os descritores morfológicos, de acordo com Brasil (1997), e para todas as cultivares, os componentes da produção e características agrônomicas em cada um dos experimentos.

Para os descritores morfológicos foram tomadas medidas de dez plantas ao acaso da área útil de cada parcela. Os descritores avaliados foram:

- Ângulo da folha bandeira – observação do ângulo em relação ao colmo na antese, sendo classificado como: ereto < 30°; intermediário entre 31° e 60°; horizontal entre 61° e 90°; descendente > 90°;
- Cor da folha - coloração do limbo e da bainha no início do aparecimento das panículas;
- Comprimento do colmo - distância média, em centímetros, do solo até a base da panícula (nó ciliar), medida em 10 plantas ao acaso e classificado como: curto (< que 65 cm), médio (de 65,1 cm a 85 cm) e longo (> 85,1 cm);
- Presença de aristas – observada após o enchimento dos grãos;
- Comprimento da panícula – distância média, em centímetros, da base da panícula ao ápice da última espiguetta, determinada na época da colheita, nas mesmas plantas usadas para medir o comprimento do colmo e classificada como: curta (< 22 cm), média (de 22,1 cm a 25 cm) e longa (>25,1 cm);
- Cor do ápico na maturação – observada durante a maturação dos grãos;
- Cor das glumelas – observada ao final da maturação;
- Comprimento do grão descascado – medido em 200 grãos inteiros descascados não polidos, tomados ao acaso;
- Forma do grão – classificado com base na relação comprimento/largura (C/L) dos grãos descascados, não polidos: arredondado C/L < 1,50; semiarredondado C/L entre 1,50 e 2,00; meio alongada C/L entre 2,01 e 2,75; alongada C/L entre 2,76 e 3,50; muito alongada > 3,50.

Os componentes da produção e as características agrônomicas avaliadas foram as seguintes:

- Panículas viáveis por m<sup>2</sup> (Pan.m<sup>-2</sup>): foi realizada a contagem do número de panículas viáveis em 1,0 m<sup>2</sup> da área útil de cada parcela, considerando aquelas com pelo menos uma espiguetta cheia;

- Espiguetas por panículas (Esp.pan<sup>-1</sup>): foram selecionadas ao acaso dez panículas viáveis da área útil de cada parcela e efetuada a contagem das espiguetas de cada uma delas, em seguida foi obtido a média de espiguetas por panícula de cada tratamento;
- Fertilidade das espiguetas (Fert.): nas dez panículas avaliadas, foi obtida a relação entre o número de espiguetas férteis, com grãos cheios, e o número total de espiguetas por panícula;
- Peso de cem espiguetas (P100): foi avaliado o peso médio de cinco amostras de cem espiguetas férteis da área útil de cada parcela dos tratamentos, ajustado para o teor de água de 13%;
- Produtividade (Prod): média da produção total de grãos, a 13% de umidade, na área útil das parcelas de cada tratamento, expressa em kg.ha<sup>-1</sup>;
- Altura da planta (Alt.): distância média, em centímetros, da superfície do solo até o ápice da última espiguetas;
- Florescimento médio: número de dias da sementeira até o florescimento de 50% das panículas de cada parcela;
- Ciclo: número de dias da sementeira à maturação, quando 80% das panículas das parcelas apresentavam 2/3 das espiguetas no ponto de colheita.

As avaliações relativas à qualidade industrial e tecnológica dos grãos, que englobam a classe, o rendimento de engenho e o rendimento de grãos inteiros, foram realizadas no Laboratório de Classificação Oficial do Serviço de Inspeção e Sanidade Vegetal da Superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SISV/SFA) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), no município do Rio de Janeiro (RJ). Para essas avaliações foram utilizadas amostras de 100g de cada parcela, em que os grãos foram secos naturalmente a cerca de 13% de umidade e beneficiados, usando-se moinho de provas (Suzuki, São Paulo, Brasil). Os materiais apenas descascados, ou seja, com os grãos integrais, foram avaliados quanto ao rendimento e renda de inteiros usando-se classificador *trieur*, seguindo a Instrução Normativa n°6 de 16 de fevereiro de 2009 e n°2 de 07 de fevereiro de 2012 (BRASIL, 2009; 2012).

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, individual para cada local e ano, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Em seguida, constatada a homogeneidade das variâncias, ou seja, confirmada que a relação entre o maior e o menor quadrado médio residual foi menor que sete (PIMENTEL GOMES e GARCIA, 2002), constatou-se a viabilidade de efetivação da análise conjunta. Foi realizada então, a análise conjunta da variância, considerando as quatro cultivares, os três locais e os dois anos, a fim de estudar as interações temporais e regionais. Para essa análise, foi utilizado o seguinte modelo estatístico, segundo Cruz e Regazzi (2012):

$$Y_{ijkm} = \mu + G_i + A_j + L_k + (B/L)/A_{jkm} + GA_{ij} + GL_{ik} + AL_{jk} + GAL_{ijk} + E_{ijkm}$$

Efeito: *G* fixo

Sendo:

- $\mu$  = média geral
- $G_i, A_j, L_k$  = efeitos dos genótipos, anos e locais, respectivamente;
- $GA_{ij}, GL_{ik}, AL_{jk}$  = efeitos das interações de primeira ordem entre genótipos e anos, genótipos e locais e anos e locais, respectivamente;
- $GAL_{ijk}$  = efeito da interação tripla entre genótipos, anos e locais;
- $(B/L)/A_{jkm}$  = efeito de blocos dentro de anos e dentro de locais;
- $E_{ijkm}$  = erro aleatório

Foram estimadas as correlações parciais a fim de avaliar a magnitude e o sentido das relações entre os componentes da produção (panículas por metro quadrado, espiguetas por panículas, fertilidade das espiguetas e peso de 100 espiguetas) e a produtividade, sendo as quatro primeiras as variáveis explicativas e a segunda a variável básica. Essas estimativas foram calculadas a partir da matriz das correlações fenotípicas gerada a partir da análise conjunta dos dados.

Na busca de um conhecimento mais detalhado a respeito do comportamento das cultivares avaliadas frente às variações ambientais e também buscando maiores informações sobre a adequação dos locais de estudo à cultura do arroz, foi realizado um estudo sobre o comportamento das cultivares nos diferentes ambientes. Nesse estudo avaliou-se apenas a característica “Produtividade (Prod)”. Os locais do segundo ano de ensaios foram denominados como outros ambientes, dessa maneira, realizou-se a análise conjunta da variância considerando as quatro cultivares e seis ambientes, que foram os seguintes:

- A1 - Campos dos Goytacazes – Ano 1;
- A2 - Seropédica – Ano 1;
- A3 - Pinheiral – Ano 1;
- A4 - Campos dos Goytacazes – Ano 2;
- A5 - Seropédica - Ano 2;
- A6 – Pinheiral – Ano 2.

A interação genótipo X ambiente (GxA) foi quantificada estimando-se o componente da variância atribuído aos efeitos da interação por meio das análises de variância conjunta, conforme Cruz e Regazzi (2012), considerando o efeito de genótipos fixo e ambiente aleatório. A significância desse componente foi verificada pelo teste F.

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + B/A_{jk} + E_{ijk}$$

*Efeitos : G fixo e A aleatório*

Sendo:

- $\mu$  = média geral;
- $G_i$  = efeito do i-ésimo genótipo;
- $A_j$  = efeito do j-ésimo ambiente;
- $GA_{ij}$  = efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;
- $B/A_{jk}$  = efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente;
- $E_{ijk}$  = erro aleatório

No estudo da interação, foram realizadas a estratificação de ambientes com base no algoritmo de Lins (1982), que consiste em estimar a soma dos quadrados da interação entre genótipos e pares de ambientes, e posteriormente agrupar os ambientes que apresentam interação não significativa pelo teste F e a estimativa da decomposição do quadrado médio da interação em partes simples, por meio da expressão proposta por Cruz e Castoldi (1991).

Para estimar os parâmetros indicadores da adaptabilidade e da estabilidade de comportamento das cultivares, seguiu-se a metodologia proposta por Eberhart e Russell (1966). Segue o modelo:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \epsilon_{ij}$$

sendo:

- $Y_{ij}$  = média do genótipo i no ambiente j;
- $\beta_0$  = média geral do genótipo i;
- $\beta_{1i}$  = coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i-ésimo genótipo à variação do ambiente;
- $I_j$  = índice ambiental codificado;

- $\delta_{ij}$  = desvio da regressão;
- $\epsilon_{ij}$  = erro experimental médio

Os procedimentos estatísticos foram feitos por meio do Aplicativo Computacional em Genética e Estatística - GENES (CRUZ, 2013).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Características Morfológicas

As cultivares de arroz vermelho estudadas diferenciam-se morfológicamente quando observamos as características presença de aristas e forma do grão, nos três locais do estudo (Tabelas 4, 5 e 6).

Foi constatada presença de aristas na cultivar Virgínia enquanto que na cultivar ENA-AR 1601 elas estavam ausentes, corroborando o que foi descrito em Menezes *et al.* (2011; 2012). A presença de aristas é um caráter qualitativo e importante descritor varietal. Segundo Nascimento e Cunha Filho (1983), esse caráter é bifatorial, pode ser determinado por dois genes com ação antagônica, sendo um deles responsável por sua expressão e o outro um inibidor do primeiro. A presença de arista é uma característica indesejada em cultivares comerciais, porém é possível encontrá-las em algumas linhagens que ainda não sofreram grande pressão de seleção (NEVES e GUIMARÃES, 2000).

A cultivar ENA-AR 1601 apresentou grãos de forma alongada e a cultivar Virgínia grãos meio-alongadas, nos três ambientes, de acordo com Brasil (1997), ou seja, relação C/L entre 2,76 e 3,50 para a primeira e C/L entre 2,01 e 2,75 para a segunda. Os mesmos resultados foram observados em Menezes *et al.* (2011), estudando essas cultivares no município de Seropédica, também em sistema de sequeiro, segundo os mesmos autores, esse caráter é pouco influenciado pelas condições ambientais. A forma do grão meio-alongada observada na cultivar Virgínia, é pouco aceita comercialmente, porém quando se fala em mercado de arroz no Brasil, trata-se quase que exclusivamente do arroz branco, considerando que o arroz vermelho é um tipo especial de arroz e tem suas particularidades, sendo comercializado como um produto diferenciado, ele não precisa seguir o padrão estabelecido para a comercialização do arroz branco.

**Tabela 4:** Descritores morfológicos ângulo da folha bandeira, cor da folha, comprimento do colmo, presença de aristas, comprimento da panícula, cor do apículo na maturação, cor das glumelas, comprimento do grão descascado e forma do grão das cultivares ENA AR-1601 e Virgínia. Campos dos Goytacazes, 2018.

Descritor	Cultivar	
	ENA AR-1601	Virgínia
Ângulo da folha bandeira	Ereto	Ereto
Cor da folha	Verde	Verde
Comprimento do colmo	Curto	Longo
Presença de aristas	Ausente	Presente
Comprimento da panícula	Curta	Curta
Cor do apículo na maturação	Amarelo	Amarelo
Cor das glumelas	Amarelo-palha	Amarelo-palha
Comprimento do grão descascado	Médio	Médio
Forma do grão	Alongada	Meio-alongada

**Tabela 5:** Descritores morfológicos ângulo da folha bandeira, cor da folha, comprimento do colmo, presença de aristas, comprimento da panícula, cor do ápulo na maturação, cor das glumelas, comprimento do grão descascado e forma do grão das cultivares ENA AR-1601 e Virgínia. Seropédica, 2018.

Descritor	Cultivar	
	ENA AR-1601	Virgínia
Ângulo da folha bandeira	Ereto	Ereto
Cor da folha	Verde	Verde
Comprimento do colmo	Médio	Longo
Presença de aristas	Ausente	Presente
Comprimento da panícula	Média	Média
Cor do ápulo na maturação	Amarelo	Amarelo
Cor das glumelas	Amarelo-palha	Amarelo-palha
Comprimento do grão descascado	Médio	Médio
Forma do grão	Alongada	Meio-alongada

**Tabela 6:** Descritores morfológicos ângulo da folha bandeira, cor da folha, comprimento do colmo, presença de aristas, comprimento da panícula, cor do ápulo na maturação, cor das glumelas, comprimento do grão descascado e forma do grão das cultivares ENA AR-1601 e Virgínia. Pinheiral, 2018.

Descritor	Cultivar	
	ENA AR-1601	Virgínia
Ângulo da folha bandeira	Ereto	Ereto
Cor da folha	Verde	Verde
Comprimento do colmo	Longo	Longo
Presença de aristas	Ausente	Presente
Comprimento da panícula	Longa	Longa
Cor do ápulo na maturação	Amarelo	Amarelo
Cor das glumelas	Amarelo-palha	Amarelo-palha
Comprimento do grão descascado	Médio	Médio
Forma do grão	Alongada	Meio-alongada

Em relação ao comprimento do colmo, a cultivar Virgínia foi classificada como “longo” nos três locais de estudo, enquanto que o da cultivar ENA-AR 1601 teve sua classificação diferenciada para cada local, sendo “curto” em Campos dos Goytacazes, “médio” em Seropédica e “longo” em Pinheiral (Tabelas 4, 5 e 6). Essa mesma classificação da cultivar ENA-AR 1601 para o comprimento do colmo, se repetiu quando observamos a característica comprimento da panícula em ambas cultivares nos três locais (Tabelas 4, 5 e 6). Essas características sofrem grande influência do ambiente, principalmente pela disponibilidade hídrica, densidade de sementeira e oferta de nutrientes, principalmente de nitrogênio, disponível para a planta (FONSECA *et al.*, 2002). Com base nesses resultados, pode-se dizer que a cultivar Virgínia sofre menos influência do ambiente em relação ao comprimento do colmo. Essas duas características ainda serão discutidas mais profundamente nesse trabalho.

As duas cultivares apresentaram ângulo da folha bandeira ereto nos três locais (Tabelas 4, 5 e 6), essa é uma característica inerente a cultivar e desejável em plantas de arroz, pois permite uma maior interceptação de luz, e assim, aumentando a área fotossinteticamente ativa dessa folha que é a principal fonte de fotoassimilados e, devido à sua proximidade da panícula, que é o principal dreno da planta após a floração, contribuindo bastante para o

enchimento de grãos. Atualmente, o melhoramento genético do arroz prioriza plantas que com “arquitetura moderna”, que são plantas de porte baixo e folhas eretas, não apenas a folha bandeira, pois assim, de uma maneira geral, aumenta-se a área fotossinteticamente ativa da planta, evita-se o autossombreamento e aumenta-se a produtividade.

As características cor do ápulo na maturação e cor das glumelas são características qualitativas usadas na distinção de variedades. Geralmente, são controladas por poucos genes, apresentam alta herdabilidade e não se alteram, ou são pouco influenciadas pelo ambiente (FONSECA *et al.*, 2002). As cultivares Virgínia e ENA-AR 1601 apresentaram nos três locais glumelas amarelo-palha e ápulo na maturação amarelo (Tabelas 4, 5 e 6).

## 5.2 Características Agronômicas: estudo das interações e comparação das médias

O florescimento médio e ciclo cultural das cultivares avaliadas, com exceção da cultivar IAC 201, foram mais longos do que o esperado (Tabela 7). Para a cultivar ENA-AR 1601 e Virgínia cultivadas em Seropédica (RJ) em sistema de sequeiro, Menezes *et al.*, (2011) e Moreira *et al.*, (2011) relatam florescimento médio de 66 e 77 dias, e ciclo cultural de 98 e 108 dias, respectivamente. Passeri Lima (2014), relatou florescimento médio de 83 dias e ciclo cultural de 109 dias para a cultivar ENA-AR 1601, cultivadas no mesmo local e nas mesmas condições.

Castro *et al.* (2014), após avaliarem a cultivar BRS Esmeralda em 108 ensaios entre os anos agrícolas de 2003/2004 a 2011/2012, verificaram florescimento médio de 77 dias e ciclo médio, da emergência à colheita de 110 dias. E, segundo o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), em sua página na internet (<http://www.iac.sp.gov.br/cultivares/inicio/folders/Arroz/IAC201.htm>) informa que a cultivar IAC 201 apresenta florescimento médio entre 78 - 90 dias e ciclo de 110 – 120 dias.

**Tabela 7:** Florescimento médio (dias) e ciclo cultural (dias) das cultivares ENA-AR 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos três locais (L1, L2 e L3) e dois anos (Ano 1 e Ano 2).

			ENA-AR 1601	Virgínia	BRS Esmeralda	IAC 201
Ano 1	L1	Florescimento	113	119	96	87
		Ciclo	152	155	106	101
	L2	Florescimento	90	98	96	83
		Ciclo	122	127	117	115
	L3	Florescimento	96	102	92	89
		Ciclo	124	129	120	117
Ano2	L1	Florescimento	109	113	87	90
		Ciclo	149	155	125	132
	L2	Florescimento	96	106	88	83
		Ciclo	135	147	115	112
	L3	Florescimento	99	109	92	88
		Ciclo	140	153	123	120

O ciclo do arroz, especialmente do arroz de sequeiro, pode variar dependendo das condições climáticas, por estarem mais sujeitos às intempéries. Um veranico, por exemplo, pode estender o ciclo de uma cultivar, isso acontece se o veranico ocorrer durante a fase vegetativa da cultura, fazendo com que a planta demore mais para florescer. Após o florescimento, o período de enchimento e maturação dos grãos é pouco afetado, geralmente esse período demora de 30 a 40 dias para se completar. Segundo Crusciol *et al.*, (2003) o ciclo da cultura do arroz no cultivo em sequeiro, pode ser influenciado pela disponibilidade hídrica, ou seja, o déficit hídrico aumenta o número de dias para as plantas atingirem 50% de

florescimento. Da mesma forma, baixas temperaturas também podem retardar o ciclo do arroz, pois influencia a fotossíntese em sua “fase escura”, onde ocorrem reações enzimáticas dependentes de temperatura, então, nessas condições, essas reações irão ocorrer de maneira mais lenta causando menor fixação de CO<sub>2</sub> e prejudicando o crescimento da planta. O contrário acontece quando a planta fica exposta em temperaturas mais altas, essas reações vão ocorrer mais rapidamente, a planta vai fixar mais CO<sub>2</sub> em menos tempo, a velocidade de emissão das folhas será maior favorecendo o acúmulo de biomassa.

O fato de o plantio ter sido feito por mudas influencia na duração do ciclo da planta de arroz, tornando-o mais longo se comparado à semeadura direta, pois as mudas sentem o transplante e demoram alguns dias até se estabelecerem na área e retomarem o crescimento.

Observando os resultados das análises de variâncias para cada local e ano de estudo (Tabela 8), nota-se que as cultivares apresentaram comportamento distintos para todas as características avaliadas em L3 (Pinheiral) no Ano 1 (2016/2017) e em L2 (Seropédica) no Ano 2 (2017/2018). As características P100 (peso de 100 espiguetas), C.colmo (comprimento do colmo), C.pan (comprimento da panícula) e Alt (altura da planta) foram significativas para todos os locais e anos.

Apenas para as características Pan.m<sup>-2</sup> (Panículas por metro quadrado), Esp.pan<sup>-1</sup> (Espiguetas por panícula), Fert (Fertilidade das espiguetas) e Prod (Produtividade), não foi possível encontrar diferença em pelo menos um dos lugares avaliados (Tabela 8).

Esses resultados demonstram a existência de variabilidade genética entre as cultivares, e indicam a necessidade de se fazer a análise conjunta desses dados, considerando as cultivares, os locais dos ensaios e os anos de cultivo para compreender melhor o comportamento das cultivares avaliadas e verificar se há interação dessas com o ambiente, auxiliando as futuras decisões que serão tomadas.

**Tabela 8:** Resumo da análise de variância individual das quatro cultivares (ENA AR-1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2) e nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral).

	Ano 1			Ano 2		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
	QM <sub>resíduo</sub>					
Pan.m <sup>-2</sup>	1185**	721**	1429**	412ns	378**	1218ns
Esp.pan <sup>-1</sup>	261**	1104ns	1187**	270**	290**	184**
Fert	27,81ns	25,67ns	14,38**	80,94ns	7,32**	10,51**
P100	0,0093**	0,0028**	0,0078**	0,0265**	0,0089**	0,011**
Prod	195427**	280397**	428120**	123888ns	161635**	382524ns
C.colmo	3139**	17,32**	8,04**	17,27**	18,97**	11,08**
C.pan	48,88**	1,35**	1,61*	1,23*	0,3178**	0,7029**
Alt	3921**	21,83**	11,40**	19,56**	20,33**	15,30**

<sup>ns</sup> não significativo; \* significativo (p < 0,05); \*\* significativo (p < 0,01). GI = 12. Pan.m<sup>-2</sup> (Panículas viáveis por metro quadrado); Esp.pan<sup>-1</sup> (Espiguetas por panícula); Fert (Fertilidade das espiguetas); P100 (Peso de cem espiguetas); Prod (Produtividade); C.colmo (Comprimento do colmo); C.pan (Comprimento da panícula); Alt (Altura da planta).

A partir dos resultados das análises de variâncias individuais de cada local e ano, ficou confirmada a homogeneidade das variâncias residuais, ou seja, e relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo foi menor que sete (PIMENTEL GOMES e GARCIA, 2002), permitindo então a realização da análise conjunta sem qualquer restrição dos locais e anos.

Foram observados efeitos significativos de Cultivares para as características Esp.pan<sup>-1</sup>, P100, C.colmo e Alt; de Ano para a característica P100; e de Local para as características P100 e Prod (Tabela 9). Destaca-se também a ausência de efeito significativo relacionado à cultivar para a

característica Prod, indicando que, de uma maneira geral, não houve diferença em relação a produção de grãos entre as cultivares de arroz branco e de arroz vermelho.

As interações Cultivar x Ano foram significativas para as características Pan.m<sup>-2</sup> e C.pan (Tabela 9), isso quer dizer que as cultivares estudadas apresentaram baixa consistência de desempenho para essas características nos diferentes anos. Em relação às interações Cultivar x Local, apenas a característica C.pan apresentou significância, demonstrando que as cultivares apresentaram baixa consistência de desempenho nos diferentes locais estudados também, isso indica que ela não seria uma boa característica a ser utilizada como requisito em um processo de seleção. Para quase todas as características avaliadas, com exceção da P100, foram observadas interações Ano x Local significativa (Tabela 9).

**Tabela 9:** Resumo da análise de variância conjunta das quatro cultivares (ENA AR-1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201), três locais (Campo dos Goytacazes, Seropédica e Pinheiral) e dois anos agrícolas (2016/2017 e 2017/2018).

gl	Cultivar	Ano	Local	CxA	CxL	AxL	CxAxL	Média	CV(%)
	3	1	2	3	6	2	6		
	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM		
Pan.m <sup>-2</sup>	39453ns	7680ns	59644ns	9711*	840ns	7284**	1440ns	146,88	20,32
Esp.pan <sup>-1</sup>	18304*	8,25ns	14144ns	1518ns	1412ns	9151**	1546**	117,78	17,67
Fert	39,39ns	81,41ns	427,37ns	158,37ns	93,64ns	168,8**	176,25**	83,72	6,29
P100	7,10**	0,323*	1,216*	0,131ns	0,185ns	0,149ns	0,708**	2,72	3,86
Prod	524275ns	117018ns	967203*	332637ns	288707ns	375047*	733904*	3551,16	14,41
C.colmo	17741**	830,55ns	6696,75ns	192,27ns	200,43ns	1057,5**	65,43**	85,09	4,29
C.pan	49,294ns	28,959ns	243,80ns	14,939*	8,616*	87,093**	2,007ns	21,92	4,59
Alt	19123**	545,28ns	9481,2ns	300,4ns	159,13ns	1719,9**	86,54**	107,01	3,79

<sup>ns</sup> não significativo; \* significativo (p < 0,05); \*\* significativo (p < 0,01). Pan.m<sup>-2</sup> (Panículas viáveis por metro quadrado); Esp.pan<sup>-1</sup> (Espiguetas por panícula); Fert (Fertilidade das espiguetas); P100 (Peso de cem espiguetas); Prod (Produtividade); C.colmo (Comprimento do colmo); C.pan (Comprimento da panícula); Alt (Altura da planta).

Foi observado interação tripla significativa Cultivar x Ano x Local para as características Esp.pan<sup>-1</sup>, Fert, P100, Prod, C.colmo e Alt (Tabela 9), demonstrando baixa consistência entre as cultivares estudadas e cada combinação de anos e locais (ARAÚJO, 2017), a significância desse tipo de interação é um indicativo de que o desempenho relativo entre as cultivares não foi o mesmo em cada combinação de locais e anos. Significância para efeitos de cultivares, locais, anos e suas interações foram relatados por Neto *et al.*, (2013) para a cultura do arroz sequeiro com irrigação suplementar, em relação à característica produção de grãos no estado de São Paulo.

Em um programa de melhoramento, no processo de seleção de cultivares para recomendação de plantio, baseado em algumas dessas características e em algum dos locais ou região dos locais estudados, não é indicado que se faça uma recomendação genérica, que sirva para todos os ambientes. Em casos como esse, a recomendação deve ser realizada para cada local específico, baseado nas médias das cultivares no determinado local.

A cultivar ENA-AR 1601 obteve o maior número de panículas por metro quadrado (Pan.m<sup>-2</sup>) nos três locais no Ano 1 (Tabela 9). No Ano 2, não houve diferença significativa entre essa cultivar e as cultivares Virgínia e BRS Esmeralda. Ao comparar o desempenho desta cultivar nos diferentes locais em relação a característica citada, observa-se que o melhor resultado para essa foi no L3 do Ano 1, enquanto que no L1 do Ano 2 encontra-se a menor média. Em todos os locais, a cultivar ENA-AR 1601 apresentou médias superiores à média geral (Tabela 10).

**Tabela 10:** Número de panículas por metro quadrado (Pan.m<sup>-2</sup>) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	Pan.m <sup>-2</sup>						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR – 1601	207,4 Ba	209,2 Ba	267 Aa	93,8 Ca	197,2 Ba	186 Bab	226,5
Virgínia	126,8 BCb	126,8 BCb	192 Ab	96,2 Ca	172,6 Aab	193 Aa	192,5
BRS Esmeralda	91,8 BCb	141,6 ABb	189,4 Ab	77,6 Ca	153 Aab	166,6 Aab	153
IAC 201	77,4 Bb	108,6 ABb	120,6 ABc	73,6 Ba	115 ABb	142 Ab	128,5
Média	125,85	146,55	192,25	85,3	159,4	171,9	
CV(%)	27,36	18,33	19,66	23,82	12,20	20,30	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O número de panículas por metro quadrado é um dos componentes da produção do arroz e está diretamente ligado à capacidade da planta em perfilhar. O número de panículas por área é definido no período compreendido entre a germinação e até dez dias após a diferenciação do primórdio da panícula (SANTOS *et al.* 2006). Segundo Crusciol *et al.*, (2006), se ocorrer deficiência hídrica durante esse período, o número de panículas por área será afetado. De maneira geral, cultivares que apresentaram maior número de perfilhos apresentaram também maior número de panículas (SILVA *et al.*, 2009 ; FAGERIA, 2011; DALCHIAVON *et al.*, 2012).

Segundo Menezes e Silva (1998), o número de panículas pode variar com a densidade de semeadura também, os autores constataram que o menor número de panículas foi observado nas menores densidades de semeadura, devido ao menor número de perfilhos obtidos. Para Guimarães *et al.* (2003), a produtividade do arroz de sequeiro, aumenta com o número de plantas por unidade de área até o ponto em que a competição intraespecífica por nutrientes, água e luz, e, o autossombreamento, limitam o processo produtivo.

Avaliando as mesmas cultivares de arroz vermelho que foram usadas nesse trabalho, Menezes *et al.*, (2011) relataram médias de 241 e 240 e Moreira *et al.*, (2011) médias de 262 e 201 panículas viáveis por metro quadrado, respectivamente para as cultivares ENA-AR 1601 e Virgínia e Passeri Lima (2014) relatou média de 303 panículas para a cultivar ENA-AR 1601, em todos os trabalhos o cultivo ocorreu em Seropédica (RJ) em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e manejo convencional.

A cultivar IAC 201 se destacou no número de espiguetas por panícula (Esp.pan<sup>-1</sup>) apresentando as maiores médias em todos os locais e anos, e foi superior estatisticamente às demais no L3 do Ano 1 e L2 do Ano 2. Comparando o comportamento da cultivar nos diferentes locais, no L3 do Ano 1 ela apresentou maior valor para essa característica, diferindo significativamente dos outros lugares (Tabela 11). A cultivar ENA-AR 1601 também demonstrou bom desempenho em relação à Esp.pan<sup>-1</sup>, principalmente no segundo ano (Ano 2) dos ensaios, onde apresentou médias maiores que no primeiro (Ano 1) e diferiu da IAC 201 apenas no L2 (Tabela 11).

O número de espiguetas por panícula é uma característica varietal, mas que pode ser bastante influenciada pelo clima (Yoshida, 1981), especificamente no momento da diferenciação da panícula, onde a ocorrência de baixas temperaturas ou de estresse por falta de água podem prejudicar a formação das espiguetas e comprometer essa característica.

**Tabela 11:** Espiguetas por panícula (Esp.pan<sup>-1</sup>) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	Esp.pan <sup>-1</sup>						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR –							
1601	71,1 Bb	109,4 ABab	120,5 Ab	102,8 ABab	129,3 Ab	131,2 Aa	110,7
Virgínia	90,1 Aab	110,2 Aab	122,6 Ab	93,7 Ab	102,2 Ab	95,8 Ab	102,4
BRS	77,8 Cb	97,1 ABCb	135,2 Ab	98 ABCb	118,8 ABb	93,6 BCb	103,4
Esmeralda							
IAC 201	113,4 Ca	131,9 BCa	230,3 Aa	134,5 BCa	165,6 Ba	150,5 BCa	154,3
Média	88,1	112,2	152,2	107,2	129	117,8	
CV(%)	18,35	17,91	22,64	15,33	13,22	11,34	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A fertilidade das espiguetas (Fert), dentre os componentes da produção, foi o que menos apresentou diferença entre as cultivares. Em L1 e L2 do Ano 1 e em L2 do ano 2 não foi possível encontrar diferença. Em geral, todas as cultivares apresentaram bom desempenho para essa característica, sendo que a cultivar ENA-AR 1601 apresentou as melhores médias com valores superiores ao da média geral em quatro dos seis locais, L1, L2 e L3 do Ano 1 e L2 do Ano 2 (Tabela 12).

**Tabela 12:** Fertilidade das espiguetas (Fert) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	Fert (%)						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR –							
1601	82,8 Aa	87,1 Aa	91,9 Aa	70 Bc	92,6 Aa	84,7 Aab	84,8
Virgínia	78,2 Aa	83,3 Aa	86,5 Aab	86,5 Aa	87,6 Aa	83,7 Ab	84,3
BRS	81,7 Aba	80,8 Aba	81 ABbc	75,7 Bbc	84,5 Aba	89,8 Aa	82,2
Esmeralda							
IAC 201	83,1 ABCa	84,1 ABa	73,8 Cc	81,3 BCab	86,3 ABa	91,3 Aa	83,31
Média	81,5	83,8	83,3	78,4	87,8	87,4	
CV(%)	6,47	6,04	4,35	11,47	3,08	3,71	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A ocorrência de temperaturas elevadas, ou, principalmente, de baixas temperaturas durante alguns dias seguidos na fase reprodutiva do arroz podem causar sérios danos à planta e reduzir drasticamente a produção de grãos. No emborrachamento, temperaturas abaixo de 17°C (YOSHIDA, 1981), pode causar efeito na microsporogênese, deixando o grão de pólen estéril, ou seja, sem capacidade de germinar e fecundar. Se essa temperatura ocorrer na antese, pode provocar incapacidade de germinação do pólen e, mesmo ele estando viável, não consegue emitir o tubo polínico quando encontra o estigma. Ainda na antese, temperaturas de 40°C (YOSHIDA, 1981), pode causar impedimento da deiscência das anteras, impedindo a liberação dos grãos de pólen.

Qualquer fator que interfira na germinação e viabilidade dos grãos de pólen e no funcionamento perfeito das anteras vai influenciar na fertilização do ovário e impedir ou

prejudicar a formação de espiguetas férteis, contribuindo de forma negativa para a característica em questão.

Em relação ao peso de cem espiguetas (P100), a cultivar Virgínia se destacou entre as outras, apresentando maiores médias variando de 2,73g a 3,44g (Tabela 13), resultados semelhantes aos encontrados em Menezes *et al.* (2011) e Moreira *et al.*, (2011) que foram de 3,40g e 3,08g respectivamente, para a mesma cultivar. A cultivar ENA-AR 1601 apresentou grãos mais leves, o que já era esperado por ser característico dessa cultivar. Nos mesmos trabalhos citados anteriormente, os autores registraram para a ENA-AR 1601 pesos de 2,27g e 2,21g respectivamente, e Passeri Lima (2014) registrou 2,22g, valores próximos aos encontrados nesse trabalho que variaram de 1,79g a 2,44g nos diferentes locais (tabela 13), demonstrando alta influência do ambiente nesse componente para essa cultivar.

A cultivar BRS Esmeralda mostrou-se mais estável em relação a essa característica, pois diferente das outras cultivares, para ela, não foi possível identificar diferenças significativas entre os locais de estudo. O peso de espiguetas variou de 2,78g a 2,97g (Tabela 13), segundo Castro *et al.*, (2014) o peso médio de cem espiguetas dessa cultivar é de 2,76g.

**Tabela 13:** Peso de cem espiguetas (P100) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	P100 (g)						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR – 1601	1,79 Cc	2,16 Bc	2,27 ABd	1,81 Cd	2,44 Ad	2,22 Bd	2,11
Virgínia	2,73 Ca	3,43 Aa	3,44 Aa	3,13 Ba	3,51 Aa	3,44 Aa	3,28
BRS Esmeralda	2,81 Aa	2,78 Ab	2,84 Ab	2,82 Ab	2,95 Ab	2,97 Ab	2,86
IAC 201	2,48 Bb	2,69 Ab	2,57 ABc	2,57 ABc	2,65 ABc	2,73 Ac	2,61
Média	2,45	2,76	2,78	2,58	2,88	2,84	
CV(%)	3,92	1,89	3,16	6,30	3,27	3,68	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

As cultivares de arroz vermelho ENA-AR 1601 e Virgínia apresentaram as maiores médias de produtividade em todos os locais e anos, porém só foi possível identificar diferença significativa com a cultivar de arroz branco BRS Esmeralda no L1 do Ano 1 e L2 do Ano 2 (Tabela 14). Esses resultados revelam bom desempenho produtivo das cultivares de arroz vermelho, visto que, geralmente, cultivares de tipos especiais de arroz são menos produtivos que os brancos (MAGALHÃES JÚNIOR, 2012). Menezes *et al.*, (2011) e Moreira *et al.*, (2011) avaliaram a produtividade da ENA-AR 1601 e Virgínia em sistema de sequeiro e manejo convencional e registraram produtividades médias de 3658 Kg.ha<sup>-1</sup> e 4240 Kg.ha<sup>-1</sup> para a primeira, e 5072 Kg.ha<sup>-1</sup> e 2487 Kg.ha<sup>-1</sup> para a segunda, respectivamente. Passeri Lima (2014) relatou para a cultivar ENA-AR 1601 4145 Kg.ha<sup>-1</sup>, cultivada nas mesmas condições de manejo citadas anteriormente. Wickert *et al.*, (2014), avaliando a cultivar SCS 119 Rubi, relatam produtividade média de 7000 Kg.ha<sup>-1</sup>, em cultivo irrigado por inundação, no estado de Santa Catarina.

Castro *et al.*, (2014) registraram produtividade média da cultivar BRS Esmeralda, avaliada em 108 ensaios durante os anos agrícolas de 2003/2004 a 2011/2012 foi de 3985 Kg.ha<sup>-1</sup>.

A cultivar IAC 201, em geral, apresentou as menores produtividades, variando de 1114 Kg.ha<sup>-1</sup> a 5174 Kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 14) Em dois locais, L1 e L3 do Ano 2, elas estiveram

acima da média geral, sendo que em L3 ela foi a segunda maior, mas não diferiu da ENA-AR 1601 nem da BRS Esmeralda. A produtividade média dessa cultivar relatada pelo IAC é de 3054 Kg.ha<sup>-1</sup>, no estado de São Paulo, em sistema de sequeiro.

Segundo a CONAB (2019), a produtividade média nacional do arroz cultivado em sistema de sequeiro na safra de 2017/2018 foi de 2409 Kg.ha<sup>-1</sup>, na região sudeste foi de 2244 Kg.ha<sup>-1</sup> e no estado do Rio de Janeiro apenas 1483 Kg.ha<sup>-1</sup>.

Analisando o comportamento das cultivares nos diferentes locais, observa-se que no local L1 (Campos dos Goytacazes), nos dois anos de cultivo, as cultivares apresentaram baixo desempenho se comparado aos demais (Tabela 14). Provavelmente isso ocorreu devido às condições climáticas nesse local durante o período de cultivo. No Ano 1, foram registrados baixos índices pluviométricos nesse local nos meses de outubro, janeiro e fevereiro, com cerca de 72mm, 69mm e 39 mm, respectivamente (Figura 2b), esses períodos coincidiram com a implantação do experimento e com a fase reprodutiva, prejudicando o “pegamento” das mudas e o florescimento e fertilização do ovário para futura formação dos grãos. Essa fase da cultura, a fase reprodutiva, é extremamente sensível à falta de água, pois há um pico da atividade fotossintética para produzir fotoassimilados necessários para a nutrição do embrião que está sendo formado, se a oferta de água estiver abaixo da demanda da planta, o processo fotossintético é prejudicado. Com isso, o processo de formação de grãos é também prejudicado, causando quedas expressivas na produtividade. Além da baixa taxa de precipitação, ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro altas temperaturas, com médias de 29,0 em janeiro e 28,5 em fevereiro e média das máximas de 34°C em janeiro e 33 °C em fevereiro (Figura 2a). Segundo Yoshida (1981) e Steinmetz *et al.*, (2006) a faixa de temperatura ótima para a cultura do arroz durante a sua fase reprodutiva é de 25 a 30 °C.

Durante o Ano 2, nota-se que choveu mais nos meses de janeiro e fevereiro, com taxas de 179mm e 98mm, porém nesse ano o entrave foi a distribuição da chuva, que não está registrado, mas foi observado que essa lâmina aconteceu em poucos dias dos meses, ficando a maior parte sem chover. E choveu menos em outubro, novembro e dezembro (Figura 2b). Em relação às temperaturas, essas foram mais amenas nesse ano com médias de 26, 5C e 25,7 °C nos meses de janeiro e fevereiro (Figura 2a).

O local onde as cultivares apresentaram as maiores produtividades foi o L3 (Pinheiral), nos dois anos. Com destaque para o Ano 1 que foi significativamente superior para as cultivares ENA-AR 1601 e BRS Esmeralda e não diferiu estatisticamente do Ano 2 para a cultivar Virgínia. A cultivar IAC 201 apresentou sua melhor média no L3 do Ano 2. Nesse local, para os dois anos, registraram-se ótimas taxas de precipitação e temperaturas amenas durante o ciclo da cultura (Figura 4 “a” e “b”), favorecendo o desempenho produtivo das cultivares.

O L2 (Seropédica) foi um local intermediário, as cultivares comportaram-se de maneira esperada em relação à produtividade, com destaque para as cultivares de arroz vermelho ENA-AR 1601 e Virgínia que apresentaram as maiores médias, com médias acima da média geral nos dois anos (Tabela 14).

**Tabela 14:** Produtividade (Prod) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	Prod (kg.ha <sup>-1</sup> )						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR – 1601	2128 Cab	3767 Ba	6057 Aa	2139 Ca	4251 Bab	4644 Bab	3831
Virgínia	2506 CDa	3370 Ca	5923 Aa	2237 Da	4365 Ba	5317 Aa	3953
BRS	1554 Dbc	3302 Ca	5436 Aa	2125 Da	3419 Cb	4395 Bb	3372
Esmeralda							
IAC 201	1114 Dc	2215 Cb	4057 Bb	2326 Ca	3407 Bb	5174 Aab	3049
Média	1825,5	3163,5	5368,2	2206,7	3860,5	4882,5	
CV(%)	24,22	16,74	12,19	15,95	10,41	12,67	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os coeficientes de variação (CV%) da característica produtividade variaram entre 10,41 e 24,22 (Tabela 13) e estão dentro do aceitável para experimentos a campo, indicando que houve boa precisão experimental.

Os componentes da produção que apresentaram maiores correlações parciais, com base nas correlações fenotípicas, com a produtividade nesses ensaios foram Pan.m<sup>-2</sup> (81,45%) e Fert (70,75%). O P100 apresentou 13,69% e Esp.pan<sup>-1</sup> demonstra um comportamento inverso com correlação negativa (-77,31%) (Tabela 15).

**Tabela 15:** Estimativas das correlações parciais entre os componentes da produção Panículas por metro quadrado (Pan.m<sup>-2</sup>), Espiguetas por panícula (Esp.pan<sup>-1</sup>), Fertilidade das espiguetas (Fert) e Peso de 100 espiguetas (P100) com a Produtividade (Prod).

Variáveis	r
Pan.m <sup>-2</sup> x Prod	0,8145
Esp.pan <sup>-1</sup> x Prod	-0,77,31
Fert x Prod	0,7075
P100 x Prod	0,1369

As cultivares de arroz vermelho apresentaram os maiores números de panículas por metro quadrado, principalmente a ENA-AR 1601 (Tabela 10), e também obtiveram as maiores produtividades (Tabela 14), mostrando a grande influência desse componente na produtividade final. A cultivar IAC 201, se destacou no número de espiguetas por panícula, mostrando superioridade em cinco dos seis locais de estudo (Tabela 11), porém apresentou baixas produtividades, isso explica a correlação negativa dessa característica com a produtividade. Para a fertilidade das espiguetas, houve um equilíbrio e todas tiveram um bom desempenho. E para o peso de espiguetas, a cultivar ENA-AR 1601, que apresentou as espiguetas mais leves (Tabela 13) foi uma das cultivares que obtiveram altas produtividades (Tabela 14), ao mesmo tempo, a cultivar Virgínia teve as espiguetas mais pesadas (Tabela 13) e também altas produtividades (Tabela 14), por isso a correlação para essa característica foi baixa, mas não chegou a ser negativa.

Esses resultados corroboram os de Fageria (2000) e Dalchiavon et al., (2012), que relatou correlação significativa do número de panículas com a produtividade e discordam do que foi verificado em Guimarães *et al.* (2006) e Dalchiavon et al., (2012), que detectaram correlação positiva entre o número de espiguetas por panícula e a produtividade. Ainda

segundo Dalchiavon et al., (2012), o peso de espiguetas foi o que menos contribuiu para a produtividade de grãos.

A cultivar Virgínia apresentou maior comprimento do colmo em todos os locais, e, dentre os locais, no L2 e L3 do Ano 1, encontrou-se as maiores médias. No local L1 do Ano 2, ela apresentou menor valor para essa característica (Tabela 16). As cultivares de arroz branco apresentaram as menores médias, o que já era esperado, pois são cultivares que já foram melhoradas e apresentam porte baixo. Segundo Castro *et al.*, (2014), o comprimento médio do colmo da cultivar BRS Esmeralda é de 76,4 cm, neste estudo, os valores encontrados variaram de 53,3cm a 85,8cm para essa mesma cultivar. O comprimento do colmo da ENA-AR 1601 variou de 62,1cm a 88,5cm (Tabela 16), no trabalho de Menezes (2011) com a mesma cultivar, foi de 98,6cm.

**Tabela 16:** Comprimento do colmo (C. Colmo) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	C.colmo (cm)						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR – 1601	62,1 Cb	81,8 Ab	88,5 Ac	67,8 BCb	83 Ab	74 Bb	76,2
Virgínia	106,2 Ca	138,7 Aa	138 Aa	96,6 Da	126,7 Ba	121,2 Ba	121,3
BRS Esmeralda	53,3 Cc	71,2 Bc	85,8 Ac	58,6 Cc	72,7 Bc	70,3 Bb	68,6
IAC 201	54,7 Dc	74,5 Bc	97,5 Ab	62,5 Cbc	79,5 Bb	76,4 Bb	74,2
Média	69,1	91,5	102,4	71,4	90,4	85,5	
CV(%)	3,96	4,54	2,77	5,82	4,81	3,89	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

No Ano 1, a Virgínia obteve maior comprimento de panícula em L1, não diferenciou da ENA-AR 1601 em L2 e L3 e da IAC 201 em L3. No ano 2 essas três cultivares se comportaram igualmente em L1 e L3, e em L2 a Virgínia teve panículas menores (Tabela 17). Menezes (2011) registrou panículas de 27,32cm e 27,18cm para as cultivares ENA-AR 1601 e Virgínia respectivamente, valores superiores aos encontrados neste trabalho, que variaram entre 17,4cm e 25,4cm para a primeira cultivar, e 21,3cm a 25,5cm para a segunda (Tabela 16). Para a BRS Esmeralda, Castro *et al.*, (2014) registrou panículas com tamanho médio de 25,8cm, diferente do encontrado neste trabalho, onde a maior média foi de 23cm. Os menores valores registrados para essa característica foram em L1 do Ano 1 (Tabela 17).

**Tabela 17:** Comprimento da panícula (C.pan) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	C.pan (cm)						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR – 1601	17,4 Db	23,5 Ba	25,4 Aa	21 Cab	23,8 ABab	23,6 Aba	22,4
Virgínia	21,3 Ca	23,7 Aba	25,5 Aa	22,4 BCa	22,7 BCb	22,7 BCab	23
BRS Esmeralda	13,8 Cc	20 Bc	23 Ab	19,6 Bb	22,7 Ab	21,4 ABb	20
IAC 201	16,1 Eb	21,8 CDb	25,1 Aa	21 Dab	24,4 ABa	23,2 BCa	21,9
Média	17,1	22,3	24,8	21	23,4	22,7	
CV(%)	5,40	5,22	5,12	5,27	2,41	3,68	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Assim como nas características comprimento de colmo e comprimento de panícula, a cultivar Virgínia se destacou com a maior altura de planta dentre as cultivares avaliadas, com alturas médias de 119cm a 163,5cm, sendo a menor no L1 do Ano 2 e a maior no L3 do Ano 1 (Tabela 18). Pereira *et al.* (2009), contrastando cultivares de arroz branco com variedades de arroz vermelho, observaram que a menor altura encontrada para variedades de arroz vermelho foi de 124cm. Para as outras cultivares, as maiores alturas foram identificadas em L3 do Ano 1 e as menores em L1 do Ano 1 (Tabela 18). A altura média das cultivares IAC 201 e BRS Esmeralda são de 100cm e 103cm (CASTRO *et al.*, 2014), respectivamente. Neste trabalho, na maioria dos locais elas estiveram abaixo da média.

**Tabela 18:** Altura da planta (Alt) das cultivares ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	Alt (cm)						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR – 1601	79,5 Eb	105,4 Bb	114 Ac	88,9 Db	106,8 ABb	97,7 Cbc	98,7
Virgínia	127,6 Ca	162,4 Aa	163,5 Aa	119 Da	149,4 Ba	143,9 Ba	144,3
BRS Esmeralda	67,2 Dc	91,2 Bc	108,9 Ac	78,2 Cc	95,4 Bc	91,8 Bc	88,7
IAC 201	70,9 Ec	96,2 Cc	122,6 Ab	83,5 Dbc	103,9 Bb	99,6 BCb	96,1
Média	86,3	113,8	127,2	92,4	113,9	108,2	
CV(%)	3,76	4,10	2,65	4,78	3,96	3,61	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

As três últimas características abordadas são bastante influenciadas por fatores ambientais, pela fertilidade do solo e também pela densidade de semeadura. Solos mais férteis contribuem para o aumento dessas características e maiores densidades tendem a diminuir o tamanho das panículas (FRANCO *et al.*, 2011). Plantas mais altas são mais propensas ao acamamento, principalmente se a espessura do colmo for baixa (FIDELIS *et al.*, 2012). A maioria das cultivares de arroz branco é de porte mais baixo e com folhas eretas, pois são características desejáveis pelo melhoramento genético do arroz, por diversas razões, sendo a principal, maior produtividade. Plantas com essa arquitetura permitem uma maior penetração

da luz, então elas conseguem aproveitar melhor a radiação solar, aumentando sua área fotossinteticamente ativa, investem menos energia na emissão de folhas e mais na produção de grãos. Neste trabalho foram registradas maiores alturas para as cultivares de arroz vermelho, e nos locais em que elas tiveram as maiores médias, apresentaram também as maiores produtividades (Tabelas 18 e 14), demonstrando alto potencial produtivo das mesmas.

### 5.3 Estudo do comportamento das cultivares nos diferentes ambientes

Neste tópico foi realizado o estudo do comportamento das cultivares nos diferentes ambientes. Embora os ensaios tenham acontecido por apenas dois anos consecutivos, em três locais e com quatro cultivares, este estudo justifica-se por proporcionar o conhecimento mais detalhado do comportamento das cultivares avaliadas, principalmente das de arroz vermelho, frente às variações ambientais e também, pela obtenção de maiores informações sobre a adequação desses ambientes, e da região do estado do Rio de Janeiro que eles representam, à cultura do arroz. Observa-se que nos ensaios realizados não foram identificadas interações entre Cultivar x Local nem Cultivar x Ano, mas foi para Cultivar x Local x Ano (Tabela 9).

Quando os genótipos, submetidos a diferentes ambientes, apresentam respostas diferentes (não consistentes) há interação genótipo x ambiente. Diante dessa situação, algumas considerações devem ser feitas para obter melhor eficiência nos programas de melhoramento (CARGIN *et al.*, 2007), a fim de recomendar o genótipo mais adequado para cada ambiente. Essas interações tornam mais difícil identificar genótipos superiores no momento da seleção e recomendação de cultivares (GARBUGLIO *et al.*, 2007).

Foi observado efeito significativo, pelo teste F, para as cultivares, indicando que há variabilidade genética entre elas, o que já era esperado em razão da origem e das características de cada uma, principalmente por se tratar de cultivares de arroz vermelho e branco. Da mesma maneira, constatou-se efeito significativo para os ambientes, indicando heterogeneidade nas condições ambientais dos locais de execução dos ensaios. E também, foi detectada interação GxA (Tabela 19).

**Tabela 19:** Análise da variância conjunta da produtividade das quatro cultivares (ENA-AR 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201) e seis ambientes (Campos dos Goytacazes, Seropédica e Pinheiral, nos dois anos, 2016/2017 e 2017/2018).

FV	gl	QM
Cultivar	3	5242759*
Ambiente	5	40422377*
GxA	15	1074319**
Resíduo	72	261998
Média	3551,16	
CV(%)	14,41	

\*significativo ( $p < 0,05$ ); \*\*significativo ( $p < 0,01$ )

Morais *et al.* (2008) em arroz irrigado, Gargnin *et al.*, (2008) e Neto *et al.*, (2013) em arroz de sequeiro, verificaram efeitos altamente significativos para genótipos, ambientes e sua interação, mostrando que os genótipos sofreram influências diferenciadas dos ambientes, dificultando uma recomendação única de cultivares para toda a região em estudo.

A interação indica que o comportamento das cultivares avaliadas não foi consistente, pois apresentaram comportamento diferenciado em cada ambiente, havendo alteração na magnitude das respostas relacionadas à característica em questão, que é a produtividade (Prod). Na tentativa de amenizar os efeitos da interação GxA, recomenda-se que seja feita a estratificação de ambientes, que tem como objetivo comparar os ambientes, identificar e

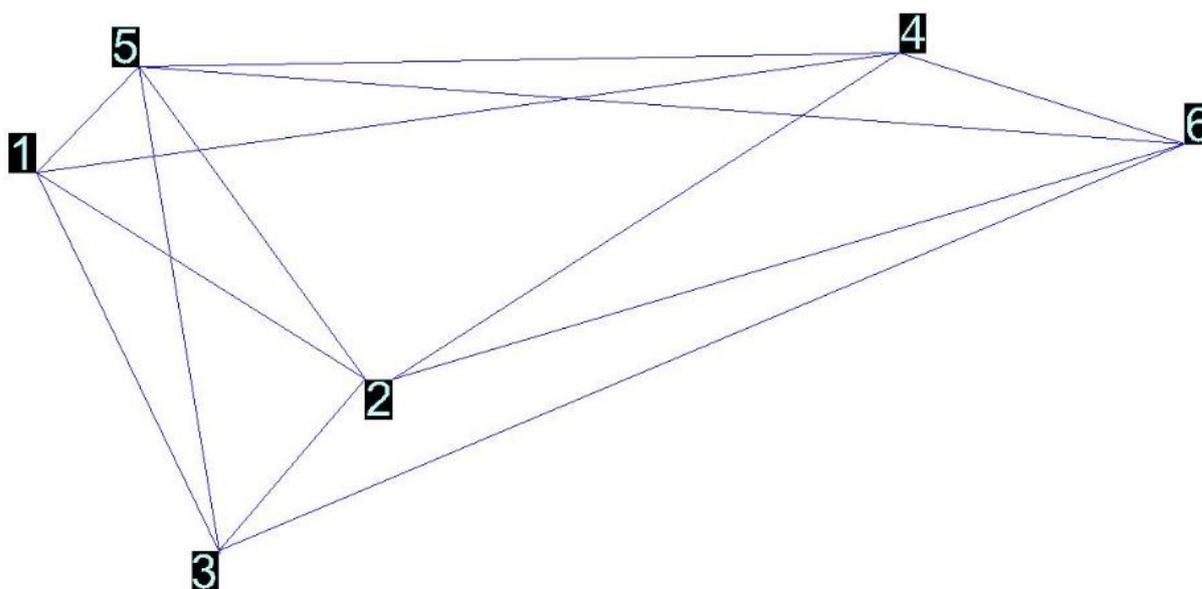
agrupar aqueles que apresentam interação não significativa, ou seja, aqueles onde os genótipos não apresentam comportamentos diferenciais (LIN, 1982; CRUZ *et al.*, 2012).

Neste estudo, a partir da análise de estratificação de ambientes, foram formados dois grandes grupos, o primeiro contendo os ambientes A1, A5, A2 e A3, e o segundo com os ambientes A4, A6 e A5 (Tabela 20). O A5 esteve presente nos dois grupos.

Foi gerado em diagrama para ilustrar a distância entre os ambientes e a formação dos grupos, baseado na soma dos quadrados da interação entre os pares de ambientes (Figura 5). Pela figura fica mais fácil visualizar a proximidade entre os ambientes e os agrupamentos formados.

**Tabela 20:** Formação de grupos de ambientes com interação GxA não significativa.

F <sub>calc.</sub>	F <sub>tab.</sub> (5%)	Grupos (Ambientes)
0,4268	3,46	1 5
1,473	2,97	1 5 2
1,7922	2,77	1 5 2 3
1,2305	3,46	4 6
2,371	2,97	4 6 5



**Figura 4:** Diagrama das distâncias conforme as interações entre os ambientes e formação dos grupos entre ambientes que não apresentaram interação significativa.  $SQ_i$  dos pares de ambientes: A1xA2=269773; A1xA3=319896; A1xA4=643030; A1xA5=67092; A1xA6=702931; A2xA3=132569; A2xA4=835120; A2xA5=357799; A2xA6=1345212; A3xA4=1458036; A3xA5=543274; A3xA6=1875681; A4xA5=446184; A4xA6=193438; A5xA6=478841.

Dessa maneira, a seleção dentro de cada grupo será facilitada, pois só precisará ser feita em um dos ambientes de cada grupo.

Quando detectada interação GxA é importante que se faça a sua decomposição para compreendê-la melhor. A interação pode ser decomposta em simples e complexa. Segundo Cruz *et al.*, (2012), a interação simples ocorre quando há diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes, enquanto que a interação complexa ocorre pela falta de correlação entre os genótipos nos ambientes.

Segundo Squilassi (2003), na interação simples há mudança na magnitude da performance dos genótipos, mas o ranking deles permanece o mesmo nos diferentes ambientes. Ou seja, o genótipo que foi superior em um ambiente permanecerá superior no outro, alterando somente a diferença entre eles.

Quando ocorre interação complexa, segundo Cruz *et al.*, (2012), há indicação de inconsistência da superioridade dos genótipos frente à variação ambiental, logo, haverá genótipos com comportamento superior em um ambiente, mas não em outro.

Neste trabalho pela decomposição da interação em suas partes, foi identificada predominância da interação simples (PS% > 50) em nove das quinze combinações de pares de ambientes, sendo que dessas, apenas duas apresentaram correlações abaixo de 50% ( $r < 0,50$ ) (Tabela 21).

**Tabela 21:** Porcentagem de parte simples (PS%) da interação genótipo x ambiente e estimativas das correlações entre ambientes ( $r$ ), nas 15 combinações possíveis entre os ambientes estudados.

Ambientes	$r$	PS(%)
1x2	0,78	54
1x3	0,88	80,7
1x4	-0,36	57,2
1x5	0,94	81,2
1x6	0,18	15,9
2x3	0,97	95,6
2x4	-0,85	43,6
2x5	0,68	48,8
2x6	-0,45	-13,6
3x4	-0,74	59,3
3x5	0,78	73,4
3x6	-0,28	7,4
4x5	-0,19	56,9
4x6	0,84	96,2
5x6	0,30	18,6

Essa situação é favorável já que, como já foi abordado, a parte simples da interação é causada pela magnitude das diferenças entre os genótipos, sem alteração do ranking dos mesmos, com isso, a seleção pode ser realizada levando em conta a média geral dos genótipos em todos os ambientes.

Caso acontecesse o contrário, a maior parte da interação fosse do tipo complexa, dificultaria o processo de seleção ou recomendação, pois teria que selecionar ou recomendar cultivares específicas para cada ambiente (CRUZ e REGAZZI 1997; CARGNIN *et al.*, 2006).

O desempenho das cultivares de arroz varia normalmente com os ambientes avaliados, e, dificilmente, uma cultivar é a melhor em todas as condições de cultivo. Em sistema de sequeiro essa variação é ainda maior, devido à maior instabilidade das condições ambientais em que a cultura fica exposta (GARGNIN *et al.*, 2007). Com isso, justifica-se a aplicação de metodologias que permitem estudar mais detalhadamente o comportamento dessas cultivares, na tentativa de identificar algumas que apresentem maior adaptabilidade e estabilidade.

Na metodologia de Eberhart e Russell (1966) são estimados os parâmetros  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\sigma^2$ . O primeiro é a média do genótipo, o segundo corresponde ao coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do genótipo à variação do ambiente e o terceiro corresponde à variância dos desvios da regressão. Nesse método, a cultivar ideal é aquela com  $\beta_0$  maior possível,  $\beta_1 = 1$  e desvio  $\sigma^2$  menor possível ( $\sigma^2=0$ ).

As estimativas dos valores do parâmetro de adaptabilidade,  $\beta_1$ , definidos a partir dos valores de coeficientes de regressão linear e sua significância estatística pelo teste t para as cultivares avaliadas variaram de 0,93 a 1,04 (Tabela 22), sendo que para todas as cultivares avaliadas neste estudo esses valores foram não significativos ( $\beta_1=1$ ), indicando que são cultivares de ampla adaptabilidade, com desempenho proporcionalmente relativo à melhorias do ambiente.

**Tabela 22:** Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade das quatro cultivares de arroz (ENA AR-1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201) estudados pelo método de Eberhart & Russel (1966). Produtividade média em kg.ha<sup>-1</sup> ( $\beta_0$ ), estimativas do coeficientes de regressão ( $\beta_1$ ), variância dos desvios de regressão ( $\sigma^2$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

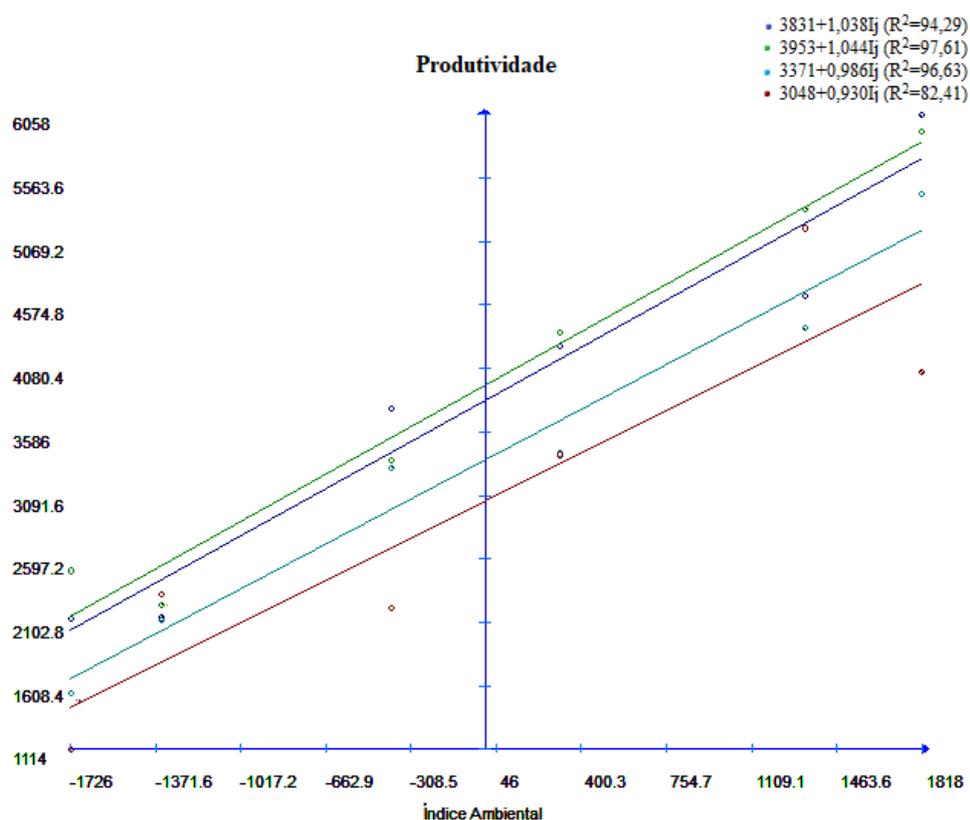
Genótipo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$	$R^2$ (%)
ENA-AR 1601	3831	1,03ns	112393ns	94,2
Virgínia	3953	1,04ns	14864ns	97,6
BRS Esmeralda	3371	0,98ns	33076ns	96,6
IAC 201	3048	0,93ns	414510*	82,4
Média Geral	3551			

<sup>ns</sup> Não significativo; \*Significativo a 5% pelo teste t ( $H_0: \beta_1 = 1,0$ ) e pelo teste; F ( $H_0: \sigma^2_i = 0$ )

As cultivares ENA-AR 1601 e Virgínia apresentaram  $\beta_0$  superior à média geral, que foi de 3551 Kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 22). Em relação às estimativas dos desvios da regressão, as cultivares de arroz vermelho e a BRS Esmeralda, de arroz branco, apresentaram  $\sigma^2$  não significativo e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) alto, variando de 94,2% a 97,6% (Tabela 22), o que sugere que são cultivares com alta estabilidade para os ambientes onde foram testadas, ou seja, com comportamento altamente previsível em função do estímulo do ambiente (CRUZ *et al.*, 2012).. Segundo Colombari Filho *et al.*, (2013), em um estudo realizado com 264 linhagens e cultivares em sete estados, a BRS Esmeralda ficou em terceiro lugar em relação à adaptabilidade e estabilidade. Para essas cultivares, nos ambientes em que apresentaram produtividade mais baixa (L1 e L4), com a ocorrência de melhor distribuição da chuva ou implantação de um sistema de irrigação mais eficiente, por exemplo, elas responderiam de maneira positiva, aumentando a produção de grãos.

A cultivar IAC 201 mostrou-se responsiva à melhorias no ambiente, porém com baixa estabilidade e desempenho produtivo inferior à média geral. Neto *et al.*, (2013) avaliando diversas linhagens e variedades de arroz de terras altas no estado de São Paulo, verificou que a cultivar IAC 201 apresentou  $\beta_1$  e  $\sigma^2$  não significativos, mas com  $\beta_0$  inferior à média geral.

A Figura 6 ilustra graficamente o comportamento das cultivares nos diferentes ambientes avaliados



**Figura 5:** Representação gráfica do comportamento das cultivares ENA-AR 1601 (azul escuro), Virgínia (verde), BRS Esmeralda (azul claro) e IAC 201 (marrom) em relação à característica Produtividade (Prod) avaliada em seis ambientes pelo método proposto por Eberhart e Russel (1966).

#### 5.4 Qualidade Industrial dos Grãos

Os grãos das cultivares de arroz vermelho ENA-AR 1601 e Virgínia foram classificados de acordo com a Instrução Normativa nº6 (BRASIL, 2009) como médio e longo, respectivamente. As cultivares de arroz branco tiveram seus grãos classificados como longo-fino (Tabela 23), assim como divulgado pelo Instituto Agrônomo de Campinas e em Castro *et al.*, (2014). Bôeno *et al.*, (2011) estudando a qualidade tecnológica de quatro genótipos de arroz vermelho verificaram que três deles apresentaram grãos longos e um, grãos médios.

Segundo a IN 6, os grãos são classificados da seguinte maneira:

- Longo-fino:  $\geq 6\text{mm}$  e relação  $C/L \geq 2,75$ ;
- Longo:  $\geq 6\text{mm}$ ;
- Médio:  $\geq 5\text{mm}$  e  $< 6\text{mm}$ ;
- Curto:  $< 5\text{mm}$ .

**Tabela 23:** Classificação dos grãos das cultivares ENA-AR 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201.

Cultivar	Classe
ENA-AR 1601	Médio
Virgínia	Longo
BRS Esmeralda	Longo-fino
IAC 201	Longo-fino

A classe do grão de arroz é um dos fatores que determinantes para a comercialização do produto. No Brasil, para o arroz branco, o grão mais valorizado é aquele classificado como

longo-fino. Entretanto, os tipos especiais de arroz, que são, segundo Magalhães *et al.*, (2012), qualquer tipo de arroz que apresente qualidade sensorial ou de processamento diferente dos tipos predominantemente consumidos pela população, além da forma, tamanho, conteúdo de amilose, cor do grão e aroma, e por isso, são comercializados como um produto diferenciado e consumido na maioria das vezes por nichos específicos de mercado, não precisam seguir os padrões de comercialização determinados para o arroz branco.

Foram observados efeitos significativos entre os grãos das cultivares avaliadas nos diferentes lugares em relação ao rendimento de grãos inteiros e em relação ao rendimento de engenho, nos locais L2 e L3, não foi possível identificar diferença entre os tratamentos (Tabelas 24 e 25).

Nos grãos produzidos nos locais L2 e L3 do Ano 1 encontrou-se o maior rendimento de grãos inteiros para todas as cultivares (Tabela 24). Com exceção do L1 para a cultivar BRS Esmeralda, o Ano 1 foi estatisticamente superior ao Ano 2. A maior variação foi encontrada na cultivar ENA-AR 1601, com médias de 47,3% no L1 do Ano 2 a 70,6% no L2 do Ano 1 (Tabela 24).

**Tabela 24:** Rendimento de grãos inteiros (G.int) dos genótipos ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytcazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	G.int (%)						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR – 1601	59,9 Cc	70,6 Aab	68,8 ABc	47,3 Db	63,4 BCa	62,3 BCa	62
Virgínia	70,8 Aa	66 Ab	72,1 Abc	58 Ba	53,9 Bb	52,2 Bb	62,1
BRS Esmeralda	63,4 Bbc	71,6 Aab	76 Aab	59,5 Ba	58 Bab	61,3 Ba	64,9
IAC 201	66,1 Bab	74,7 Aa	78,6 Aa	57,9 Ca	63,7 Ba	62,7 BCa	67,2
Média	65	70,7	73,9	55,7	59,7	59,6	
CV(%)	6,82	2,49	2,40	8,98	8,40	3,57	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

No L3 do Ano 1 foi detectado o maior rendimento de engenho para todas as cultivares e o L1 do Ano 2 foi pior ambiente (Tabela 25).

**Tabela 25:** Rendimento de engenho (Rend) dos genótipos ENA AR – 1601, Virgínia, BRS Esmeralda e IAC 201, nos locais L1 (Campos dos Goytazes), L2 (Seropédica) e L3 (Pinheiral), produzidos em sistema de sequeiro com irrigação suplementar e sob manejo orgânico, nos anos agrícolas de 2016/2017 (Ano 1) e 2017/2018 (Ano 2).

Genótipo	Rend (%)						Média
	Ano 1			Ano 2			
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	
ENA AR – 1601	70,1 Bb	75,9 Ab	76,7 Ab	64,1 Cb	69 Ba	69,1 Ba	70,8
Virgínia	76,6 Ba	77,6 ABab	80,4 Aa	69,6 Ca	71,6 Ca	69,9 Ca	74,3
BRS Esmeralda	76,8 Ba	78,4 ABab	81,4 Aa	68,7 Ca	68,9 Ca	70,3 Ca	74,1
IAC 201	77,1 Ba	79,8 ABa	82,8 Aa	69,7 Ca	71,4 Ca	71 Ca	75,3
Média	75,2	77,9	80,3	68	70,2	70,1	
CV(%)	2,80	0,86	1,43	3,82	3,44	1,55	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Segundo Bhattacharya (1980), os rendimentos de grãos inteiros e de engenho estão intimamente relacionados ao sistema de cultivo, às características genéticas da cultivar, às condições climáticas e às práticas culturais durante o desenvolvimento, maturação e colheita do grão, assim como tipos de processamento e manejo pós-colheita. Dentre os citados, um dos principais fatores que interferem no rendimento de grãos inteiros é a realização da colheita no momento mais adequado. Para Marchezan *et al.*, (1993), colheitas realizadas com teor de umidade acima do recomendado, que é de 18 a 22%, propiciam, no momento do beneficiamento, alta porcentagem de grãos mal formados, gessados e imaturos; colheitas realizadas tardiamente levam a um rendimento crescente de grãos quebrados no processo de beneficiamento. Porém, a secagem do grão, o manejo da lavoura e os equipamentos usados no beneficiamento também devem ser considerados.

Segundo Vieira e Rabelo, (2006), em arroz de sequeiro há maior variação na intensidade de rendimentos mais baixos de grãos inteiros devido aos efeitos das variações climáticas em que o arroz produzido nesse sistema sofre. Flutuações podem ser significativas de um ano para o outro dependendo da intensidade de estresses ambientais, como deficiência hídrica, por exemplo.

Em três locais, L1 e L3 do Ano 1 e L1 do Ano 2, a cultivar ENA-AR 1601 obteve os menores rendimentos de engenho, com 70,1%, 76,7% e 64,1% respectivamente (Tabela 25), sendo que apenas no último o rendimento está abaixo do aceitável. A Virgínia obteve resultados semelhantes aos das cultivares de arroz branco, seu rendimento de engenho variou de 69,6% a 80,4% (Tabela 26). Boêno *et al.*, (2011) encontrou 72,8% para rendimento médio e 64,2% para rendimento de grãos inteiros nos genótipos de arroz vermelho estudados. Neste trabalho as cultivares de arroz vermelho apresentaram rendimentos de grãos inteiros bem satisfatórios (Tabela 24).

Em relação as cultivares de arroz branco, Castro *et al.*, (2014) classificaram a BRS Esmeralda como de “alto rendimento de grãos inteiros quando colhidos no estágio adequado”, Bordim *et al.*, (2003) e Farineli *et al.*, (2004) observaram rendimento de engenho acima de 70% e de grãos inteiros acima de 60% com a cultivar IAC 202 e Mingotte *et al.*, (2012) verificaram para a cultivar IAC 201, rendimento de engenho de 72% e de grãos inteiros de 53,1%, sendo uma das que apresentaram melhores resultados dentre 13 cultivares avaliadas pelos autores.

A legislação brasileira prevê uma renda base de 68% para o rendimento de benefício (rendimento de engenho), constituída de 40% de grãos inteiros e 28% de grãos quebrados e

quirera, sendo que valores abaixo desses estão fora das exigências a nível nacional para a comercialização do produto (VIEIRA e RABELO, 2006)

## 6 CONCLUSÕES

As cultivares de arroz vermelho ENA-AR 1601 e Virgínia diferenciam-se parcialmente em relação aos comprimentos do colmo e da panícula e totalmente em relação à presença de aristas e à forma do grão;

Houve alta influência do ambiente no enchimento de grãos da cultivar ENA-AR 1601 e os componentes da produção panículas por metro quadrado e fertilidade das espiguetas foram os que mais contribuíram para a produtividade;

As cultivares de arroz vermelho ENA-AR 1601 e Virgínia apresentaram ótimo desempenho produtivo com produtividades acima da média nacional para o sistema de sequeiro;

No estudo do comportamento das cultivares foi detectada efeitos da cultivar, do ambiente e interação GxA;

Formaram-se dois grupos a partir da estratificação de ambientes, onde um grupo é composto por basicamente os locais do primeiro ano e o outro pelos locais do segundo ano de ensaios;

Houve interação do tipo simples em relação à produtividade entre os pares de ambientes 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 2x3, 3x4, 3x5, 4x5 e 4x6, indicando que uma possível seleção entre esses ambientes poderá ser realizada levando em consideração a média geral obtida nos mesmos;

Recomenda-se o cultivo das cultivares ENA-AR1601, Virgínia e BRS Esmeralda para os municípios de Seropédica, Pinheiral e Campos dos Goytacazes. Essas cultivares apresentaram ampla adaptabilidade e alta estabilidade nos locais avaliados;

Os grãos produzidos no primeiro ano de ensaio apresentaram maior rendimento de grãos inteiros e rendimento de engenho para as quatro cultivares em todos os locais. Porém, nos dois anos, registrou-se excelente rendimento de beneficiamento.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBUD, N. S. **Melhoramento genético do arroz de sequeiro (*Oryza sativa*) no Estado do Paraná de 1975 a 1989**. 1991. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiróz, Piracicaba, 1991.
- AHUJA, U.; AHUJA, S. C.; CHAUDHARY, N.; THAKRAR, R. **Red rices: past, present and future**. Haryana. Disponível em: <<http://www.agri-history.org/pdf/RedRices-UmaAhuja.pdf>>. 2011.
- AMORIM NETO, S.; ANDRADE, W. E. B. **A Cultura do Arroz Irrigado no Estado do Rio de Janeiro**. Niterói: PESAGRO-RIO, 2008. 100p.
- ARAÚJO, M. F. C. **Interação tripla genótipos x locais x anos: um teste estatístico para verificar a contribuição de cada fator**. 2017. 94f. Tese (Doutorado). Estatística e Experimentação Agrônômica. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2017.
- AVILA, L. A.; CEZIMBRA, D. M.; MARCHEZAN, E. et al. **Época de aplicação de nitrogênio e início da irrigação na fitotoxicidade causada pela aplicação de imidazolinonas em arroz tolerante**. *Ciência Rural*, Santa Maria, Online.
- BHATTACHARYA, K. R. **Breakage of rice during milling: a review**. *Tropical Science*, London, v. 22, n. 2, p. 225-276, 1980.
- BASSINELLO, P. Z.; RANGEL, P. H. N.; MOURA NETO, F. P.; KOAKUZU, S. N. **Avaliação de linhagens de arroz irrigado com tipo de grãos para a culinária japonesa**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 16 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17).
- BASSINELLO, P. Z. **Arroz Preto: uma opção culinária para o Brasil**. Comunicado Técnico 147 Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás. Agosto, 2008.
- BOÊNO, J. A.; ASCHERI, D. P. R.; BASSINELLO, P. Z. **Qualidade tecnológica de grãos de quatro genótipos de arroz vermelho**. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.15, n.7, p.718–723, 2011.
- BORGES, V. *et al.* **Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos**. *Bragantia*, v. 69, n. 4, p. 833-841, 2010.
- BRASIL, 2006. **Lei Nº 11.326 de 24 de Julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2004-2006/2006/lei/111326.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2006/lei/111326.htm). Acesso em: 24/08/2017
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa no 6, de 16 de fevereiro de 2009. Aprova o Regulamento Técnico do Arroz**. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, v. 146, n. 33, p. 3-8, 17 fev.2009. Seção 1.

BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O. P.; CASTRO, E. M.; PRABHU, S. A.; BASSINELLO, P. Z.; PEREIRA, J. P. et al. Recurrent selection resulted in rapid genetic gain for upland rice in Brazil. *International Rice Research Notes*, Los Baños, v. 34, n. 1, p. 1-4, 2009.

BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. *Bragantia*, Campinas, v.62, n.3, p.417-428, 2003.

CALDERÓN, J.; CALDERÓN, L.; GUERRA, E.; GARCIA, B. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruit from Colombia. *Food Res Int.*, v.44, p.2047-2053, 2011.

CARGNIN, A.; SOUZA, M. A.; CARNEIRO, P. C. S.; SOFIATTI, V. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, p.987-993, 2006.

CARGNIN, A.; SOUZA, M. A.; PIMENTEL, A. J. B.; FOGAÇA, C. M. Interação genótipo e ambientes e implicações na adaptabilidade e estabilidade de arroz de sequeiro. *R. Bras. Agrociência*. Pelotas (RS), v-14, n3-4, p.49-57, jul-set, 2008.

CARNEY, J.A.; MARIN, R.A. Saberes agrícolas dos escravos africanos no Novo Mundo. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.35, n. 205, p.26-33, 2004.

CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

CARVALHO, C.G.P. de; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F. de; ALMEIDA, L.A. de; KIIHL, R.A. de S.; OLIVEIRA, M.F. de. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.989-1000, 2002.

CASTRO, A. P.; MORAIS, O. P.; BRESEGHELLLO, F.; LOBO, V. L. S.; GUIMARÃES, C. M.; BASSINELO, P. Z.; FILHO, J. M. C.; SANTIAGO, C. M.; FURTINI, I. V.; TORGA, P. P.; UTUMI, M. M.; PEREIRA, J. A.; CORDEIRO, A. C.; AZEVEDO, R.; SOUSA, N. R. G.; SOARES, A. A.; RADMANN, V.; PETERS, V. J. BRS Esmeralda: cultivar de arroz de terras altas com elevada produtividade e maior tolerância à seca. Comunicado Técnico 215. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás. Janeiro, 2014.

CHANG, T. T.; BARDENAS, E. A. **The morphology and varietal characteristics of the rice plant**. Los Baños, IRRI, 1965. 40 p. (IRRI. Technical Bulletin, 4).

CHANG, T.T. The origin, evolution, cultivation, dissemination and diversification of asian and african rices. **Euphytica**, Dordrecht, v.25, n.2, p.425-441, 1976b.

CHANG, T. T.; LI, C. C. Genetics and Breeding. In: Luh, B. S. (Ed.). **Rice: Production and Utilization**. AVI: Westport Conn, 1980. p. 82-146.

COELHO, D. C.; FABRINI, J. E. Produção de subsistência e autoconsumo no contexto da expansão do agronegócio. *Revista Nera*. Ano 17 n 25. Jul-Dez, 2014. p 71-87

COFFMAN, W. R; HERRERA, R. M. Rice. In: *Hybridization of Crop Plants* (FEHR, W. R. and HARDLEY, H. H., Eds). American Society of Agronomy, Madison, PP. 511-522, 1980.

COIMBRA, J. L. M; OLIVEIRA, A. C. de; CARVALHO, F. I. F. de; MAGALHÃES JR., A. M. de; FAGUNDES, P. R.R; KOPP, M. M. Heterose em arroz híbrido. **Revista Brasileira de Agrociência**. v. 12, n. 3, p. 257-264, 2006.

COIMBRA, J. L. M.; BERTOLDO, J. G.; VALE, N. M. do. Uso da macho-esterilidade no melhoramento de híbridos comerciais em arroz. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v. 7, n.1, p. 61-74, 2008.

COLOMBARI FILHO, J. M.; RESENDE, M. D. V. de; MORAIS, O. P. de; CASTRO, A. P. de; GUIMARÃES, E. P.; PEREIRA, J. A.; UTUMI, M. M.; BRESEGHELLO, F. Upland rice breeding in Brazil: a simultaneous genotypic evaluation of stability, adaptability and grain yield. **Euphytica**, Wageningen, v. 192, n. 1, p. 117-129, 2013.

CONAB. A cultura do arroz. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília. Conab, 2015. 180p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 20/08/2017.

CONAB. **Série histórica do arroz**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252>. Acesso em: 22 ago 2017b.

CONAB. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE GRÃOS | v. 6 – Safra 2018/19, n. 4 – Quarto Levantamento, janeiro 2019.

CORDEIRO. A. Métodos de Melhoramento Genético em Arroz Irrigado. Boa Vista. Embrapa Roraima. 2008. 65p. Embrapa Roraima Documento, 06.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Yield of upland rice cultivars in rainfed and sprinkler-irrigated systems in the *Cerrado* region of Brazil. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Collingwood, v. 46, n. 11, p. 1515-1520, 2006.

CRUZ, C. D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição de interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 442p.

CRUZ, C.D.; TORRES, R.A. de.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by SILVA & BARRETO. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, V.12, pp. 567- 580, 1989.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 390p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012. 4ª edição. 390p.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; COLETTI, A. J.; CAIONE, G.; SILVA, A. F.; ANDREOTTI, M. Correlação linear entre componentes da produção e produtividade do arroz de terras altas em sistema de plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1629-1642, set./out. 2012.

DA SILVA, J. R.; NUNES, G. H. S.; NEGREIROS, M. Z.; TORRES, J. F.; DANTAS, M. S. Interação genótipo x ambiente em melancia no estado do Rio Grande do Norte. Caatinga (Mossoró, Brasil), v.21, n.1, p.95-100, janeiro/março de 2008

EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Sci.**, Madison, v.6, pp. 36-40,1966.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural – Rio de Janeiro. Relatório de Atividades, 2014. Disponível em: <http://www.emater.rj.gov.br/pdf/relatorioatividades2014.pdf> . Acessado em 21/08/2017.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural – Rio de Janeiro. Relatório de Atividades, 2015. Disponível em: [http://www.emater.rj.gov.br/images/CULT\\_2015.htm](http://www.emater.rj.gov.br/images/CULT_2015.htm). Acessado em 21/08/2017.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural – Rio de Janeiro. Relatório de Atividades, 2016. Disponível em: <http://www.emater.rj.gov.br/pdf/relatoriodeatividades2016.pdf>. Acessado em 21/08/2017.

FAGERIA, N. K. Eficiência do uso de potássio pelos genótipos de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2115-2120, 2000.

FAGERIA, N. K. et al. Yield and yield components of upland rice as influenced by nitrogen sources. *Journal of Plant Nutrition*, Athens, v. 34, n. 3, p. 361-370, 2011.

FAGUNDES, P. R. R.; ANDRES, A. Comportamento de linhagens clearfield da Embrapa da região litoral sul do rio Grande do Sul – Safra 2006/2007. Comunicado Técnico 201. Pelotas, RS. Dez, 2008.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Características agrônomicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. *Revista Brasileira Ciência de Solo*, Viçosa, v.28, n.3, p.447-454, 2004.

FERREIRA, M. A. J. da F.; QUEIRÓZ, M. A.; VENCOVSKY, R.; BRAZ, L. T.; VIEIRA, M. L. C.; Implicações da Expressão Sexual e do sistema reprodutivo de melancia em programa de pré-melhoramento. Brasília: CENARGEN- Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 65. 24p. 2004.

FIDELIS, R. R.; RODRIGUES, A. M.; SILVA, G. G.; BARROS, H. B.; PINTO, L. C.; AGUIAR, R. W. S. Eficiência do uso de nitrogênio de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia (GO), v-42, n.1, p.124-128, jan./mar. 2012

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N.. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Austr. J. Agric. res.**, Melbourne, v.14, pp. 742-754, 1963.

FONSECA, J. R.; CUTRIM, V. A.; RANGEL, P. H. N. Descritores morfoagronômicos e fenológicos de cultivares comerciais de arroz de várzeas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. ( Documentos, 141).

FRANCESCHI, L.; BENIN, G.; MARCHIORO, V. S.; MARTIN, T. N.; SILVA. R. R.; SILVA, C. L. Métodos para análise de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de trigo no Estado do Paraná. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 4, p797-805, 2010.

FRANCO, D.F.; CORREIA, L. A. V.; MAGALHÃES JR, A. M.; ZONTA, E. P.; ANTUNES, I. F.; DA SILVA, M. G.; KRUGER, F. O.; Arranjo espacial de plantas e contribuição do colmo principal e dos perfilhos na produção de grãos do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas (RS), v-17, n1-4, jan-mar, 2011.

FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; PEREIRA, M. G.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro. Ed.: Universidade Rural. Seropédica (RJ). 2013.

GARBUGLIO, D.D.; GERAGE, A.C.; ARAÚJO, P.M.; FONSECA JUNIOR, N.S.; SHIOGA, P.S. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.183-191, 2007.

GERALDI, I. O. Selección recurrente en el mejoramiento de plantas. In: GUIMARÃES, E. P. (Ed.). **Selección Recurrente em Arroz**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1997. p. 3-11.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRESEGHELLO, F.; PEREIRA, J. A.; CASTRO, E. M. **Arroz de terras altas: espaçamento e densidade de semeadura**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2003a.2 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 61).

GUIMARÃES, M. C.; SANTOS, A. B. da.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; STONE, L. F. Sistemas de Cultivo. In: SANTOS et al.. A cultura do arroz no Brasil. 2ª edição. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000p.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; CASTRO, E. M. Comportamento de cultivares de arroz de terras altas no sistema plantio direto em duas profundidades de adubação. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 22, n. 1, p.53-59, 2006.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3. ed. Springer: New York, 2010. 663 p.

HANSON, W. D. The breakup of initial linkage blocks under selection mating systems. **Genetics**, Baltimore, v. 44, n. 4, p. 857-868, set. 1959.

HANS, L.; ZHANG-YU, H. K.; XU, P.; LI, Y.; WANG, X.; WU, J. Genetic analysis and histological study of red seed in rice. **Acta Genetica Sinica**, v. 33, n. 6, p. 559-564, 2006.

HEU, M. H.; MOON, H. P. Hystory of rice culture in Korea: origin, antiquity and diffusion. In: SHARMA, S. D. (Ed.). **Rice: origin, antiquity and history**. Boca Raton: CRC Press; New Hampshire: Science Publishers, 2010. cap. 5, p. 115-153.

HERNANDES, C.M.; CROSSA, J.; CASTILLO, A. The area under the function: na index for selecting desirable genotypes. **Theor. Appl. Genet.**, Berlim, 87: 409-15, 1993.

HOPKINS, A.A.; VOGEL, K.P.; MOORE, K.J.; JOHNSON, K.D.; CARLSON, I.T. Genotype effects and genotype by environment interactions for traits of elite switchgrass populations. **Crop Sci.**, 35: 125-132. 1995.

HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. **Euphytica**, v. 47, pp. 189-94, 1990.

HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 2: Applicationons. **Euphytica**, v.47, pp. 195-201, 1990.

KHUSH, G. S. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. **Plant Molecular Biology**. Dordrecht, v. 35, n. 1/2, p. 25

LI, J.; YUAN, L. Hybrid Rice: Genetics, Breeding, and Seed Production. In: Janick, J. **Plant Breeding Reviews**. Changsha, China. 2000, p.15-158.

IBGE. **Censo agropecuário 2006**. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Primeiros Resultados. Disponível em: <  
[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro\\_2006.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf). Acesso em: 19 ago. 2017.

LI, J.; XIN, Y.; YUAN, L. **Hybrid Rice Technology**. 2009. 40 p.

LIN, C. S. Grouping genotypes by a cluster method directly related ti genotype-environment interection in mean square. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.62, p. 277-280, 1982.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, p193-198,1988.

LU, B.R.; CHANG, T.T. Rice in its temporal and apatial perspectives. In: LUH, B.S. **Rice: production and utilization**. Westport, AVI, 1980. p.1-74.

LU, B. R. Taxonomy of the genus *Oryza* (Poaceae): historical perspective and current status. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 24, n. 3, p. 4-8, 1999.

MAGALHÃES JR. A.M. de; TERRES, A.L.; FAGUNDES, P.R.; FRANCO, D.F.; ANDRES, A. Aspectos genéticos, morfológicos e de desenvolvimento de plantas de arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JR. de, A.M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.143-160, 2005.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; FRANSO, D.; FAGUNDES, P. R. R.; MORAES, O. P.; PEREIRA, J. A.; CORDEIRO, A. C.; WICKERT, E.; NETO, F. M.; SEVERO, A. C. M.;

Indicação de tipos especiais de arroz para diversificação de cultivo. Circular Técnica 133. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Setembro. 2012. Pelotas, RS.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Recursos genéticos do arroz (*Oryza sativa* L.) no sul do Brasil. 2007. 160 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2007.

MARCHEZAN, E.; GODOY, O. P.; MARCOS FILHO, J. Relações entre época de semeadura, de colheita e rendimento de grãos inteiros de cultivares de arroz irrigado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.28, n.7, p.843-848, 1993.

MARTINEZ, C. P.; LENTINI, Z.; CHÂNTEL, M.; GONZÁLEZ, D.; MOJICA, D. Uso de selección recurrent en combinación com cultivo de anteras em el programa de arroz de riego del CIAT. In: GUIMARÃES, E. P. (Ed.). **Selección Recurrente em Arroz**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1997. p. 139-149.

MARTINS, A. F.; VIEIRA, E. A.; KOPP, M. M. et al. Caracterização de famílias mutantes de arroz para tolerância ao frio nos períodos vegetativos e reprodutivos. Caracterização de famílias mutantes de arroz para tolerância ao frio. *Bragantia*, Campinas, v.66, n.2, p.227-233, 2007.

MDA. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário. 2016a. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/o-que-%C3%A9-agricultura-familiar>. Acessado em: 24/08/2017.

MDA. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário. 2016b. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/agricultura-familiar-movimenta-economia-local-no-rio-de-janeiro>. Acessado em: 24/08/2017.

MEDEIROS, L. R. Densidade de semeadura e desempenho de arroz híbrido irrigado. 2016. 50f. Dissertação (Mestrado). Ciências e Tecnologia de Sementes. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2016.

MENEZES, B. R. S.; MOREIRA, L. B.; LOPES, H. M.; PEREIRA, M. B. Caracterização morfoagronômica em arroz vermelho e arroz de sequeiro. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 490-499, out./dez. 2011.

MENEZES, B. R. S.; MOREIRA, L. B.; PEREIRA, M. B.; LOPES, H. M.; COSTA, E. M.; CURTI, A. T. M. Características morfoagronômicas de dois genótipos arroz vermelho em cultivo inundado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, n.3, p.394-401, jul.-set., 2012.

MENEZES, B. R. S.; LOPES, H. M.; PEREIRA, M. B.; MOREIRA, L. B.; RODRIGUES, D. L.; SILVA, E. R. **Avaliação da germinação e dormência de sementes de arroz vermelho e branco**. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. Lages, v.12, n.2, p.129-140, 2013.

MENEZES, V. G.; SILVA P. R. F. Manejo de arroz vermelho através do tipo e arranjo de plantas em arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa (MG), v. 16, p. 45-57, 1998.

MORAIS, L.K. de; SILVA, R.M. da; CHIORATO, A.F.; AZZINI, L.E.; VILLELA, O.V.; GALLO, P.B.; SAKAI, M.; BASTOS, C.R.; MALAVOLTA, V.M.A.. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado para o estado de São Paulo. **Revista Biociências**, v. 14, n. 1, p. 9-16, 2008.

MINGOTTE, F. L. C.; HANASHIRO, R. KIMIE.; FORNASIERI FILHO, D. Características físico-químicas do grão de cultivares de arroz em função da adubação nitrogenada. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2605-2618, 2012.

MORAIS, O. P.; RANGEL, P. H. N.; FAGUNDES, P. R. R.; CASTRO, E. M.; NEVES, P. C. F.; CUTRIM, V. A.; PRABHU, A. S.; BRODANI, C.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Melhoramento genético. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. S. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 97-116.

MORAIS JÚNIOR, O. P.; MELO, P. G. S.; MORAIS, O. P.; CASTRO, A. P.; BRESEGHELLO, F.; UTUMI, M. M. et al. Genetic progress after cycles of upland rice recurrent selection. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 72, n. 4, p. 297-305, 2015.

MORAIS JÚNIOR, O. P. Seleção recorrente genômica como estratégia para aceleração de ganhos genéticos em arroz. 172f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2016.

MORISHIMA, H.; SANO, Y.; OKA, H. I. Evolutionary studies in cultivated rice and its wild relatives. **Oxford Surveys in Evolution Biology**, v. 8, p. 135-184, 1992.

MOREIRA, L. B.; LOPES, H. M.; MENEZES, B. R. S.; SOARES, A. P.; SILVA, E. R. Caracterização agrônômica e qualidade fisiológica de sementes de arroz vermelho. *Revista Caatinga*, Mossoro, v. 24, n. 1, p. 9-14, jan.-mar. 2011.

MOREIRA, L. B.; PEREIRA, M. B.; LOPES, H. M. Correlação entre os parâmetros de estabilidade e de adaptabilidade de cultivares dos métodos Cruz, Torres & Vencovsky e Moreira e Pereira. *Rev. Univ. Rural, Sér. Ci. da Vida*, RJ, EDUR. v. 26, n. 1, jan-jun, 2006, p. 33-41.

MOREIRA, L. B. 2001. Metodologia para análise de estabilidade e adaptabilidade de cultivares. Tese (Doutorado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 96p.

NASCIMENTO, L. S.; CUNHA FILHO. Mecanismo genético de caracteres qualitativos em arroz (*Oryza sativa* L.). *Arquivos Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, v. 6, n. 1, p. 95-103, 1983.

NETO, A. R.; JUNIOR, E. U. R.; GALLO, P. B.; FREITAS, J. G. de.; AZZINI, L. E. Comportamento de arroz de terras altas no estado de São Paulo. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 3 p. 512-519, jul-set, 2013.

NEVES, P. C. F.; GUIMARÃES, E. P. Alogamia em arroz (*Oryza sativa* L.) e relação com características agrônômicas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 49-55, 2000.

PASSERI LIMA, R. H. Componentes da produção e qualidade fisiológica de sementes de tipos especiais de arroz, 2014. 58p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica (RJ).

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

PEREIRA, J. A. **O arroz-vermelho cultivado no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 90 p.

PEREIRA, J. A. **O arroz e outros elementos culturais da Guiné-Bissau**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 77 p.

PEREIRA, J. A.; BASSINELLO, P. Z.; FONSECA, J. R.; RIBEIRO, V. Q. Potencial genético de rendimento e propriedades culinárias do arroz vermelho cultivado. **Caatinga**, v.20, p.43-48, 2007.

PEREIRA, J. A.; MORAIS, O. P. de; BRESEGHELLO, F. Análise da heterose de cruzamentos entre variedades de arroz vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1135-1142, 2008.

PEREIRA, J. A.; BASSINELLO, P. Z.; CUTRIM, V. dos A.; RIBEIRO, V. Q. Comparação entre características agronômicas, culinárias e nutricionais em variedades de arroz branco e vermelho. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 243-248, jan./mar. 2009.

PEREIRA, J. A.; MORAIS, O. P. As variedades de arroz vermelho brasileiras. Documentos: Documento 229. Embrapa Meio-Norte. 39p. Julho, 2014.

PEREIRA, J. A.; MORAIS, O. P. de; BASSINELLO, P. Z.; TORGA, P. P.; COLOMBARI FILHO, J. M.; CAMARA, J. A. da S.; RIBEIRO, V. Q. 'BRS 901': cultivar de arroz vermelho para o nordeste brasileiro. Comunicado Técnico 215. Teresina (PI). Jul, 2015.

PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S.A. Produção de sementes de arroz. In: PESKE, S. T.; SCHUCH, L. O. B.; BARROS, A. C. S.A. **Produção de Arroz Irrigado**. 2004, p. 349-403.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais; exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP (Brazil). 2002, 309p.

PINHEIRO, B. S. da. Características morfológicas da planta relacionadas à produtividade. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. S. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 97-116.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. Genética quantitativa em plantas autógamas; aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. dos. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A.C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 144, n. 1/2, p. 23-29, jul. 2005.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2012. 522 p.

RANGEL, P.H.N.; GUIMARÃES, E.P.; NEVES, P.C.F. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.31, n.5, p.349-357. Maio,1996.

RANGEL, P.H.N. **Origem e evolução do arroz**. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP,1998. Não paginado. Palestra apresentada no I Curso Internacional de Melhoramento Genético de Arroz, Goiânia, mar. 1998.

RANGEL, P. H. N.; MORAIS, O. P. ZIMMERMANN, F. J. P. Grain yield gains in three recurrent selection cycles in the CNA-IRAT 4 irrigated rice population. Crop Breeding and Applied Biotechnology, Viçosa, v.2, n. 3, p. 369-374, 2002.

RANGEL, P.H.N.; BRONDANI, C.; MORAIS, O.P. et al. Establishment of the irrigated rice cultivar SCSBRS Tio Taka by recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotech.**, Londrina, v. 7, p.103-110, 2007.

SANTOS, A. B. et al. *A cultura do arroz no Brasil*. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006.

SANTOS, L. P.; MORAIS, D. R.; SOUZA, N. E.; COTTICA, S. M.; BOROSKI, M.; VISENTAINER, J. V. Compounds and fatty acids in different parts of *Vitis labrusca* and *V. vinifera* grapes. Food Res Int., v. 44, p. 1414-1418, 2011.

SEBRAE. Painel Regional: Noroeste Fluminense / Observatório Sebrae/RJ. Rio de Janeiro. Sebrae, 2015. 16p.

SILVA, E. A. da.; SORATTO, R. P.; ADRIANO, E.; BISCARO, G. A.; Avaliação de cultivares de arroz de terras altas sob condições de sequeiro em Cassilândia, MS. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 33, n. 1, p. 298-304, jan./fev., 2009.

SILVA, E. S. O.; MARAFON, G. J. A agricultura familiar no estado do Rio de Janeiro. II Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional. Santa Cruz do Sul, 2005. Disponível em: <http://www.unisc.br/site/sidr/2004/urbano/06.pdf>. Acesso em: 23/08/2017.

SILVA, J. G. da. Estrutura agrária de subsistência na agricultura brasileira. São Paulo: HUCITEC, 1980.

SILVA, J.G.C. da; BARRETO, J.N. Aplicação da regressão linear segmentada em estudos da interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE EXPERIMENTAÇÃO AGRÍCOLA, 1., Piracicaba. **Resumos**. Campinas, Fundação Cargill, pp.49 – 50, 1985.

SILVA, L. C. da. Estratégias de condução de populações segregantes no melhoramento genéticos do feijoeiro. 65f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.

SILVA, R. M. de; GERHARD BANDEL, M. I. F. F.; MARTINS, P. S.; *Biologia Reprodutiva de Etnovarietades de Mandioca*. *Scientia Agrícola*, v. 58, n. 1, p. 101-107, 2001.

SOARES, A. A; SOARES, P. C.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P; RANGEL, P. H. N.; REIS, M. S. Melhoramento genético de arroz em Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.25, n.222, p.20-24, 2004.

SOSBAI. SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. *Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil*. Disponível em: [http://www.sosbai.com.br/docs/Boletim\\_RT\\_2016.pdf](http://www.sosbai.com.br/docs/Boletim_RT_2016.pdf). Acessado em: 21/08/2017.

SQUILASSI, M.G. *Interação de genótipos com ambientes*. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2003, 47p. Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br>

STEINMETZ, S.; SILVA, S. C.; SANTANA, N. M. P.; *Clima*. In: *A Cultura do Arroz no Brasil*. 2 ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.117-160, 2006.

STORK, L. **Modelo de regressão bi-segmentado descontínuo com erros de medida aplicado na análise de estabilidade de cultivares**. Tese-Doutorado, ESALQ, Piracicaba, São Paulo, 1989.

SWEENEY, M. T.; THOMSON, M. J.; PFEIL, B. E.; MCCOUCH, S. Caught red handed: Rc encodes a basic helix-loop-helix protein conditioning red pericarp in rice. **The Plant Cell**, v. 18, p. 283-294, 2006.

SWEENEY, M. T.; THOMSON, M. J.; PFEIL, B. E.; MCCOUCH, S. Caught red-handed: Rc encodes a basic helix-loop-helix protein conditioning red pericarp in rice. **The Plant Cell**, Rockville, v. 18, p. 283-294, 2006.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Foreign Agricultural Service/USDA. Rice: World Markets and Trade*. USA, 2017. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain-rice.pdf>. Acessado em 22/08/2017.

USDA - United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. *Rice Outlook Tables: March 2018*. USDA, 2018. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/87979/rcs-18c.pdf?v=43171> . Acessado em 21/03/2018.

VAUGHAN, D. A. **The wild relatives of rice: a genetic resources handbook**. International Rice Research Institute: Manilla, 1994. 137 p.

VAUGHAN, D.A.; CHANG, T.T. Collecting the rice gene pool. In: GUARINO, L.; RAMANATHA RAO, V.; REID, R. **Collecting plant genetic diversity – Technical Guidelines**. CAB International, Wallingford, UK, p. 659-675,1995.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A.; (Ed.). A cultura do arroz no Brasil. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2ed. 2006. p.869-900.

VIEIRA,J.; MARSCHALEK,R.; ISHIY,T et al. **A hibridação no melhoramento genético de arroz irrigado em Santa Catarina**. Agropecuária Catarinense, Florianópolis, v.20, n.2, p.43-46, jul.2007.

WICKERT, E. ; SCHIOCCHET, M. A. ; NOLDIN, J. A. ; RAIMONDI, J. V.; ANDRADE, A. DE ; SCHEUERMANN, K.; MARSCHALEK, R.; MARTINS, G. N; HICKEL, E. ; EBERHARDT, S. ; KNOBLAUCH, R . Exploring variability: new Brazilian varieties SCS119 Rubi and SCS120 Ônix for the specialty rices market. Open Journal of Genetics, V4, p.157-165, 2014.

WOLF, E. Sociedades Camponesas. 2 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1970.

YUAN, H. Z.; RAN,Z. B.; MING, L.Q.; QIN, F.X.; YUN, X.Y.; PING, Y.L. Heterosis expression of hybrid rice in natural- and short-day length conditions. **Rice Science**. v. 22, n. 2, p. 81–88, 2015.