



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

JOSÉ FLAVIANO BARBOSA DE LIRA

PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO MANEJADO ORGANICAMENTE SOB
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA E DENSIDADES DE PLANTIO

MOSSORÓ – RN
AGOSTO DE 2015

JOSÉ FLAVIANO BARBOSA DE LIRA

PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO MANEJADO ORGANICAMENTE SOB
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA E DENSIDADES DE PLANTIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Orientador: Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda

MOSSORÓ – RN
AGOSTO DE 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

L768p Lira, José Flaviano Barbosa de.

Produção de arroz vermelho manejado organicamente sob irrigação localizada e densidade de plantio / José Flaviano Barbosa de Lira. - Mossoró, 2016.

54f: il.

Orientador: Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda

Co-Orientador: Prof. Dr. José francismar de Medeiros

Dissertação (MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

1. Arroz. 2. Agricultura orgânica. 3. Densidade de plantio. 4. Irrigação localizada. I. Título

RN/UFERSA/BOT/031

CDD 633.18

JOSÉ FLAVIANO BARBOSA DE LIRA

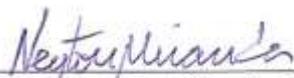
PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO MANEJADO ORGANICAMENTE SOB
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA E DENSIDADES DE PLANTIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Orientador: Prof. Dr. Neyton de Oliveira Miranda.

Aprovada em: 27/08/2015

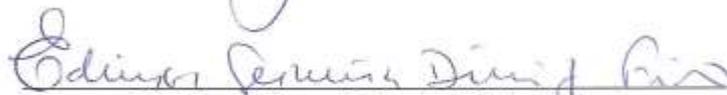
BANCA EXAMINADORA:



Dr. Sc. Neyton de Oliveira Miranda
Orientador



Dr. Sc. José Francismar de Medeiros
Membro Interno



Dr. Sc. Edimar Teixeira Diniz Filho
Membro Externo

*Aos Meus Pais Júlio Teixeira de Lira e Severina
Barbosa de Lira pela força, coragem, determinação
e planejamento na busca de todas minhas
realizações ao longo de minha vida.*

In Memoriam

*A minha querida filha Ana Flávia por ser o
motivo da minha existência e por me dar
forças para continuar lutando na busca pela
prosperidade.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, início e fim de tudo;

Ao Professor Neyton de Oliveira Miranda, amigo, orientador, pelo incentivo e apoio;

Ao Eng^o. Agr^o. Dr. Edmar Teixeira Diniz Filho, por me incentivar e encaminhar para o brilhante trabalho com a cultura do Arroz vermelho e produtores do Vale do Apodi;

Aos Professores José Francismar de Medeiros e Francisco Porto Filho, pelo muito que me ensinaram;

Aos Professores e Professoras da UFERSA, Jeane Cruz Portela, Nildo da Silva Dias, Marcelo Tavares Gurgel, Miguel Ferreira Neto e Rafael Oliveira Batista, pelos ensinamentos nas disciplinas do curso; além de Alan Martins, Paulo César Moura, Francisco de Assis Oliveira (Thikão), Marcilio Freire, Francisco Xavier, José Espínola e Vânia Christina Porto, do DCAT da UFERSA, pelo apoio e incentivo na torcida pela concretização deste trabalho;

Aos funcionários da UFERSA, em nome de Seu Elídio e Cezôca,

Aos companheiros nesta caminhada: Raniere Barbosa de Lira, Raimundo, João Paulo Nunes da Costa, Luiz Leonardo Ferreira, Silvio Roberto Fernandes Soares e Lucas Ramos da Costa; Carlos Georg Fernandes Nunes, Fabrício Edino B. Jales e Idaiane;

Ao Serviço de Apoio aos Projetos Alternativos Comunitários – SEAPAC, em nome do Coordenador Estadual Diácono Francisco Teixeira, pela confiança dada e total apoio nas visitas às comunidades do Vale do Apodi;

Ao Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais de Apodi e Associação dos Produtores de Arroz do Vale do Apodi-APAVA, pela contribuição política no processo de desenvolvimento dos produtores de arroz do Vale e perspectiva de libertação dos povos;

Aos agricultores das comunidades Baixa Fechada e Reforma, em especial Bebé Gama e Cosmo, pela dedicação ao experimento, em nome dos quais saúdo todos (as) trabalhadores (as) rurais que lutam com garra pela sua própria sobrevivência e da humanidade;

Ao Grupo Verde de Agricultura Alternativa (GVAA) da UFERSA, agradeço pelos ensinamentos e por me direcionar para uma nova filosofia de vida e de trabalho;

À COOPERVIDA, agradeço pelo intenso aprendizado coletivo e experiência para o trabalho

na Extensão Rural, esta que venho acumulando ao longo dos anos;

À Terra Viva por me ter dado a oportunidade de coordenar o Projeto de Manejo da Caatinga e graças a esse momento consegui ampliar meus horizontes;

Meu sincero MUITO OBRIGADO a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

LIRA, José Flaviano Barbosa de. **PRODUÇÃO DE ARROZ VERMELHO MANEJADO ORGANICAMENTE SOB IRRIGAÇÃO LOCALIZADA E DENSIDADES DE PLANTIO**. 2015. 62 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

O trabalho foi desenvolvido nas dependências do Instituto Federal do Rio Grande do Norte em Ipanguaçu-RN, para determinar a viabilidade técnica do plantio e o comportamento de componentes de produção de Arroz Vermelho (*Oryza sativa L.*) sob irrigação localizada, manejo orgânico e diferentes densidades de plantio. Os tratamentos constaram do número de plantas por cova (1, 3, 5, 7 e 9) que foram testados em delineamento de blocos ao acaso com cinco repetições. As variáveis estudadas foram: número de perfilhos por touceira, altura de plantas, número de panículas por parcela, massa média de panículas, números de grãos cheios e de grãos vazios, percentagem de grãos vazios, massa de cem grãos e produtividade. Concluiu-se pela viabilidade técnica da cultura do arroz vermelho e pela indicação da densidade de uma planta por cova como a mais adequada para o local, configuração de plantio utilizada, irrigação localizada e manejo orgânico do arroz vermelho.

Palavras-chave: *Oryza sativa L.*; sustentabilidade; manejo de água; arranjo espacial.

ABSTRACT

LIRA, José Flaviano Barbosa de. **RED RICE PRODUCTION UNDER ORGANIC MANAGEMENT, DRIP IRRIGATION AND PLANTING DENSITIES.** 2015. 62 f. Dissertation (Master in Soil and Water Management). Universidade Federal do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

The study was conducted at the Federal Institute of Rio Grande do Norte, in Ipanguaçu-RN, to determine the technical feasibility of planting and behavior of red rice (*Oryza sativa* L.) yield components under drip irrigation, organic management and different planting densities. The treatments consisted of the number of plants per hole (1, 3, 5, 7 and 9) which were tested in a randomized block design with five replications. The variables analyzed were: number of tillers per hill, plant height, number of panicles per plot, average panicle mass, numbers of filled and of empty grains, percentage of empty grains, mass of one hundred grains and yield. Conclusions appoint the technical feasibility of the red rice crop and indicate the density of one plant per hill as the most appropriate for the site, the planting configuration employed, drip irrigation and organic management of red rice.

Keywords: *Oryza sativa* L.; sustainability; water management; spatial arrangement

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Análise do solo e do esterco usado no ensaio de arroz vermelho. Ipanguaçu, 2105 32
- Tabela 2** - Estatística descritiva de número de perfilhos por touceira (PERF), altura de plantas (ALT), número de panículas por m² (PAN), massa por panícula (MPAN), número de grãos cheios por panícula (GCH), percentagem de grãos vazios (PERC), massa de cem grãos (MCEM) e produtividade (PROD) de arroz vermelho sob diferentes densidade de plantio 36
- Tabela 3** - Coeficientes de correlação entre massa de cem grãos (MCEM – g) e produtividade (PROD - t ha⁻¹) de arroz vermelho e número de perfilhos por touceira (PERF), altura de plantas (ALT – cm), número de panículas por área (PAN), massa por panícula (MPAN – g), número de grãos cheios por panícula (GCH) e percentagem de grãos vazios (PERC - %) 39
- Tabela 4** - Efeitos do número de plantas por cova sobre número de perfilhos por touceira (PERF), altura de plantas (ALT), número de panículas por parcela (PAN), massa por panícula (MPAN), número de grãos cheios por panícula (GCH), percentagem de grãos vazios (PERC), massa de cem grãos (MCEM) e produtividade (PROD) de arroz vermelho sob irrigação localizada e manejo orgânico 40
- Tabela 5** - Comparação de médias de componentes do número de panículas por parcela (PAN), massa média de panículas (MPAN), número de grãos cheios (GCHE) e de grãos vazios em dez panículas (GRVAZ), percentagem de grãos vazios (PERC), massa de cem grãos (MCEM) e produtividade (PROD) de arroz vermelho sob irrigação localizada e manejo orgânico 41
- Tabela 6** - Parâmetros das equações de regressão de número de perfilhos por touceira (PERF), massa por panícula (MPAN - g), número de grãos cheios por panícula (GCH), percentagem de grãos vazios (PERC), massa de cem grãos (MCEM - g) e produtividade (PROD - t ha⁻¹) de arroz vermelho sob irrigação localizada e manejo orgânico 41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foto Aérea do Campus dos IFRN em Ipanguaçu-RN	31
Figura 2 - Trator roçando e coleta do solo na área do experimento com arroz vermelho no IFRN. Ipanguaçu, 2015	32
Figura 3 - Adubadora utilizada para aplicação de esterco na área do experimento com arroz vermelho no IFRN. Ipanguaçu, 2015	33
Figura 4 – Linha principal do sistema de irrigação e mangueiras de distribuição na área do experimento com arroz vermelho no IFRN. Ipanguaçu, 2015	33
Figura 5 - Croqui da área experimental no delineamento em blocos casualizados onde se testou diferentes densidades de plantio de arroz vermelho	34
Figura 6 - Regressões em função do número de plantas por cova, em (A) de produtividade de arroz vermelho (PROD - t ha ⁻¹) e em (B) de massa média de panículas (MPAN – g) e número de grãos cheios (GCHE), que foi dividido por cem para melhor visualização da figura	42
Figura 7 - Regressões em (A) de número de perfilhos por touceira (PERF) e em (B) de percentagem de grãos vazios (PERC – %) e massa de cem grãos (MCEM - g) de arroz vermelho em função do número de plantas por cova	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	A cultura do arroz	13
2.1.1	Centro de Origem Primária, Taxonomia e importância da cultura	13
2.1.2	A cultura do arroz vermelho	14
2.1.3	A cultura do arroz vermelho no mundo	15
2.1.4	A cultura do arroz vermelho no Brasil	15
2.1.5	A cultura do arroz-vermelho no Rio Grande do Norte	16
2.2	Agricultura Familiar e Agroecologia	17
2.3	Adubação orgânica	19
2.4	Características químicas dos solos influenciando a produção do arroz	20
2.4.1	Matéria Orgânica	20
2.4.2	Fósforo (P)	20
2.4.3	Potássio (K ⁺)	20
2.4.4	Sódio (Na ⁺)	20
2.4.5	Cálcio (Ca ²⁺)	205
2.4.6	Manganês (Mn ⁺)	206
2.4.7	Zinco (Zn ⁺)	207
2.5	Produção orgânica do arroz	28
2.6	Necessidade hídrica do arroz e irrigação da cultura	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	351
<u>3.1</u>	Localização e caracterização da área de estudo	31
3.2	Caracterização do solo e propriedades químicas e físicas	31
3.3	Instalação do experimento	328
<u>3.3.1</u>	Preparo do solo	328
3.3.2	Adubação de fundação	328
3.3.3	Intalação do sistema de irrigação	33
<u>3.4</u>	Delineamento experimental	33
3.5	Cultura estudada	34
3.6	Condução do experimento, irrigação, tratos culturais	34
3.7	Avaliação dos tratamentos	35
3.8	Análises estatísticas	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5	CONCLUSÕES	45
6	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A rizicultura é uma das atividades agrícolas mais importantes em valor econômico e social no mundo, destacando-se pela produção e área plantada. Ela ocorre em todos os países em desenvolvimento, principalmente na Ásia, abrangendo 70% da população destes países e cerca de dois terços da população subnutrida mundial (Pereira & Moraes, 2014)

O arroz é alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas. Estima-se que até 2050 haverá uma demanda para atender o dobro desta população, ultrapassando todos os outros alimentos. Cerca de 150 milhões de hectares de arroz são cultivados anualmente no mundo, produzindo 590 milhões de toneladas, sendo que mais de 75% desta produção é oriunda do sistema de cultivo irrigado (EMBRAPA, 2005). Nenhuma outra atividade econômica alimenta tantas pessoas, sustenta tantas famílias e é tão crucial para o desenvolvimento das nações. Porém, essa atividade causa diversos impactos sobre o meio ambiente.

O Foreign Agricultural Service (FAS) do United States Department of Agriculture (USDA) previa o consumo total de 2.433,66 milhões de toneladas de grãos no mundo na safra 2013/14. Sendo que arroz beneficiado participa com 476,84 milhões de toneladas, ou 19,59% desse total. Entre os produtos destinados à alimentação humana, é o segundo em importância, depois do trigo e, em algumas partes do mundo, especialmente na Ásia, é base da alimentação da população (CONAB, 2013).

Devido a sua relevância no abastecimento interno e na segurança alimentar da população, o arroz sempre teve grande importância na formulação e execução das políticas agrícolas e de abastecimento nos Países em desenvolvimento. A América Latina ocupa o segundo lugar em produção e o terceiro em consumo pelo fato do arroz ser item básico na dieta da população, como no caso do Brasil, Colômbia e Peru. A rizicultura mundial vem sofrendo alguns problemas nos últimos anos, relacionados à produção mundial, que não acompanhou o crescimento populacional, havendo preocupação em relação a estratégias de produção dessa cultura tão importante (CONAB, 2013).

No Hemisfério Ocidental, o Brasil é o maior produtor de arroz, que é um dos principais componentes da dieta alimentar dos seus habitantes, predominando a produção e o consumo do tipo branco comum e classificado como longo-fino, mas também é encontrado o tipo vermelho, preferido pelos consumidores de alguns estados do Nordeste (Pereira & Moraes, 2014). O consumo somado de arroz e feijão, os principais alimentos do povo brasileiro, na safra 2013/14, foi em torno de 12 milhões de toneladas, ou seja, superior ao trigo cujo

consumo seria de 10,7 milhões de toneladas.

O arroz-vermelho foi o primeiro tipo de arroz trazido ao Brasil pelos colonizadores portugueses, sendo cultivado principalmente no semiárido nordestino e pouco conhecido em outras regiões. Esse tipo de arroz é adaptado às condições de cultivo em terras baixas e apresenta maior importância nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Ceará, Bahia e Alagoas (Pereira, 2004).

Num contexto de crescente demanda por água de boa qualidade nas regiões semiáridas do Brasil, a disponibilidade hídrica torna-se fator limitante para sobrevivência da população e atividade agrícola nessas regiões. Nessas regiões, a irrigação é responsável pelo consumo de 50 a 85 % dos recursos hídricos disponíveis (Capra & Scicolone, 2007).

No estado do Rio do Norte, a maior região produtora de arroz vermelho é o Vale do Rio Apodi, onde é adotado o método de produção convencional, com grande utilização de agrotóxicos e adubos sintéticos, no entanto esse sistema dá sinais de exaustão, demonstrando sua insustentabilidade.

Por isso, são necessários métodos mais eficientes de produção com o uso racional da água de irrigação, de forma a conferir sustentabilidade para a agricultura familiar camponesa da região semiárida do Brasil. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo geral, determinar a viabilidade técnica do plantio e o comportamento dos componentes de produção do arroz vermelho sob irrigação localizada, ao mesmo tempo em que se visava determinar a melhor densidade de plantio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do arroz

2.1.1 Centro de Origem Primária, Taxonomia e importância da cultura

O Arroz pertence à divisão das Angiospermas, Classe das Monocotiledôneas, Ordem das Glomiflora, Família Poaceae, subfamília Pooideae, do gênero *Oryza*, seção Sativa, que compreende 23 espécies sendo que somente duas espécies são cultivadas (*Oryza glaberrima* S. e a *Oryza sativa* L.) (Diniz Filho, 2010)

Ha indícios que o arroz foi encontrado entre o leste da china e o norte da Índia cerca de 3300 AC. Fornasieri Filho & Fornasieri (2006) relatam a confirmação da propagação do arroz no sudoeste Asiático, da Índia à China, em período indeterminado. Segundo Pocojeski (2007) o centro de origem do arroz é a Ásia, contudo, segundo Pereira (2004) foi na Pérsia que os gregos o denominaram de *Oryza*. A espécie *Oryza glaberrima* tem cultivo restrito à África.

A espécie *Oryza sativa* apresenta ramificações secundárias na panícula e pode apresentar tanto o pericarpo branco como vermelho. Originalmente, as espécies deste gênero possuíam grãos vermelhos, pois a cor vermelho clara do pericarpo é característica genética dominante controlada pelo gene Rd no cromossomo 1, característica esta herdada dos ancestrais silvestres das variedades atuais, tendo a cor branca surgido por mutação (Pereira, 2004).

A produção mundial de arroz dobrou entre 1966 e 1990, principalmente devido ao lançamento comercial de cultivares altamente produtivas advindas da revolução verde (Khush, 2005). Entretanto, o aumento da população mundial tem gerado uma crescente demanda pelo arroz, com produção de 684,7 milhões de tonelada e ocupa posição de destaque entre os cereais cultivados, sendo superado pelo trigo e milho (FAO, 2011). O hábito de consumo do arroz é inquestionável e dificilmente será substituído, sendo cultivado em cerca de 120 países de todos os continentes e vem crescendo bastante em termos de produção como consequência de sua grande importância nutricional, considerado alimento base na dieta da maioria das famílias, sendo o seu desenvolvimento influenciado por alguns fatores como o solo, clima, temperatura, vento e água Segundo Sampaio et al. (2012).

Apesar do arroz (*Oryza sativa* L.) ser o principal alimento de mais da metade da população mundial, mais de 850 milhões de pessoas em todo mundo passam fome, dos quais mais de 50 % vivem em zonas que dependem da produção do arroz. A participação do arroz no total de calorias consumidas pela população é de 73,29 % no Camboja, 29,99 % na China, 23,06 % no

Japão, 42,17 % na Guiné Bissau, 23,47 % na Costa do Marfim e 12,09 % no Brasil. O Brasil produziu em 2012 cerca de 11,3 milhões de toneladas de arroz em casca, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor, com 67,6 % da produção nacional (IBGE, 2013).

2.1.2 A cultura do arroz vermelho

O arroz vermelho cultivado, o arroz branco e o vermelho espontâneo pertencem à espécie *Oryza sativa L.*, mas a cor vermelha do pericarpo, devida a presença de tanino e antocianina, é característica dominante e comum nos ancestrais do arroz esse tipo de arroz vem tendo maior demanda pelo mercado consumidor, que oferece maiores preços, favorecendo a remuneração e a sustentabilidade do sistema de agricultura familiar (Boêno et al., 2011).

O arroz vermelho espontâneo apresenta porte alto, folhas verde-claras, decumbentes e pilosas, colmos finos, alta capacidade de perfilhamento e sementes com pericarpo avermelhado, aristas longas, alta taxa de dormência e debulha natural (Fonseca et. al., 2007).

Apesar da preferência mundial dos consumidores pelo arroz branco, a cor característica do pericarpo do grão das espécies de arroz é a vermelha, tendo a cor branca se originado por mutação e se firmado como característica de grande interesse comercial e prioritária em programas de melhoramento genético (Pereira et. al., 2007). O pigmento vermelho do pericarpo do arroz é característica dominante, controlada por genes já identificados, a qual era muito comum entre os ancestrais selvagens do arroz. É uma proantocianina importante na alimentação humana, responsável pela digestibilidade e pela ação antioxidante, benéfica para o sistema cardiovascular, além de atuar como repelente contra patógenos e predadores.

Apesar do interesse crescente dos consumidores, devido ao sabor, textura e valor medicinal, a presença do arroz-vermelho como invasora é considerada o maior problema econômico em campos de produção comercial, afetando a produção e a qualidade do arroz branco (Sweeney et. al., 2006).

O arroz vermelho é um componente importante da dieta dos habitantes de diversos estados do sertão nordestino (Pereira, 2004), com grande importância econômica e social. O plantio é normalmente realizado por pequenos agricultores, com uso de sementes nativas ou variedades tradicionais selecionadas ao longo do tempo, caracterizadas pela variabilidade, adaptabilidade às condições de cultivo e ampla base genética.

O arroz é mais plantado com irrigação por inundação, mas também é plantado em várzeas úmidas, sem irrigação, sistematização do terreno ou drenagem, sendo dependente de chuvas

(Pereira et. al., 2007). O alto custo de produção irrigada e o risco de déficit hídrico nas terras altas têm levado alguns produtores a plantar arroz de sequeiro em áreas de várzeas. As vantagens da inundação melhores produtividades e qualidade industrial dos grãos. Além disso, a aplicação de lâmina constante influencia características químicas do solo, podendo aumentar o pH em solos ácidos (Beltrame et. al., 1991; Santos et. al., 1999).

Em avaliação de variedades de arroz-branco e vermelho, Pereira et. al. (2009) observaram maior produtividade, maiores teores de amilase e menor tempo para cozimento de variedades de arroz branco, todavia o grão de arroz-vermelho polido se sobressaiu em teores de ferro e zinco, indicando-o como alternativa excelente para nutrição em populações carentes, cujo produto básico da sua dieta é o arroz.

2.1.3 A cultura do arroz vermelho no mundo

De acordo com Pereira & Morais (2014), são inúmeras as referências ao uso do arroz vermelho como integrante de rituais e cerimônias em homenagem às mais diferentes divindades do mundo oriental, desde a antiguidade, havendo referência a uma variedade denominada ‘Hayana’, considerada sagrada, cujo mingau era oferecido à Deusa Indra.

Existem referências ao arroz vermelho de 700 AC na Índia, segundo Ahuja et al. (2014), citando o valor medicinal das variedades Shali, Vrihi e Shastika, além Rakta Shali e Lohit Shali, de casca e pericarpo vermelhos; na Coreia, o cultivo de variedades de arroz vermelho tanto do grupo Japônica quanto do grupo Índica tem cerca de 1.300 anos; no Japão, variedades de arroz vermelho pertencentes ao grupo Japônica foram plantadas desde o ano 710 DC; na China, durante os séculos 11 a 14, variedades de grãos longos, também de arroz vermelho, mas pertencentes ao grupo Índica, foram introduzidas, contribuindo para uma significativa expansão da área cultivada no País. ‘Taitoumai’, uma variedade de arroz vermelho precoce, de alta produtividade e considerada resistente à seca e a insetos-praga teria sido uma das mais plantadas na época no Japão (Pereira & Morais, 2014).

O arroz de pericarpo branco começou a predominar no Japão por volta da segunda metade do século 19, causando o quase desaparecimento do arroz vermelho a partir do ano de 1930. O arroz vermelho continua a ser considerado como um produto agrícola sagrado nos Shinto Shrines, templos religiosos Japoneses (Pereira & Morais, 2014).

Antes de chegar às Américas, o arroz vermelho chegou à Europa e à África pelas antigas rotas de comércio ligando o Oceano Índico ao Mar Mediterrâneo, tendo o Golfo Pérsico e o

Mar Vermelho como principais caminhos entre o Oriente e o Ocidente. Em Israel, o arroz vermelho teria sido plantado por volta do ano 70 DC, no Vale do Rio Dan, um dos principais tributários do Rio Jordão, sendo também na mesma época cultivado no Vale do Rio Orantes, nas proximidades de Antioquia, na Turquia (Nesbitt et al., 2010).

2.1.4 O cultivo do arroz vermelho no Brasil

A produção de arroz vermelho no Brasil terminou concentrada na região Semiárida do Nordeste, sobressaindo, pela ordem decrescente de importância, os Estados da Paraíba (Vales do Rio Piancó e do Rio do Peixe) e Rio Grande do Norte (Vale do Rio Apodi). Mas, ainda que com pequena expressão, esse tipo de arroz continua sendo plantado por pequenos agricultores dos Estados do Ceará (município de Caridade), Pernambuco (municípios de Serrita e Floresta), Bahia (Chapada Diamantina e Campo Formoso) e Minas Gerais (municípios de Itacambira, Piranguinho e Orizânia) (Pereira & Moraes, 2014).

Em todas essas áreas, a preferência pelo arroz vermelho está relacionada ao hábito alimentar das populações, mas o referido arroz, a exemplo do que se verificou em outras partes do mundo, vem experimentando um declínio acentuado na sua área plantada e, certamente, um acelerado processo de erosão genética. Tais fatos podem ser atribuídos à migração das populações rurais para os centros urbanos, à mudança de hábitos dos consumidores e à forte concorrência com o arroz branco (Pereira & Moraes, 2014).

2.1.5 A cultura do arroz-vermelho no Rio Grande do Norte

O Arroz Vermelho predomina no Rio Grande do Norte, principalmente na região do Vale do Apodi onde é cultivado em áreas irrigadas e vazantes por necessitar maior volume de água do que outras culturas. No ano de 2008 o estado tinha área plantada de 2200 ha e de 2349 ha em 2009, com produção, respectivamente aos anos, de 5402 toneladas e 6505 toneladas (CONAB, 2009). Segundo informações verbais do Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais de Apodi, no ano de 2008, no Vale do Apodi, havia 360 famílias cultivando uma área de 910 ha, obtendo produção anual estimada de 12.558.000 kg de arroz vermelho em casca, em duas colheitas, equivalendo a uma receita estimada de vinte e dois milhões seiscentos e quatro mil e quatrocentos reais.

As variedades de arroz vermelho predominantes são tradicionais de c da região e a cultura

possui boas perspectivas de mercado, porque a demanda pelo produto é crescente e a remuneração é diferenciada. A comercialização da produção através do Programa de Aquisição de Alimentos do governo federal é um grande incentivo (CONAB, 2009).

A cultura do arroz irrigado na Região Nordeste do Brasil é promissora, devido à crescente demanda pelo mercado consumidor e às condições climáticas favoráveis. O clima quente durante o ano todo possibilita a obtenção de duas safras. Devido ao clima semiárido, doenças fúngicas como a brusone, não encontram condições favoráveis para se desenvolver. Nestas mesmas regiões a agricultura irrigada atua como um elemento fixador do homem à terra, contribuindo assim para reduzir o êxodo rural.

2.2 Agricultura Familiar e Agroecologia

A agricultura familiar como categoria social é aquela em que a família, sendo proprietária dos meios de produção, assume o trabalho no estabelecimento produtivo, se constituindo, desta forma, em uma categoria genérica, uma vez que a combinação entre propriedade e trabalho assume, no tempo e espaço, uma significativa diversidade de formas sociais.

Nesse entendimento, a agricultura camponesa e a agricultura de subsistência são categorias particulares dentro da agricultura familiar, embora, em determinadas situações, agricultores possam organizar sua produção com vistas à sobrevivência imediata, sem vincular suas estratégias produtivas ao projeto futuro de família (Wanderley, 1999).

Agricultura familiar é a que mais contribui para a produção de alimentos para a sociedade brasileira, sendo atividade estratégica para a segurança alimentar. De acordo com dados do INCRA (2000), os agricultores familiares geram 24% do valor bruto da produção (VBP) total da pecuária de corte, 52% da pecuária de leite, 58% dos suínos e 40% de aves e ovos.

No que diz respeito a algumas culturas temporárias e permanentes, a agricultura familiar produz 33% do algodão, 31% do arroz, 72% da cebola, 67% do feijão, 84% da mandioca, 49% do milho, 32% da soja e 46% do trigo, 58% da banana, 27% da laranja e 47% da uva, 25% do café e 10% do VBP da cana-de-açúcar. De acordo com o mesmo Autor; agricultura familiar no Brasil conta com 4,1 milhões de estabelecimentos, ocupando 14 milhões de pessoas, que produzem 60% dos alimentos do país e 10% do PIB nacional em 2004.

Essa mesma agricultura, desempenha importantes funções que devem ser consideradas na busca de ecossistemas sustentáveis. Portanto, essa função somente poderia ser desempenhada por aquelas formas de exploração agrícola que utilizassem os recursos naturais levando-se em

consideração seus limites físicos. Para Carmo (1998), a agricultura familiar possui esta aptidão porque incorpora características de diversificação/integração de atividades vegetais e animais e pelo fato de trabalhar em menor escala.

De acordo com a autora, todo agricultor detém um conjunto de práticas técnicas, econômicas e sociais coerentes com o sistema de exploração que adota. Compatibiliza os objetivos familiares com o meio ambiente, interagindo elementos e subsistemas muito além da constatação elementar da sua estrutura produtiva e das recomendações técnicas.

Com base em várias experiências praticadas por um grande número de agricultores que já adotaram práticas sustentáveis nas suas propriedades, ou que estão na fase de transição na busca racional do uso mais sustentável dos recursos naturais, a agricultura familiar tem um importante papel a desempenhar na conservação ambiental, uma vez que abre a possibilidade para a minimização dos impactos ambientais ocasionados pelo cultivo da terra.

A proteção desses recursos contribui para a conservação da biodiversidade e manutenção das funções ecossistêmicas dos recursos naturais, fundamental para a sustentabilidade dos sistemas cultivados. Além do mais, a vocação da agricultura familiar como unidade de produção e consumo, valoriza a diversidade por meio de policultivos e criações distribuídas de forma equilibrada no tempo e no espaço (Soares, 2001).

É um modo camponês de fazer agricultura (Von Der Ploeg, 2006) que, para se viabilizar sustentavelmente, depende em grande parte dos serviços ambientais proporcionados pela biodiversidade, tais como a fixação de carbono em florestas, a polinização realizada por insetos e pássaros autóctones, o controle de pragas levado a efeito por insetos nativos, o aumento da fertilidade do solo pela ação de micro-organismos, entre outros.

Segundo a Constituição brasileira, materializada na Lei nº 11.326 de julho de 2006, aquele que desenvolve atividades econômicas no meio rural, utiliza predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas de propriedade; e possui a maior parte da renda familiar proveniente das atividades agropecuárias desenvolvidas no estabelecimento rural, é considerado um agricultor familiar.

Para INCRA/FAO (1999) a evolução de cada tipo de agricultura e de sistemas de produção foi determinada por um conjunto complexo de fatores ecológicos, técnicos, sociais e econômicos que se relacionaram entre si ao longo da história. É essa complexidade e diferenciação que cabe compreender na análise-diagnóstico de uma realidade rural.

Em relação à região semiárida do nordeste brasileiro, procura-se preservar culturas de importância econômica e social para a pequena agricultura, como o arroz vermelho, cujas

variedades tradicionais possuem variabilidade, adaptabilidade e ampla base genética (Porto et al., 2007). As variedades locais do Vale do Apodi, RN possuem arquitetura de planta moderna e alto potencial de produtividade, podendo obter, em média, 9 t ha⁻¹, comparado à média de 11 t ha⁻¹ de variedades de arroz branco cultivadas na região (Pereira et al., 2009).

2.3 Adubação orgânica

2.3.1 importância da adubação orgânica na cultura do arroz

A adubação orgânica com utilização de resíduos gerados na própria unidade rural, ou nas proximidades, é uma prática muito comum na condução de lavouras de pequenos agricultores. Segundo (Bayer & Mielniczuk, 1999) em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a matéria orgânica tem grande importância no fornecimento de nutrientes às culturas, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração e atividade microbiana, constituindo-se em componente fundamental da sua capacidade produtiva.

A adubação orgânica com esterco bovino é prática milenar, tendo perdido prestígio com a introdução da adubação mineral, no século 19, e retomado a importância nas últimas décadas, devido à maior preocupação com o ambiente, com a alimentação saudável e pela necessidade de dar destino apropriado à grande quantidade de resíduos orgânicos produzidas em alguns países (Holanda, 1990; Blaise et al. 2005; Salazar et al. 2005). O uso de adubos orgânicos influi diretamente nos níveis de matéria orgânica do solo, eleva sua fertilidade e reflete-se em maior concentração de macro e micronutrientes requeridos pelas plantas (Garrido et al. 2008).

O esterco é a fonte de matéria orgânica mais lembrada quando se fala em adubos orgânicos, sua composição é muito variada. São bons fornecedores de nutrientes, tendo o fósforo e o potássio rapidamente disponível e o N fica na dependência da facilidade de mineralização dos compostos (Premuzic et al. 2008). Há diferentes maneiras de utilizar o esterco e são as condições e a realidade de cada propriedade, solo e forma de cultivo que irão determinar qual a mais adequada a cada caso (Weingärtner et al., 2006).

Para que o material orgânico adicionado ao solo possa fornecer nutrientes às plantas, é preciso que ele seja decomposto pelos microrganismos do solo, e que os nutrientes retidos em suas estruturas orgânicas sejam liberados (mineralizados). Esse processo de mineralização é influenciado por características do material orgânico e pelas condições ambientais de temperatura, umidade, aeração e acidez (Correia & Andrade, 1999).

2.4 Características químicas dos solos influenciando a produção do arroz

Os solos são descritos por (Chaves et al., 2006) como sistemas dinâmicos e abertos, em constante modificação. Por isto, apresentam ampla variação de propriedades químicas, podendo ser naturalmente férteis ou se tornarem férteis pelo manejo adequado. O conhecimento dessa variabilidade é importante principalmente para a definição do manejo mais adequado a ser utilizado na área.

Os Neossolos Flúvicos, em decorrência de seus processos de formação e ações antrópicas, apresentam elevada variabilidade espacial de suas propriedades químicas. A variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, influencia a eficiência do manejo das culturas e seu desenvolvimento. Além da variabilidade natural do solo, as práticas agrícolas de manejo são fontes adicionais de variabilidade (Souza et al., 1997).

Altos valores de pH e alta concentração de cálcio são características de solos calcários, os quais cobrem grande parte das áreas agrícolas da terra, especialmente em regiões áridas. Tais condições interferem muito nos processos de adsorção e de solubilização de íons responsáveis pela concentração de nutrientes na solução do solo (Chaves et al., 2006). Nesses solos, a precipitação de fósforo e enxofre devido à reação com o Cálcio é uma das principais causas da diminuição da disponibilidade desses nutrientes para as plantas (Moreira et al., 2000).

A inundação de solos cultivados com arroz proporciona maior disponibilidade de muitos nutrientes, como fósforo, potássio, cálcio, silício e ferro. Porém, em solo muito permeável, haverá perda de nutrientes por lixiviação (De Datta, 1981).

2.4.1. Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) afeta a qualidade física, química e biológica do solo e, por este motivo, tem sido utilizada como indicador da qualidade de sistemas de manejo de solo (Nascimento et al., 2009).

A matéria orgânica do solo (MOS) é a principal reserva de nitrogênio (N) do solo para as plantas. O teor de MOS, embora não indique diretamente o conteúdo de N do solo, é utilizado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina como índice de disponibilidade de nitrogênio. Nestes estados, as recomendações de adubação nitrogenada para o arroz irrigado são baseadas nos teores de MOS e na expectativa de produtividade da lavoura.

Para isto, são considerados baixos os teores inferiores a 2,5%, médios entre 2,6 e 5,0 % e

altos os teores acima de 5,0 %. Porém, o teor de matéria orgânica não deveria ser utilizado como único critério para quantificar a dose de N a ser utilizada, devido ao baixo ajuste entre o teor de MOS e a disponibilidade de N para o arroz irrigado, que é influenciada por alterações do N em solo alagado (Boeni et al., 2010; Pocojeski, 2007; Sosbai, 2014).

A produtividade da cultura do arroz pode ser limitada em solos com baixos teores de matéria orgânica, mesmo quando são utilizadas quantidades razoáveis de fertilizantes minerais. A aplicação de resíduos orgânicos pode conferir a esses solos melhoria em seus atributos físicos, químicos e biológicos (SOSBAI, 2014).

Maiores teores de MOS são encontrados em áreas de plantio de exploração mais recente, ou serem devidos à adoção de práticas conservacionistas, rotação de culturas e/ou utilização de plantas de cobertura (Boeni et al., 2010). Diferentes práticas de manejo do solo e das culturas influenciam a taxa de ciclagem e os teores de C orgânico e de N (Cambardella & Elliot, 1994), além da sua manutenção e ou/ melhoria para sustentabilidade do sistema. (Bohnen et al., 2005) citam temperaturas entre 30 e 35 °C, solos com alta fertilidade e pH próximo da neutralidade como as condições que mais favorecem a decomposição da maioria dos resíduos culturais presentes no solo. Sendo que a quantidade e a forma de distribuição dos resíduos culturais, proporcionadas durante o preparo do solo, dependendo dos diferentes sistemas de cultivo de arroz, também devem influenciar o processo de decomposição dos resíduos. O Vale do Apodi tem condições climáticas e de solo favoráveis à decomposição de resíduos vegetais, conforme parâmetros citados por (Bohnen et al., 2005).

Em solos de várzea, o aporte de resíduos contribui de maneira similar para o acúmulo de MOS, mas pouco se conhece sobre o efeito de preparos de solo na dinâmica da MOS em solos com drenagem restrita. Nesses solos, a decomposição da MOS, na ausência de oxigênio, usualmente ocorre em menores taxas do que em solos aerados. As diferenças indicam que, em caso de alagamento do solo, a taxa de decomposição da MOS é reduzida devido ao efeito da anaerobiose na atividade microbiana nestes solos. O excesso hídrico limita a atividade microbiana do solo e contribui para a manutenção de maiores estoques de carbono em frações lábeis da Matéria Orgânica do Solo (Nascimento et al., 2009).

Em levantamento regional dos teores de matéria orgânica do solo em áreas sob Arroz vermelho no Vale do Apodi, RN, Miranda et al. (2012) observaram como média geral um teor de 10,28 g kg⁻¹ de MOS, com Coeficiente de Variação baixo (7,07%). Assim sendo, a região do vale do Apodi apresenta teor de matéria orgânica baixa para o cultivo do arroz. Na mesma região, Diniz Filho et al. (2010) observaram 16,6 g kg⁻¹.

2.4.2 Fósforo (P)

Dentre os macronutrientes, o P é o de menor exigência para a cultura do arroz, porém é o de maior exportação percentual no produto colhido (Fornasieri Filho & Fornasieri, 2006) e o mais deficiente na maioria dos solos brasileiros, devido ao baixo teor natural e a alta capacidade de fixação (Fageria et al., 2002).

A carência de fósforo em solos brasileiros, associada a sua baixa mobilidade e alta afinidade por óxidos de ferro e alumínio tornam o solo um "competidor da planta", o que aumenta a necessidade de sua incorporação em programas de adubação. Esse comportamento está associado à tendência deste elemento de formar compostos estáveis de alta energia de ligação e baixa solubilidade com a fase sólida mineral do solo, notadamente os óxidos de ferro e alumínio, além da ocorrência de precipitação com cálcio em solos com predominância deste elemento (Guilherme et al., 2000).

O estudo da dinâmica do fósforo no solo é necessário em áreas cujo solo está submetido a diferentes práticas culturais, indicando alternativas não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produção de culturas (Trangmar et al., 1985) mas, também, para estimar respostas das propriedades do solo em função de determinadas práticas de manejo (Ovalles & Rey, 1994).

Lira et al. (2012) estudaram a variabilidade regional de teores de fósforo em um Neossolo Flúvico do Vale do Apodi cultivado com arroz vermelho e encontraram, teores altos de fósforo no solo, com média geral de $26,55 \text{ mg dm}^{-3}$ e variabilidade de média para alta. Em geral, a camada de 0,0 a 0,10 m apresentou os maiores teores, mas a maior variabilidade ocorre na camada mais profunda do solo de fósforo. Malavolta et. al. (1997), afirma que teores menores do que 10 mg dm^{-3} são considerados baixos no solos brasileiros.

2.4.3 Potássio (K^+)

Depois do nitrogênio, o potássio é o elemento mais exigido pela cultura do arroz. Este nutriente aumenta a resistência das plantas às doenças, ativa a maturação e favorece a formação dos grãos, tornando-os mais pesados e volumosos, com panículas mais cheias e perfeitas (Barbosa Filho et al., 1992). Outro efeito benéfico do potássio é o incremento da capacidade de transporte do floema, refletindo no maior enchimento do grão com assimilados, como também a resistência ao acamamento, que está relacionada com a espessura da parede

celular e como grau de silificação das células da epiderme (Silva et al., 2002).

A disponibilidade adequada de potássio pode minimizar o efeito negativo de deficiências hídricas, pelo fato do potássio exercer influência na abertura e fechamento dos estômatos nas folhas, mantendo, durante períodos de seca, mais água em seus tecidos em relação às plantas que não receberam potássio. A adubação potássica adequada pode contribuir em até 40% de aumento de produtividade do arroz de sequeiro, cultivado em solos da região dos cerrados, caso outros fatores não sejam limitantes (Barbosa Filho et al., 1992; Silva et al., 2002).

Santos et al. (1999) relatam que, em arroz irrigado, a deficiência de N é quase universal, a deficiência de P é generalizada, e que a deficiência de K é baixa e depende da classe do solo, havendo respostas ao K, principalmente em cultivos intensivos. Em muitos solos, a resposta a adição do fertilizante potássico é pequena e variável no rendimento de grãos. A introdução de cultivares de maior potencial produtivo ocasionou aumento na resposta do arroz irrigado a esse nutriente. Sendo que o comportamento da cultura é afetado diferentemente pelos manejos de K nas distintas formas de manejo de água, o qual apresenta influência mais expressiva sobre as plantas de arroz que a do fertilizante potássico (Santos et al 1999).

Em condições de inundação contínua o K^+ é melhor aproveitado quando aplicado parceladamente, especialmente em várzeas com solos mais arenosos. Segundo (SOSBAI, 2014) em solos arenosos e orgânicos, podem ocorrer maiores perdas de potássio e doses maiores do nutriente podem ser utilizadas. Além disso, o potássio pode se dissolver na água de irrigação e ser transportado para as áreas. O fracionamento evita perdas do nutriente, especialmente no caso de doses elevadas em solos arenosos, sendo aplicada metade da dose no preparo do solo ou semeadura e a outra em cobertura, juntamente com a segunda aplicação de nitrogênio.

Os solos da região produtora de arroz vermelho no Vale do Apodi-RN apresentaram teor médio de $70,05 \text{ mg dm}^{-3}$ de potássio (Lira et al., 2012). Nos estados de RS e SC, os teores de potássio são interpretados em função da capacidade de troca de cátions do solo e os teores críticos são de 45, 60 e 90 mg dm^{-3} para solos com CTC a pH 7,0, maior que 5,0, entre 5,1 e 15,0 e maiores que $15,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente (SOSBAI, 2014). Barberena et al. (2011) observaram teor superior a 66 mg dm^{-3} de K^+ em solo sob arroz irrigado em Roraima,.

2.4.4 Sódio (Na^+)

Segundo Santos (1995), os solos de regiões áridas e semiáridas podem apresentar acúmulo

de sais potencialmente prejudiciais ao crescimento das plantas. Nestes locais, o sódio (Na^+) pode contribuir com 25% ou mais do total de cátions trocáveis e, nestas condições, as plantas cultivadas poderão apresentar problemas de toxidez. Estes sais são decorrentes de processos naturais ou provenientes da atividade humana, através da aplicação de adubos com elevado índice salino e/ou pelo manejo inadequado da irrigação.

A quantidade de sais solúveis e/ou sódio trocável, determinam se os solos afetados por sais são salinos, salino-sódicos ou sódicos. O excesso de Na^+ dificulta a absorção de água do solo pelas plantas, induz à toxicidade de íons específicos (sódio e cloreto, principalmente), causa desequilíbrio nutricional e impede a infiltração de água no solo, provocando redução do crescimento e diminuição na produtividade das culturas (Ayers & Westcot, 1994; Holanda et al., 1997; Amorim et al., 2002; Amorim et al., 2008; Holanda et al., 2010).

A alta concentração de Na^+ no solo pode prejudicar a absorção de outros cátions, como o Ca^{2+} , o Mg^{2+} e o próprio K^+ , pela competição pelos sítios de absorção nas raízes das plantas de arroz. Por isto, o prejuízo da salinidade ao crescimento das plantas pode ocorrer mais em função da competição pela absorção de nutrientes do que devido à alta pressão osmótica.

Dentre os fatores causando a diminuição da produtividade do arroz, o excesso de sódio no solo causa redução a partir do teor de 400 mg dm^{-3} , com perdas que podem ser superiores a 50% para um o teor de Na no solo de 625 mg dm^{-3} (Amaral e Gonçalves, 1993). Enquanto isto, (Amaral et al., 1992) citam que o decréscimo na produção do arroz pode chegar a 12% quando o teor sódio passa de 56 para 318 mg dm^{-3} .

O manejo com lavagem dos sais da zona radicular da cultura e/ou o uso de condicionantes orgânicos (esterco, palha, adubos verdes, etc.) e químicos, como gesso agrícola e resinas pode ser alternativa viável para mitigar os danos causados às plantas (Carmona et al., 2009). O uso de composto orgânico ocasiona melhorias nas características físicas e químicas do solo, reduzindo os riscos de toxidez por sódio (Diniz Filho, 2010). A irrigação do arroz por inundação faz com que os sais sejam diluídos, evitando maiores problemas de toxidez por sódio. Este comportamento pode-se explicar pela facilidade de percolação de sódio no perfil devido, sobretudo, às propriedades do sódio, que apresenta grande raio iônico hidratado, sendo facilmente carregado juntamente com o fluxo de água (Swarowsky et al., 2006).

Os parâmetros que indicam melhor o risco potencial do sódio no solo para as culturas, do que o teor de sódio isoladamente, são o percentual de sódio trocável (PST), que relaciona o sódio com a capacidade de troca de cátions do solo, ou a relação de adsorção de sódio (RAS), que relaciona os teores Na com os cátions cálcio e magnésio estes (Silva et al., 2010a).

Em estudo dos solos da cadeia produtiva do arroz vermelho do vale do Apodi, Souza et al. (2012) não observaram teores de sódio preocupantes, apesar da grande variação constatada no teor de sódio do solo, tanto entre comunidades, áreas na mesma comunidade e entre profundidades na mesma área. Isso demonstra a importância de adotar-se manejo adequado do solo e da água de irrigação. Os teores médios, entre 9,98 e 51,8 mg dm⁻³, encontrados no estudo mostram variação de mais de 400%. Tais valores, segundo (Amaral & Gonçalves, 1993), não causariam redução na produtividade do arroz. Em uma propriedade da mesma região Diniz Filho et al. (2011) encontraram 154,6 mg dm⁻³ de sódio na camada de solo de 0 a 0,2 m, levando à classificação do solo da área como NEOSSOLO FLÚVICO sódico.

2.4.5 Cálcio (Ca²⁺)

O cálcio, macronutriente essencial às culturas, é necessário para fortalecer, manter a integridade e a turgidez das membranas e das paredes celulares, além de promover o crescimento e desenvolvimento normal das raízes é um elemento imóvel nas plantas, não sendo transportado pelo floema. Na parte aérea, a deficiência do nutriente é caracterizada pela redução de crescimento de tecidos meristemáticos, de maneira que as extremidades de folhas novas se tornam deformadas e cloróticas. Em casos extremos, a planta fica atrofiada e o ponto de crescimento morre (De Datta, 1981; Malavolta et al., 1997; Raij, 1991).

Além da função como elemento estrutural constituinte da parede celular, Romero et al. (2003) relatam a atuação importante do cálcio como mensageiro secundário, em resposta a condições de estresse, como na deficiência de oxigênio (alagamento). Segundo os autores, após poucos minutos em condições de anoxia, ocorre uma elevação na concentração de cálcio no citoplasma, de maneira que a maior tolerância à baixa pressão de oxigênio estaria relacionada com o metabolismo de parede celular.

O cálcio, contido no gesso ou em fertilizantes orgânicos, é importante na recuperação de solos salinos sódicos, em conjunto com o magnésio, o CO₂ e ácidos orgânicos liberados durante a decomposição anaeróbica da matéria orgânica em condições de lavagem do solo. A redução da porcentagem de sódio trocável (PST) pode ocorrer devido apenas à lavagem e/ou à presença, no solo, de carbonato de cálcio que libera o cálcio para substituir o sódio o qual é mais fracamente retido no solo em relação ao cálcio, o que facilita o deslocamento do sódio para camadas mais profundas (Gomes et al., 2000).

A importância de se conhecer os teores de cálcio e de magnésio está na necessidade de

aplicá-los ao solo em situação de deficiência (Boeni et al., 2010). A adição de Ca causa diminuição da absorção de Na pelas plantas, tanto em variedades de arroz tolerantes como em suscetíveis à salinidade. O aumento da concentração de Ca aumenta significativamente a sobrevivência das plantas em condições de salinidade (Carmona et al., 2009).

O potássio, o cálcio e o magnésio competem pelos mesmos sítios de ligação no solo, tendo o potássio, entre os três cátions, a menor capacidade de adsorção à fase sólida, por causa da menor força de atração entre potássio e argila do que entre cálcio e argila (Mauad et al., 2004), sendo maior a probabilidade de perdas de potássio por percolação. Os cátions bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) são atraídos com mais força pelas partículas do solo. O excesso de Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} no solo geralmente dificultam a absorção do K^+ (Swarowski et al., 2006).

Em estudo de Souza et al. (2012) sobre os teores de cálcio nos solos da região produtora de arroz vermelho do Vale do Apodi, os teores obtidos foram considerados altos, tendo como média geral $4,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com pequenas diferenças de valores entre as camadas amostradas e baixo coeficiente de variação. Nos estados do RS e SC consideram-se baixos teores de cálcio trocável menores do que $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, médios entre 2,1 e $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e altos se maiores do que $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Boeni et al., 2010).

2.4.6 Manganês (Mn^+)

O manganês (Mn^+) atua em vários processos enzimáticos da planta e na síntese da clorofila, pigmento que confere a cor verde às folhas. A deficiência desse micronutriente e a oxidação excessiva da clorofila causam a substituição da cor verde por um tom esbranquiçado das folhas, diminuição da fotossíntese e da produtividade.

Segundo Loneragan et al. (1988), o Mn não é facilmente redistribuído na planta e os sintomas de deficiência surgem em folhas novas se houver restrição na disponibilidade durante o desenvolvimento da planta, mesmo que as folhas velhas contenham altas concentrações do elemento. A disponibilidade de Mn para as plantas é influenciada pelas características do solo, como à textura e mineralogia, teor de matéria orgânica, umidade, pH, condições de oxirredução e interação entre nutrientes.

De acordo com Sims (1986), a disponibilidade de Mn é diretamente dependente dos teores de Mn trocável, enquanto Shuman (1985) destaca que, além da fração trocável, o Mn ligado à matéria orgânica também é responsável pelo fornecimento do micronutriente às plantas.

O pesquisador McBride (1994) destaca que os complexos orgânicos formados com o Mn

são de pouca estabilidade, visto que o complexo formado com o ácido húmico tem caráter inteiramente eletrostático e os ácidos fúlvicos apresentam limitado número de sítios de complexação específicos para o elemento.

Em estudo de Sampaio et al. (2012), nos solos do Vale do Apodi cultivados com arroz vermelho, os teores de manganês no solo apresentaram-se baixos, com média geral de 1,50 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0 a 20 cm de profundidade, com um CV de 14,93%, indicando média variabilidade.

2.4.7 Zinco (Zn^+)

O Zinco (Zn^+) desempenha funções importantes nas plantas, especialmente como ativador enzimático, sendo requerido para a síntese do aminoácido triptofano, um precursor da biossíntese do ácido indolacético (Malavolta et al., 1997). A deficiência de zinco é reconhecida como problema nutricional mundial para a produção das culturas (Fageria et al., 2000), especialmente as gramíneas, que são exigentes neste nutriente.

O zinco tem grande importância para a cultura do arroz, observando-se sua deficiência em vários solos, principalmente no centro-oeste, sudeste e sul do Brasil. Os sintomas da deficiência são mais evidentes nas partes mais jovens das plantas (Vitti & Serrano, 2007). A deficiência causa redução da taxa de crescimento vegetal, impede a expansão das folhas e o alongamento do caule e restringe o crescimento das raízes (Bergmann, 1992).

Segundo Barbosa Filho et al. (1992), pode ocorrer deficiência de zinco em solos que recebem grandes aplicações de adubo fosfatado ou ricos em fósforo. Eles apontam causas como interação entre zinco e fósforo no solo, diminuição na translocação de zinco das raízes para a parte aérea das plantas, efeito de diluição da concentração de zinco na parte aérea como resposta ao crescimento das plantas promovido pelo fósforo ou distúrbios fisiológicos causados pelo desequilíbrio entre os teores de fósforo e zinco.

A solubilidade do zinco é altamente dependente do pH do solo, sendo que a cada unidade de aumento desse fator, a solubilidade do zinco decresce 100 vezes, e à medida que o pH se eleva acima de 6,0 aumentam a probabilidade da formação de zincato de cálcio e de adsorção nas superfícies dos carbonatos. Além disso, o alto teor de matéria orgânica do solo (MOS) pode causar deficiência de zinco devido à ação quelante sobre íons metálicos, impedindo-os por períodos longos de serem absorvidos pelas plantas.

Segundo Oliveira et al. (2005), a grande frequência de deficiência de zinco em muitas

culturas indica pequena disponibilidade do nutriente nos solos brasileiros. Barbosa Filho et al. (1992), citam o zinco como o micronutriente cuja deficiência mais limita a produção de arroz de sequeiro no Brasil, sendo suficientes pequenas quantidades (35 kg ha^{-1}) para a correção desse elemento no solo, com efeito residual durando mais de 4 anos.

Em termos de nutrição de plantas, verificam-se efeitos benéficos, proporcionados pelas alterações no sistema de irrigação de arroz por inundação, tais como aumento na disponibilidade no solo de fósforo, ferro e manganês e efeitos maléficis como a diminuição da disponibilidade no solo de zinco, cobre, aumento excessivo de Fe^{2+} e formação de H_2S e ácidos orgânicos (Camargo et al., 1999).

Em estudo de Miranda, et al. (2012) determinou-se as variações regionais dos teores de Zinco nos solos do Vale do Apodi, tendo sido encontrados teores de zinco ($0,75 \text{ mg dm}^{-3}$) considerados médios (Malavolta et al., 1997), e CV de 16,19%, indicando variabilidade média. Observou-se também, que em uma das propriedades amostradas os teores de zinco no solo estavam acima do citado como adequado por (Malavolta et al., 1997), que seria acima de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Esse valor é considerado como nível crítico de zinco para arroz de sequeiro, quando o utilizado o extrator Mehlich 1 (Barbosa Filho et al. 1990).

2.5 Produção orgânica do arroz

A agricultura tem fundamental importância no desenvolvimento econômico do Brasil, com uma das maiores áreas agricultáveis do planeta. O Brasil tem potencial para aumentar sua produção sem precisar expandir a fronteira agrícola. Atualmente muitos países encontram dificuldade em produzir alimentos para atender sua demanda interna, enquanto o Brasil tornou-se um dos maiores fornecedores de alimentos do mundo. Entre culturas mais cultivadas no Brasil, destaca-se o arroz, do qual o país é o nono produtor mundial de arroz e um dos maiores exportadores e importadores de arroz do mundo (Anuário, 2011).

A Agricultura Orgânica não é uma ideia recente, pois se considera como orgânica praticamente toda a agricultura realizada com baixa tecnologia, ou por quem não tem acesso a insumos (BRASIL, 2007). Porém, a ideia central desta atividade é ser livre de agrotóxicos. Esse é o grande propulsor do movimento. Agricultura Orgânica inseriu a ideia de evitar uso de venenos e outros valores, como o equilíbrio ambiental, o respeito aos trabalhadores, o ato de evitar adubos de alta solubilidade e o aumento da qualidade do produto (BRASIL, 2015).

No sistema de produção orgânico de arroz recomenda-se que a semeadura obedeça as

épocas definidas para cada região de cultivo, evitando-se semeaduras muito precoces ou tardias em que a cultura seja submetida a possíveis condições ambientais desfavoráveis. Os períodos favoráveis para a semeadura de arroz irrigado são encontrados nas publicações que resumem as recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2014).

2.6 Necessidade hídrica do arroz e irrigação da cultura

O desenvolvimento agrícola depende da disponibilidade de água e principalmente de seu uso adequado, já que a utilização da água para a irrigação e o abastecimento rural é um desafio relevante para as áreas com escassez desse recurso, como as regiões áridas e semiáridas, onde as pressões sobre os recursos hídricos são bem maiores. Nesse sentido, muitos estudos são realizados sobre administração de bacias hidrográficas locais, como é posto na legislação ambiental sobre o uso da água e do solo (Bernardi, 2003).

O uso eficiente de águas no cultivo do arroz no Brasil deve ser incentivado, pois, é uma atividade que pode reforçar a produtividade agrícola em regiões áridas e semiáridas.

O incentivo ao uso de sistemas de irrigação de alta eficiência vem sendo a preocupação da comunidade científica dos países emergentes e a irrigação localizada é um desafio em adequar arranjos para viabilizar a cultura do arroz. Esse método é bastante eficiente, pois fornece a água diretamente às raízes das plantas, evitando maiores perdas por evapotranspiração; quando bem manejado traz diversas vantagens que proporcionam o uso sustentável de recursos hídricos (Bernardi, 2003). O manejo adequado da irrigação procura evitar o desperdício desse precioso líquido e fomentar seu controle. Isso implica na mínima presença de águas livres, adequada construção e manutenção de canais, drenagem eficaz e a distribuição econômica (Ayers & Westcot, 1994).

O volume de água requerido pelo arroz irrigado por inundação inclui, além daquele necessário para que as plantas cresçam e transpirem um volume adicional, que é perdido por evaporação, percolação, fluxo lateral e, ocasionalmente, por transbordamento sobre as taipas. Embora essas perdas possam ser minimizadas pela otimização do manejo da água para a cultura, não podem ser eliminadas, devendo, portanto, ser consideradas no somatório do volume de água requerido para a irrigação do arroz (Mattos & Martins 2009).

Para suprir a necessidade de água do arroz, estima-se que venha sendo utilizado, atualmente, um volume de água médio de 8 a 10 mil $m^3 ha^{-1}$ (vazão de 1,0 a 1,4 $L s^{-1} ha^{-1}$), para um período médio de irrigação de 80 a 100 dias. Solos com textura mais leve e com

maior gradiente de declividade normalmente requerem maior quantidade de água. Da mesma forma, a demanda hídrica é maior em anos com temperaturas elevadas e umidade relativa do ar baixa ou com baixa precipitação (Mattos & Martins 2009).

Em síntese, a necessidade de água do arroz irrigado por inundação do solo é alta, variando, porém, com as condições climáticas, atributos do solo, manejo da cultura e a duração do ciclo da cultivar de arroz. Também as dimensões e revestimento dos canais, localização da fonte de captação e a profundidade do lençol freático influenciam no volume de água requerido pela cultura (Mattos & Martins 2009).

O uso mais eficiente das águas pode ser obtido por meio de irrigação localizada, a qual apresenta maior exigência em mão de obra especializada para o manejo da irrigação. Sua adoção pode levar à minimização da poluição dos mananciais, estímulo ao uso racional das águas de boa qualidade, menor risco de erosão do solo e de desertificação, economia de fertilizantes e aumento da produtividade agrícola possibilitando maior produção de alimentos e a maximização do uso da infraestrutura de abastecimento de água (Bernardi, 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido entre Março e Julho de 2015, na fazenda escola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN (Figura 1). Ele se situa no município de Ipanguaçu, nas coordenadas geográficas 5° 32' 10" S, 36° 52' 23" W, com altitude média de 22 m. O clima da região é do tipo BSw^h de Köppen, ou seja, quente e seco, com precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 623,3 mm, temperatura média anual de 27,9°C e umidade relativa do ar média de 70% (Oliveira, 1988).

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN – Ipanguaçu, tem desenvolvido pesquisas voltadas para práticas Agroecológicas, com foco na fruticultura (*Cocos nucifera* - coco, *Mangifera indica* - manga, *Musa* spp. - banana, *Psidium guajava* - goiaba) e horticultura (*Daucus carota* - cenoura, *Beta vulgaris esculenta* - beterraba, *Coriandrum sativum* - coentro). Além de culturas como batata doce, macaxeira e abobora. Na pecuária trabalha-se com bovinos de leite, ovinos para corte, sendo manejados com capineira rotacionada usando *Cynodon* spp. Utilizando-se irrigação no período de sequeiro planta-se sorgo para a produção de silagem.



Figura 1- Foto Aérea do Campus dos IFRN em Ipanguaçu-RN.

3.2 Caracterização do solo e propriedades químicas e físicas

O solo da área experimental é classificado como NEOSSOLO FLÚVICO, textura franco arenosa (Santos, et al., 2013), com 9% de argila, 26% de silte, 9% de areia grossa e 56% de

areia fina. As principais características químicas são: pH em água = 8,1; P = 76,2 mg dm⁻³; K = 46,63 mg dm⁻³; Ca = 3,3 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,70 cmol_c dm⁻³; H + Al = 0,50 cmol_c dm⁻³; MO = 10,7 g kg⁻¹.

3.3 Instalação do experimento

3.3.1 Preparo do solo

Para instalação do experimento a área a ser estudada foi roçada por roçadeira acoplada a um trator Agrale modelo 4230.4 (Figura 2) com o objetivo de diminuir o material vegetal presente na área. Coletaram-se amostras de solo ao longo da área a ser estudada com o objetivo de avaliar a fertilidade do solo, retirando-se 15 amostras simples na profundidade de 0,20 m para formar amostra composta, cujos resultados estão na Tabela 1.



Figura 2. Trator roçando e coleta do solo na área do experimento com arroz vermelho no IFRN. Ipanguaçu, 2015.

Tabela 1. Análise do solo e do esterco usado no ensaio de arroz vermelho. Ipanguaçu, 2105.

	pH	CE	Mat.Org	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	CTC	V	PST
	(água)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					%	
Solo	6,8	-	14,24	92,6	380,1	116	6,3	2,45	10,22	10,23	11,13	91,5	4,5
Esterco	7,95	-	9,36	31,7	339,6	230,3	8	2,7	12,57	12,57	12,57	100	8

3.3.2 Adubação de fundação

A adubação de fundação foi realizada com uma mistura de esterco Ovino e Caprino, adicionando-se de forma uniforme ao longo da área de modo permitir uma cobertura no solo equivalente a 5 toneladas de esterco ha⁻¹, com o auxílio de uma adubadora Kohler DC 7500

acoplada a um trator Agrale modelo 4230.4 (Figura 4). Após esta prática o solo foi deixado em descanso por 60 dias, nesse período a área recebeu irrigação e precipitação pluviométrica, tendo surgido plantas espontâneas que, antes da floração, foram incorporadas ao solo com grade niveladora até profundidade de 0,20 m.



Figura 3. Adubadora utilizada para aplicação de esterco na área do experimento com arroz vermelho no IFRN. Ipanguaçu, 2015.

3.3.3 Instalação do sistema de irrigação

O sistema de irrigação localizada era composto de tubos de 50 mm na linha principal, com saídas de água a cada 0,60 m, para conexão das mangueiras gotejadoras, uma para duas fileiras de plantas, nas quais os emissores estavam espaçados a cada 0,30 m, (Figuras 5 e 6). O teste de uniformidade da irrigação mostrou uma vazão média em cada emissor de $1,7 \text{ L h}^{-1}$.



Figura 4. Linha principal do sistema de irrigação e mangueiras de distribuição na área do experimento com arroz vermelho no IFRN. Ipanguaçu, 2015.

3.4 Delineamento experimental

O experimento seguiu o delineamento em blocos casualizados com 5 repetições. Os tratamentos utilizados neste estudo constaram do número de plantas por cova (1, 3, 5, 7 e 9). As parcelas experimentais, constando dos diferentes números de plantas por cova (Figura 5), eram constituídas de 12 linhas de 10 covas cada uma, com dimensões de 3,6 x 3,0 m.

BLOCO I	BLOCO II	BLOCO III	BLOCO IV	BLOCO V
7 plantas	5 plantas	9 plantas	9 plantas	7 plantas
3 plantas	1 planta	3 plantas	5 plantas	1 planta
1 planta	3 plantas	1 planta	7 plantas	9 plantas
9 plantas	9 plantas	7 plantas	3 plantas	3 plantas
5 plantas	7 plantas	5 plantas	1 planta	5 plantas

Figura 5 - Croqui da área experimental no delineamento em blocos casualizados onde se testou diferentes densidades de plantio de arroz vermelho.

3.5 Cultura estudada

A variedade de arroz vermelho utilizada no estudo foi a BRS 901 com ciclo biológico médio, nas condições do Nordeste brasileiro, de 124 dias contados a partir da semeadura, ou seja, cerca de 15 e 21 dias mais tardio do que os das cultivares. Apesar de mais tardia, a BRS 901 se destaca pela menor altura em relação Vermelho Tradicional e Cáqui Vermelho e, conseqüentemente, por apresentar maior resistência ao acamamento. Essa cultivar possui a vantagem de germinar naturalmente em um espaço de tempo variando de 10 a 20 dias mais cedo quando comparada com as variedades citadas.

3.6 Condução do experimento, irrigação, tratos culturais

O plantio foi realizado no dia 8 de março de 2015 e, aos 15 dias após da germinação, realizou-se o desbaste deixando nas covas as plantas referentes a cada tratamento.

A segunda adubação foi realizada 30 dias após a semeadura, utilizando-se esterco ovino e caprino. Adicionou-se 1 L m² de esterco com a umidade de 19%; aos 50 dias aplicou-se biofertilizante a base de esterco fresco bovino + capim elefante moído + colostro de vaca sendo distribuído 6 litros do biofertilizante em toda área; aos 55 e 60 dias foram adicionados uma adubação com esterco bovino não curtido usando 1,5 L m² com 38% de umidade.

A irrigação foi diária, manejada de maneira a repor a evapotranspiração da cultura estimada para cada fase de desenvolvimento da planta a partir da evapotranspiração de

referência (Eto) pelo método de Penman-Monteith e coeficiente de cultura (Kc)

As ervas daninhas foram controladas por meio de capinas. O controle da lagarta das folhas (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado aos 35 dias da sementeira, quando foi aplicado via foliar uma solução em água com 0,5% de urina de vaca, 10% de extrato de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss). Aos 42 dias aplicou-se foi aplicada via fertirrigação 10 litros de solução com 1% de urina de vaca e 15% de extrato de Nim.

3.7 Avaliação dos tratamentos

Aos 50 dias após plantio avaliou-se o número de perfilhos, tendo sido selecionados 4 covas (touceiras) na área útil de cada parcela o que corresponde a 0,09 m². A colheita se deu aos 120 dias, sendo avaliada a cultura na área útil de 2,7 m² que corresponde a 30 covas da parcela.

As variáveis avaliadas por ocasião da colheita foram: número de perfilhos por touceira (PERF); altura de planta (ALT); número de panículas (PAN) por m²; massa média das panículas (MPAN); número de grãos cheios (GCHE); percentagem de grãos vazios (PERC), obtida por relação entre o número de grãos vazios e o número total de grãos cheios e vazios; massa de 100 grãos (MCEM) e produtividade (PROD), de acordo com Pinheiro et al. (2009).

3.8 Análises estatísticas

As análises estatísticas constaram de procedimentos de estatística descritiva, incluindo média, valores mínimos e máximos e coeficiente de variação; teste de Shapiro-Wilk para testar o ajuste dos dados à distribuição normal, tendo sido usada a transformação logarítmica no caso da variável não ajustada.

Análise da significância do efeito do número de plantas por cova foi realizada por meio do procedimento Modelos Lineares generalizados; a comparação de médias pelo Teste de Duncan ($\alpha = 0,05$); a análise de correlação por meio do coeficiente de correlação de Pearson; na análise de regressão a escolha do modelo de melhor ajuste foi feita por meio do coeficiente de determinação e significância dos parâmetros da equação. O modelo utilizado foi $Y = a + bx + cx^2$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior coeficiente de variação foi da produtividade do arroz vermelho, com 48 % (Tabela 2), havendo CV baixo, para altura de plantas, percentagem de grãos vazios e massa de cem grãos e as outras variáveis obtendo CV entre 14 e 25 %. Com exceção de percentagem de grãos vazios, as variáveis se ajustaram à distribuição normal.

Tabela 2. Estatística descritiva de número de perfilhos por touceira (PERF), altura de plantas (ALT), número de panículas por m² (PAN), massa por panícula (MPAN), número de grãos cheios por panícula (GCH), percentagem de grãos vazios (PERC), massa de cem grãos (MCEM) e produtividade (PROD) de arroz vermelho sob diferentes densidade de plantio.

	PERF	ALT	PAN	MPAN	GCH	PERC ¹	MCEM	PROD
	Nº	cm	Nº	G	Nº	%	G	t ha ⁻¹
Média	20,85	90,28	201	3,1	113,6	2,64	2,45	4,89
Mínimo	12,00	72,80	113	1,7	75,9	2,27	2,05	0,59
Máximo	33,25	109,5	303	4,2	153,3	3,41	2,79	10,19
CV (%)	25,45	9,02	20,03	17,91	14,59	9,86	7,11	40,28
W	0,97	0,95	0,98	0,94	0,95	0,91	0,93	0,95
Pr<W	0,60	0,25	0,95	0,16	0,28	0,07	0,13	0,34

¹Dados transformados (ln x). CV = Coeficiente de variação; W = valor do teste de Shapiro-Wilk; Pr<W = nível de significância do teste de Shapiro-Wilk.

A cultura apresentou média de 21 perfilhos por touceira (Tabela 2). O maior número de perfilhos correspondeu a três plantas por cova, 12 % maior do que uma planta, que apresentou 21 % mais perfilhos do que nove plantas por cova. França et al. (2008) indicam como ideal dois a seis perfilhos por planta de arroz. Segundo Pereira (2004), a alta capacidade de perfilhamento de genótipos de arroz vermelho é vantajosa em caso de déficit hídrico, porém o perfilhamento excessivo causa aumento dos inviáveis.

A capacidade de perfilhamento depende de: cultivar, densidade de semeadura, temperatura do solo, disponibilidade de nitrogênio e altura da lâmina de água de irrigação, dentre outros fatores. Como exemplo, Franca et al. (2008) observou 120% mais perfilhos na cultivar IAC-4440 do que a variedade crioula Comum Branco, em condições nutricionais ótimas, mas em condições de campo, grande parte destes perfilhos se tornaram inviáveis ou inférteis. O número de perfilhos tende a aumentar quando existe maior quantidade de água disponível para a planta, como foi confirmando nos estudos de Rodrigues (1998).

A altura média das plantas foi de 90 cm (Tabela 2) com valores semelhantes entre números de plantas por cova. Nascente et al. (2011) realizaram estudo com cultivares que apresentaram altura média variando entre 93 e 119 cm. Enquanto que Pereira & Morais (2014), baseado em

ensaios realizados em cinco locais do nordeste brasileiro, tomam as médias de altura das variedades de arroz vermelho MNA 0902 (87 cm) e Vermelho Tradicional (135 cm), como exemplo de relação inversa entre produtividade e altura de planta. Salientando que a segunda, com arquitetura de planta tradicional apresentou maior suscetibilidade ao acamamento. Devido à correlação positiva entre altura de plantas com acamamento, é preferível que as variedades não ultrapassem 100 cm (Castro et al., 1999). Ocorrendo acamamento os vasculares transversais diminuem, reduzindo a circulação de fotoassimilados e dos nutrientes absorvidos, com conseqüente redução da produtividade do arroz (Guimarães et al. 2002).

As diferenças em altura de plantas entre grupos de variedades de arroz branco e vermelho foram observadas por Pereira et al. (2009). As variedades de arroz branco mediram 97 cm, em média, e as de arroz vermelho, 129 cm. Foram consideradas baixas variedades com altura média de 79 a 89 cm, próxima à obtida no presente trabalho, e altas as variedades com 124 a 184 cm. De forma semelhante, Moreira et al. (2011) observou que a variedade Vermelho Pequeno apresenta porte semelhante (99 cm) às de arroz branco, enquanto a Vermelho Grande apresentou plantas de porte alto (145 cm), típico do arroz vermelho espontâneo, considerado planta daninha. As variedades Vermelho Pequeno e Vermelho Virgínia apresentaram alturas de 71 e 123 cm, respectivamente em ensaio de Segatto et al. (2007).

O número de panículas teve média de 201 por m² (Tabela 2), com o maior valor (240) para sete plantas por cova, 26% maior do que uma planta por cova. Como o número de perfilhos influencia a quantidade e massa de panículas (Silva et al., 2010b), o maior número de panículas é reflexo do maior número de perfilhos e pode aumentar a produtividade.

Enquanto isso, a massa por panícula teve média de 3,1 g, com maior valor para uma planta por cova, 47% maior do que nove plantas, que apresentou o menor valor. A alta capacidade de perfilhamento da cultivar Vermelho Pequeno (262 panículas m²) justificou sua maior produtividade em relação à Vermelho Grande (201 panículas m²), segundo Moreira et al. (2011); enquanto que Segatto et al. (2007) obtiveram 261 panículas m² para a cultivar Vermelho Pequeno e 208 para Vermelho Virgínia. Como contraste, Costa et al. (2000) obtiveram 395 panículas por m² em variedades de arroz branco de ciclo curto.

O número de grãos cheios por panícula apresentou média de 113,6 (Tabela 2), sendo que uma planta por cova apresentou o maior valor, 41% maior do que nove plantas. Esses resultados podem explicar a produção obtida no presente trabalho, apesar da baixa densidade de semeadura, pois os valores foram superiores aos obtidos por Diniz Filho et al. (2011), quando aplicaram 30 t ha⁻¹ de composto, que foram de 52 grãos cheios para a cultivar Santana

dos Garrotes e 46 grãos para uma cultivar local. Enquanto isso, Moreira et al. (2011) obtiveram 97,2 grãos cheios para a cultivar Vermelho Pequeno e 54,4 para a Vermelho Grande, e Segatto et al. (2007) obtiveram 84 grãos cheios com a cultivar Vermelho Pequeno e 102 com a Vermelho Virgínia. A variação de valores de grãos cheios por panícula obtida por Fonseca et al. (2007) em ensaio com várias cultivares de arroz vermelho foi entre 49 e 233.

A percentagem de grãos vazios, antes da transformação dos dados, apresentou média de 14,6%, com o maior valor para nove plantas por cova, 17% maior do que para uma planta. Os valores obtidos no presente trabalho são compatíveis com os obtidos por Moreira et al. (2011) que foi de 9,6% para Vermelho Pequeno e 15,5% para Vermelho Grande; enquanto que Segatto et al. (2007) obtiveram 6,5% com Vermelho Pequeno e 9,3% com Vermelho Virgínia.

A média da massa de cem grãos foi 2,45 g (Tabela 2). A maior MCEM foi obtida com três plantas por cova. Usar uma planta por cova proporcionou MCEM 9% maior do que para nove plantas, que apresentou a menor massa. Segundo Costa et al. (2000) o valor mais adequado de massa de 100 grão de arroz está próximo a 2,5g. Enquanto que Fonseca et al. (2007) observaram variação da massa de cem grãos entre 1,65 e 3,50 g, quando avaliaram diversas cultivares de arroz vermelho. Segundo Fonseca et al. (2004) essa característica é influenciada pelo estresse hídrico e disponibilidade de nitrogênio, sendo intermediários valores de 2,38 g e muito altos valores de 4,02 g. A massa de cem grãos de arroz vermelho obtida por Diniz Filho et al. (2011) variou entre 2,01 e 2,75 g, enquanto que Moreira et al. (2011) obtiveram 2,22 g para a variedade Vermelho Pequeno e 3,08 g para a Vermelho Grande.

A produtividade média do arroz vermelho foi de 4,9 t ha⁻¹, sendo que o uso de uma planta por cova resultou na segunda maior produtividade (5,56 t ha⁻¹), 103% maior do que para nove plantas, que obteve o menor valor, enquanto que a maior produtividade (5,82 t ha⁻¹) foi obtida com sete plantas por cova. Em estudos de Pereira (2014) anteriores ao lançamento da variedade BRS 901, a produtividade média foi de 5,65 t ha⁻¹, no município de Apodí e de 7,90 t ha⁻¹ no estado do Piauí de. Os menores valores encontrados neste experimento podem ser atribuídos a condições experimentais diferentes e ao clima, devendo-se salientar que, entre as parcelas, obteve-se produtividade superior a 10 t ha⁻¹, considerada alta.

Os resultados aqui apresentados foram superiores aos obtidos por Fonseca et al. (2007), que em seu trabalho indicaram como mais produtivos os genótipos de arroz vermelho YIN LU 30 e YIN LU 31, com 3,89 e 3,85 t ha⁻¹, respectivamente. Enquanto que Diniz Filho et al. (2011) obtiveram produtividade entre 2,87 t ha⁻¹, com variedade “local“ e 4,99 t ha⁻¹ com a variedade Santana dos Garrotes. Os resultados obtidos por Nunes (2008), que usou a

variedade de arroz vermelho Morada Nova, diferiram entre as duas propriedades avaliadas, com 4,59 t ha⁻¹ em uma delas e 7,43 t ha⁻¹, na outra.

Comparando o potencial produtivo de grupos de variedades de arroz vermelho e de arroz branco, Pereira et al. (2009) obtiveram média de 10,85 t ha⁻¹ do grupo de arroz branco e 8,57 t ha⁻¹ do grupo de arroz vermelho e salientaram que as variedades de arroz vermelho ‘MNA PB 0405’ e ‘MNA CE 0501’ apresentaram produtividade superior a 10 t ha⁻¹.

A produtividade do arroz vermelho no presente trabalho apresentou alta correlação (Tabela 3) com a altura das plantas (86%), indicando que as plantas mais altas obtiveram as maiores produtividades. Nesse sentido, Toeschler et al. (1997) relacionaram a diminuição na altura das plantas com a redução em produtividade do arroz sob deficiência hídrica. Em geral, o melhoramento para aumento da produtividade de grãos do arroz procura reduzir a altura da planta, de forma que a menor produção de massa seca na parte aérea favoreça a produção de grãos (Pereira et al., 2007). Além disso, reduzir a altura acarreta menos prejuízos por acamamento das plantas (Fonseca et al., 2004). Apesar disso, Streck et al. (2008) afirmam que a maior estatura confere às plantas maior capacidade de competir por radiação solar.

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre massa de cem grãos (MCEM – g) e produtividade (PROD - t ha⁻¹) de arroz vermelho e número de perfilhos por touceira (PERF), altura de plantas (ALT – cm), número de panículas por área (PAN), massa por panícula (MPAN – g), número de grãos cheios por panícula (GCH) e percentagem de grãos vazios (PERC - %).

	PERF	ALT	PAN	MPAN	GCH	PERC ¹	MCEM	PROD
PROD	0,25 ^{ns}	0,86 ^{**}	0,56 ^{**}	0,78 ^{**}	0,64 ^{**}	-0,37 ^{ns}	0,80 ^{**}	1,00 ^{**}
MCEM	0,46 [*]	0,63 ^{**}	0,44 [*]	0,69 ^{**}	0,51 ^{**}	-0,54 ^{**}	1,00 ^{**}	0,80 ^{**}

¹dados transformados (ln x); **significativo (p<0,01); *significativos (p<0,05); ^{ns}não significativo.

Entre as variáveis influenciando a produtividade (Tabela 3), a massa de cem grãos apresentou alta correlação (80%), sendo a principal responsável pela produtividade obtida no trabalho. Isso também foi observado por Menezes et al (2012) com o genótipo Vermelho Pequeno. Baseado nas correlações, a massa média das panículas (78%), o número de grãos cheios (64%) e o número de panículas por área influenciaram muito a produtividade. Nesse sentido, Guimarães et al. (2008), estudando vários cultivares e tipos de arroz, atribuíram o aumento na produtividade ao aumento da massa de 100 grãos e redução da esterilidade de espiguetas. Os principais componentes da produtividade do arroz foram número de espiguetas por panícula e fertilidade das espiguetas (Toeschler et al., 1997) ou número de panículas por área (Freitas et al., 2007; Nunes, 2008). O número de panículas e de grãos por panícula

explicaram ao redor de 74 % da produtividade de arroz, segundo Brancher et al. (1998).

A massa de cem grãos (Tabela 3) também tem boa correlação com a altura (63%) e apresenta boa correlação positiva com a massa média das panículas (69%) e com o número de grãos cheios (51%); existindo influência moderada do número de perfilhos por touceira (46%) e do número de panículas por área (44%). A percentagem de grãos vazios apresentou correlação negativa destacada (-54%) com a massa de cem grãos.

O efeito do número de plantas por cova foi significativo (Tabela 4) para MPAN e GCH ($p < 0,01$) e PERC ($p < 0,05$). A massa de cem grãos, em vista do CV obtido, realmente não foi influenciada pelos tratamentos. Em relação à produtividade, o CV obtido e a ocorrência de parcelas perdidas podem ter contribuído para não se detectar efeito significativo da densidade.

Além do menor gasto com sementes, os resultados do efeito do número de plantas por cova sobre as variáveis ajudam a indicar uma planta por cova como densidade mais adequada nas condições do trabalho. Entre as outras densidades, uma planta por cova proporcionou maior números de grãos cheios e maior massa por panícula; três plantas por cova proporcionou a menor percentagem de grãos vazios, maior massa de cem grãos e produtividade semelhante às outras densidades; cinco e sete plantas por cova apresentaram resultados intermediários de todas as variáveis, apesar de que sete plantas por cova apresentou a maior produtividade. A menor produtividade foi obtida com nove plantas por cova que apresentou, em geral, os piores resultados dos principais componentes de produção.

Tabela 4. Efeitos do número de plantas por cova sobre número de perfilhos por touceira (PERF), altura de plantas (ALT), número de panículas por parcela (PAN), massa por panícula (MPAN), número de grãos cheios por panícula (GCH), percentagem de grãos vazios (PERC), massa de cem grãos (MCEM) e produtividade (PROD) de arroz vermelho sob irrigação localizada e manejo orgânico.

	PERF	ALT	PAN	MPAN	GCH	PERC ¹	MCEM	PROD
	Nº	Cm	Nº	G	Nº	%	g	t ha ⁻¹
GLres	16	15	16	16	16	11	13	13
F	0,86 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,75 ^{ns}	5,33 ^{**}	6,79 ^{**}	4,00 [*]	1,44 ^{ns}	1,61 ^{ns}
Média	20,85	90,28	201	3,1	113,6	2,64	2,45	4,89
CV	26,69	8,80	18,63	13,37	10,60	6,85	6,94	37,41

GLres = graus de liberdade do resíduo; F = valor do teste F; Pr > F = nível de significância do teste F; CV = coeficiente de variação (%). ¹dados transformados (ln x); **significativo ($p < 0,01$); *significativo ($p < 0,05$); ^{ns}não significativo.

Neste contexto, usando-se uma planta por cova resulta em população de 11 plantas m⁻², muito inferior ao indicado em SOSBAI (2014), onde no sistema de transplante, com arranjo

mais próximo ao que se pretende no sistema de irrigação localizada, a população recomendada é de, no mínimo, 80 plantas m⁻².

Observa-se na Tabela 5 que, além das variáveis que receberam efeito significativo do número de plantas por cova, o número de panículas por parcela, a massa de cem grãos e produtividade apresentaram diferenças entre médias significativas pelo teste de Duncan.

Tabela 5. Comparação de médias de componentes do número de panículas por parcela (PAN), massa média de panículas (MPAN), número de grãos cheios (GCHE) e de grãos vazios em dez panículas (GRVAZ), percentagem de grãos vazios (PERC), massa de cem grãos (MCEM) e produtividade (PROD) de arroz vermelho sob irrigação localizada e manejo orgânico.

	PAN	MPAN	GCHE	GVAZ	PERC ¹	MCEM	PROD
NP	(Nº)	(g)	(Nº)	(Nº)	(%)	(g)	(t ha ⁻¹)
1	506,6 ab	35,63 a	1306,4 a	193,6 a	2,74 ab	2,46 ab	5,56 ab
3	531,0 ab	30,83 a	1158,0 ab	139,2 b	2,41 c	2,54 a	5,56 ab
5	483,0 b	30,43 a	1089,6 b	155,0 b	2,64 abc	2,47 ab	4,48 ab
7	638,6 a	33,33 a	1196,4 ab	147,0 b	2,50 bc	2,49 ab	5,82 a
9	547,6 ab	24,25 b	927,8 c	153,4 b	2,90 a	2,26 b	2,74 b

¹Dados transformados (log x). Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($\alpha = 0,05$). NP = número de plantas por cova.

Adotando-se como critérios o coeficiente de determinação e o nível de significância dos parâmetros das equações, elaboraram-se equações de regressão (Tabela 6). A variável produtividade apresentou nível de significância pouco acima (0,06) do considerado significativo e coeficiente de determinação baixo, mas aponta a tendência de efeito linear negativo da densidade de plantio, o que pode corroborar o uso de apenas uma planta por cova.

Tabela 6. Parâmetros das equações de regressão de número de perfilhos por touceira (PERF), massa por panícula (MPAN - g), número de grãos cheios por panícula (GCH), percentagem de grãos vazios (PERC), massa de cem grãos (MCEM - g) e produtividade (PROD - t ha⁻¹) de arroz vermelho sob irrigação localizada e manejo orgânico.

	A	B	c	R ²	Valor de F
PROD	1,58**	-0,060 ^{ns}	-	0,18	3,83 ^{ns}
MCEM	2,37**	0,072 ^{ns}	-0,009 ^{ns}	0,25	2,86 ^{ns}
PERF	20,25**	2,030 ^{ns}	-0,270 ^{ns}	0,26	2,93 ^{ns}
MPAN	35,81**	-1,136**	-	0,32	8,59**
GCH	1329,69**	-41,190**	-	0,43	13,85**
PERC ¹	2,90**	-0,200**	0,020**	0,51	7,80**

a, b e c são parâmetros do modelo $y = a + bx + cx^2$; ¹Dados transformados (ln x). R² = coeficiente de determinação; Prob>F = nível de significância do teste F. **significativo (p<0,01); *significativo (p<0,05); ^{ns}não significativo.

As variáveis, massa média de panículas e número de grãos cheios também receberam efeito linear negativo, sendo que este efeito foi altamente significativo. Desta maneira, se for considerada a influência dessas variáveis sobre a produtividade do arroz vermelho, a opção pelo uso de uma planta por cova fica evidente. As variáveis MCEM, PERF e PERC apresentaram efeito quadrático do número de plantas por cova; entre elas, apenas a porcentagem de grãos vazios apresentou um nível alto de significância.

A variável GCH (Figura 6A) pode representar melhor o efeito linear negativo do número de plantas por cova devido ao maior coeficiente de determinação, pois foram escolhidas panículas entre as colhidas em cada parcela, resultando em baixo coeficiente de variação, enquanto que a determinação de PROD foi prejudicada por eventuais falhas nas parcelas, as quais respondem pelo CV mais alto. A variável massa média de panículas também dá boa indicação do mesmo efeito, tendo apresentado efeito negativo mais acentuado do número de plantas por cova. A reta obtida para massa média de panículas (Figura 6B) apresentou declividade mais acentuada do que as obtidas para GCHE e PROD.

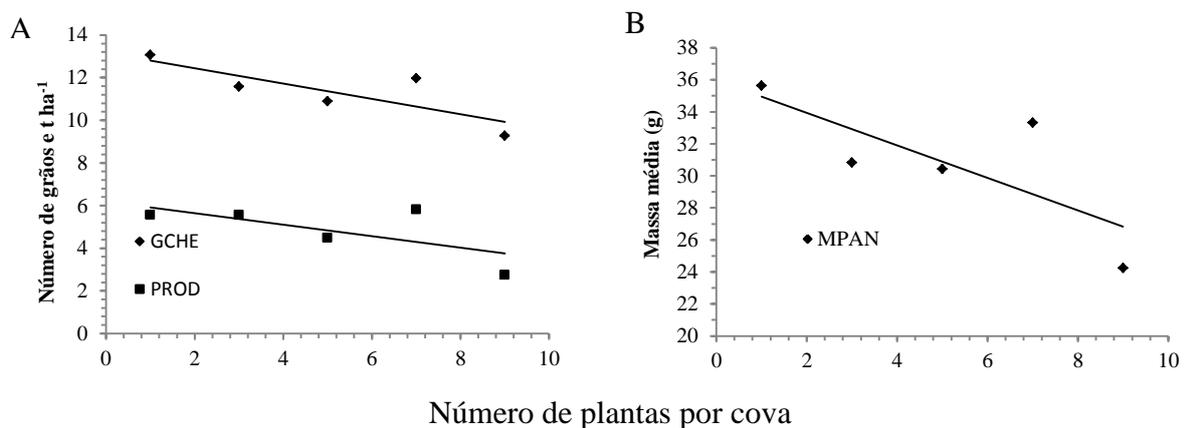


Figura 6. Regressões em função do número de plantas por cova, em (A) de produtividade de arroz vermelho (PROD - t ha⁻¹) e em (B) de massa média de panículas (MPAN – g) e número de grãos cheios (GCHE), que foi dividido por cem para melhor visualização da figura.

Em relação ao comportamento das variáveis que receberam efeito quadrático do número de plantas por cova, observa-se que o número máximo de perfilhos (Figura 7A) corresponde a 4,5 plantas por cova, enquanto que o ponto de máximo da massa de cem grãos (Figura 7B) ocorreu com quatro sementes por cova e a mínima porcentagem de grãos vazios corresponde a cinco plantas por cova. Diante do comportamento quadrático destas variáveis em função do número de plantas por cova, as variáveis que explicam a diminuição linear da produtividade do arroz vermelho são o número de grãos cheios por panícula e a massa média das panículas.

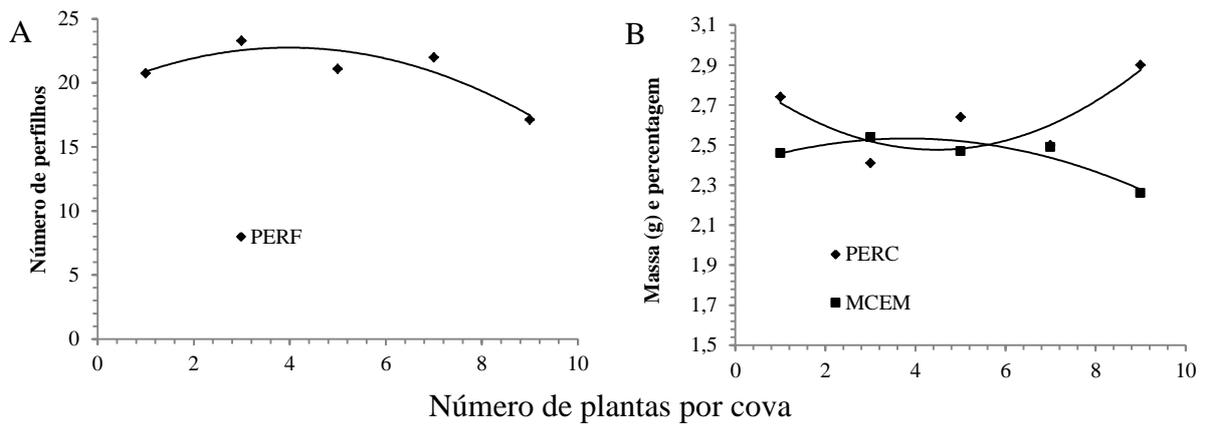


Figura 7. Regressões em (A) de número de perfilhos por touceira (PERF) e em (B) de percentagem de grãos vazios (PERC - %) e massa de cem grãos (MCEM - g) de arroz vermelho em função do número de plantas por cova.

A viabilidade da cultura do arroz vermelho pode ser estabelecida pela produtividade alcançada, cuja média foi de $4,89 \text{ t ha}^{-1}$, mas alcançou até $5,80 \text{ t ha}^{-1}$ em um dos tratamentos, enquanto a média nacional para arroz branco foi estimada em $5,17 \text{ t ha}^{-1}$, segundo (IBGE, 2014). O outro aspecto é o gasto de água, que foi ao redor de $7200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, para um período de irrigação de 120 dias, enquanto que Toescher et al. (1997) e SOSBAI (2014) relatam utilização de 10000 a $15000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ na irrigação por inundação contínua. Os dados de produtividade também indicam que a adubação orgânica empregada foi adequada. Nesse sentido, verifica-se serem necessários mais estudos sobre fontes e doses de adubos orgânicos, o consumo de água do arroz vermelho e configurações da irrigação localizada, de forma que se possa manejar mais adequadamente a cultura.

5 CONCLUSÕES

A cultura do arroz vermelho mostrou-se tecnicamente viável para plantio sob irrigação localizada e manejo orgânico na várzea do Rio Assú, em Ipanguaçu-RN.

A densidade de uma planta por cova foi a mais adequada para a configuração de plantio utilizada, irrigação localizada e manejo orgânico do arroz vermelho.

Verificou-se que com irrigação localizada é possível ser trabalhado um novo arranjo para produção do arroz vermelho visando à economia de água.

6. REFERÊNCIAS

- 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>>. Acesso em: 23 jun. 2014.
- Amaral, A. dos S; Gonçalves, A. R, Gardellino, R. A. Produção de arroz em função do teor de sódio no solo. *Lavoura Arrozeira*, v. 45, p. 16-19, 1992.
- Amaral, A. dos S; Gonçalves, A. R. Efeito da salinidade do solo na produção de arroz irrigado. *Lavoura Arrozeira*, v. 46, p. 3-12, 1993.
- Amorim, J. R. A. de; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R. et al. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção do alho (*Allium sativum* L.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, p. 167-176, 2002.
- Amorim, J. R. A. de; Holanda, J. S. de; Fernandes, P. D. Qualidade da água na agricultura irrigada. In: Albuquerque, P. E. P.; Durães, F. O. M. (Ed.). *Uso e manejo de irrigação*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 255-316.
- Anuário brasileiro do arroz 2011. Disponível em: <http://www.gaz.com.br/tratada/s/eo_edicao/3/2011/03/20110311_7c80f2d35/pdf/2803_arroz2011flip.pdf> Acesso em abril de 2015.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. *Water Quality for Agriculture*. 3. ed. Rome: FAO, 1994. 174 p. (FAO. Irrigation and Drainage, Paper 29).
- Barberena, D. S.; Medeiros, R. D.; Barbosa, G. F. Desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado em resposta a diferentes doses de fósforo e potássio, em várzea de primeiro ano, no estado de Roraima. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, p. 462-470, 2011.
- Barbosa Filho, M. P.; Dynia, J. F.; Zimmermann, F.J. P. Resposta do arroz de sequeiro ao zinco e ao cobre com efeito residual para o milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 14, p. 333-338, 1990.
- Barbosa Filho, M. P.; Fageria, N. K.; Silva, O. F.; Barbosa, A. M. Interações entre calagem e zinco na absorção de nutrientes e produção de arroz de sequeiro em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, p. 355-360. 1992
- Bayer, C.; Mielniczuk, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G. de A.; Camargo, F.A. de O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- Beltrame, L.F.S.; Iochpe, B.; Rosa, S.M. da; Miranda, T.L.G. de. Lixiviação de íons em

- planossolo vacacaí sob condições de alagamento. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v. 44, p. 9-12, 1991.
- Bergmann, W. *Colour atlas of nutritional disorders of plants*. New York: Phosyn, 1992.
- Bernardi, C. C. *Reuso de Água para Irrigação*. Brasília: Isaefgv/ECOBUSINESS SCHOOL, 2003. 52p. Monografia de MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada.
- Blaise, D.; Singh, J. V.; Bonde, A. N.; Tekale, K.U. & Mayee, C. D. Effects of farmyard manure and fertilizers on yield, fibre quality and nutrient balance of rain fed cotton (*Gossypium hirsutum*). *Bioresource Technology*, v. 96, p. 345- 349, 2005.
- Boeni, M.; Anghinoni, I.; Genro Junior, S. A.; Osório Filho, B. D. *Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul*. Cachoeirinha: IRGA, 2010. 40 p. (Boletim Técnico, 8)
- Boêno, J. A.; Ascheri, D. P. R.; Bassinello, P. Z. Qualidade tecnológica de grãos de quatro genótipos de arroz-vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 718-723, 2011.
- Bohnen, H.; Silva, L. S.; Macedo, V. R. M.; Marcolin, E. Ácidos orgânicos na solução de um gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 475-480, 2005.
- Brancher, A.; Camargo, F.A.O.; Santos, G.A. Adubação orgânica mineral e calagem influenciando o rendimento do arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, p. 397-403, 1998.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Cadeia produtiva de produtos orgânicos / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura; coordenadores Antônio Márcio Buainain e Mário Otávio Batalha*. – Brasília : IICA : MAPA/SPA, 2007. 108 p. (Agronegócios ; v. 5)
- Brasil. Ministério da Agricultura. *Legislação Brasileira*. Disponível em: <http://www.prefiraorganicos.com.br/media/5806/lei_n-10831_de_23-12-2003.pdf>. Acesso em: Abril/2015.
- Camargo, F. A. O.; Santos, G. A.; Zonta, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. *Ciência Rural*, v. 29, p. 171-180, 1999.
- Cambardella, C.A.; Elliot, E.T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, p.123-130, 1994.

- Capra, A.; Scicolone, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, p. 1529-1534, 2007.
- Carmo, M. S. do. A produção familiar como lócus ideal da agricultura sustentável. In: Ferreira, A. D. D.; Brandenburg, A. Para pensar outra agricultura. Curitiba: UFPR, 1998.
- Carmona, F. C.; Anghinoni, I.; Meurer, E. J.; Holzschuh, M. J.; Fraga, T. I. Estabelecimento do arroz irrigado e absorção de cátions em função do manejo da adubação potássica e do nível de salinidade no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 371-383, 2009.
- Castro, E. M. de; Breseghello, F.; Rangel, P. H. N.; Moraes, O. P. de. Melhoramento do Arroz. In: Borém, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 1999. p.95-130.
- Chaves, L. H. G.; Chaves, I. B.; Silva, P. C. M.; Vasconcelos, A. C. F. Variabilidade de propriedades químicas de um Neossolo Flúvico da Ilha de Picos (Pernambuco). *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, p. 135-141, 2006.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamento de safra – Rio Grande do Norte - setembro/2009. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_10_25_12_35_42_boletim_safra_setembro_2009.pdf. Acesso em 11 de junho de 2014.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária / Companhia Nacional de Abastecimento – v.1 – Brasília : Conab, 2013- v. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.
- Correia, M.E.F.; Andrade, A.G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: Santos, G. de A.; Camargo, F.A. de O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.197-225.
- Costa, E.G.C; Santos, A.B; Zimmermann, F.J.P. Características agronômicas da cultura principal e da soca de arroz irrigado. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 24, n. 1, p. 15-24, 2000.
- De Datta, S. K. Principles and practices of rice production. Singapura: John Wiley & Sons, 1981. 618p.
- Diniz Filho, E. T.; Maracajá, P. B.; Medeiros, M. A.; Madalena, J. A. S.; Sousa L. C. F. S. Produção de arroz vermelho utilizando práticas agroecológicas no município de Apodi – RN. *Revista Verde*, v. 6, p. 157 – 166, 2011.
- Diniz Filho, E. T. Práticas agroecológicas na produção de arroz vermelho no Vale do Apodi-RN. Mossoró: UFERSA: 2010. 159p. Tese de Doutorado em Fitotecnia.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. 2005. Sistemas de Produção, 3. <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>

- FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/autores.htm. Acesso em 26.09.2015.
- Fageria, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. R. Bras. Eng. Agric. Amb., Campina Grande, 4:390-395, 2000.
- Fageria, N.K.; Baligar, V.C.; Clark, R.B. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, v. 77, p. 185-268, 2002.
- FAO. Food and Agriculture Organization. Faostat – Department of Statistics. Food and Agricultural commodities production, 2011. Disponível em: <http://foostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em 24 de julho de 2015.
- Fonseca, J.R.; Vieira, E. H. N.; Pereira, J. A.; Cutrim, V.A. Descritores morfoagronômicos e fenológicos de cultivares tradicionais de arroz coletados no Maranhão. *Revista Ceres*, v. 51, p. 45-56, 2004.
- Fonseca, J.R.; Castro, E. M.; Morais, O. P.; Soares, A. A.; Pereira, J. A.; Lobo, V. L. S.; Resende, J. M. Descrição morfológica, agrônômica, fenológica e culinária de alguns tipos especiais de arroz (*Oryza sativa* L.). Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 28 p, 2007. (Documentos, 210).
- Fornasieri Filho, D.; Fornasieri, J. L. Manual da cultura do arroz Jaboticabal: Funep, 2006. 589 p.
- Franca, M. G. C. et al. Relações entre crescimento vegetativo e acúmulo de nitrogênio em duas cultivares de arroz com arquiteturas contrastantes. *Acta Botânica Brasílica*, v. 22, p. 43-49. 2008.
- Freitas, J. G.; Cantarella, H.; Salomon, M. V.; Malavolta, V. M. A.; Castro, L. H. S. M.; Gallo, P.B.; Azzini, L.E. Produtividade de cultivares de arroz irrigado resultante da aplicação de doses de nitrogênio. *Bragantia* 66: 317-325, 2007.
- Garrido, M. S.; Sampaio, E. V. B.; Menezes, R. S. C. Potencial de adubação orgânica com esterco no Nordeste do Brasil. In: Menezes, R. S. C.; Sampaio, E. V. S. B. Salcedo, I. H. Fertilidade e produção de biomassa no Semi-Árido. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008. p. 123-132.
- Gomes, E. M. O.; Gheyi, H. R.; Silva, E. F. F.. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, p. 355-361, 2000.
- Guilherme, L. R. G.; Curi, N.; Silva, M. L. N.; Renó, N. B.; Machado, R. A. F. Adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p.27-34, 2000.

- Guimarães, C. M.; Fageria, N. K.; Barbosa Filho, M. P. Como a planta de arroz se desenvolve. Piracicaba: Potafos, 2002. (Arquivo do agrônomo, 13).
- Guimarães, C. M.; Stone, L.F.; Neves, P.C.F. Eficiência produtiva de cultivares de arroz com divergência fenotípica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, p. 465–470, 2008.
- Holanda, J. S. Esterco de curral: Composição, preservação e adubação. Natal, EMPARN, 1990. 69p. (Documentos, 17).
- Holanda, J. S. de; Vitti, G. C.; Salviano, A. A. et al. Alterações nas propriedades químicas de um solo aluvial salino sódico, decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 387-394, 1997.
- Holanda, J. S. de; Amorim, J. R. A. de; Ferreira Neto, M. et al. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal/CNPq, 2010. p. 41-60
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estatística da Produção Agrícola: indicadores. 2013. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201309.pdf. Acesso: 25 de julho de 2015
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, v. 28, p.1-88, 2014.
- INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Projeto de Cooperação Técnica Incra/Fao. Novo retrato da agricultura familiar: o Brasil redescoberto. Brasília, 2000.
- INCRA/FAO. Guia metodológico: diagnóstico de sistemas agrários. Brasília: INCRA/ FAO - Projeto de Cooperação Técnica, 1999. 58p.
- Khush, G. S. Origin, dispersal, cultivation and variation of Rice. *Plant Molecular Biology*, v. 35, p. 25-34, 2005.
- Lira, J. F. B de; Silva, A. R. F. da; Maia, F. E. N; Souza. M. S. M; Medeiros J. L. F; Miranda, N. O. Distribuição Regional de Teores de Fósforo em Neossolos Flúvicos no Vale do Apodi-RN. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - FERTBIO 2012, Maceió. Anais... Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.
- Loneragan, J.F. Distribution and movement of Manganese in plants In: Graham, R.D.; Hannam, R.J. & Uren, N.C., eds. Manganese in soils and plants. Netherlands, Kluwer Academic,1988. p.113-124.

- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.
- Mattos, M. L. T.; Martins, J. F. S. Cultivo de arroz irrigado orgânico no Rio Grande do Sul - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 161 p. (Sistemas de produção / Embrapa Clima Temperado; 17)
- Mauad, M.; Crusciol, C. A. C.; Alvarez, R. C.; Silva, R. H.. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes por cultivares de arroz de terras altas em resposta à calagem. Científica, v. 32, p. 178-184, 2004.
- Mcbride, M. B. Environmental chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1994. 406p.
- 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. Agrária, v. 7, p. 394-401, 2012.
- Miranda, N. de O; Medeiros, J. L. F; Barreto, H. B. F; Maia, F. E.N; Souza, M. S. de M; Filho, E. T. D. Distribuição Regional de Teores de Matéria Orgânica em Solos Cultivados com Arroz Vermelho no Vale do Apodi-RN. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - FERTBIO 2012, Maceió. Anais... Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.
- 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. Caatinga, v. 24, p. 9-14, 2011.
- Moreira, A.; Franchini, J. C.; Moraes, L. A. C.; Malavolta, E. Disponibilidade de nutrientes em vertissolo calcário. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, p. 2107-2113, 2000.
- Nascente, A. S.; Kluthcouski, J.; Rabelo, R. R.; Oliveira, P. D.; Cobucci, T.; Crusciol, C. A. C. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, p. 186-192, 2011.
- Nascimento, P. C.; Bayer, C.; Silva Netto, L. F.; Vian, A. C.; Vieiro, F.; Macedo, V. R. M.; Marcolin, E. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 1821-1827, 2009.
- Nesbitt, M.; Simpson, S. J.; Svanberg, I. History of rice in Western and Central Asia. In: Sharma, S. D. (Ed.). Rice: origin, antiquity and history. Boca Raton: CRC Press; New Hampshire: Science Publishers, 2010. p. 308-340.
- Nunes, C. G. F. Variabilidade espacial de atributos que influenciam a produção de arroz

- vermelho irrigado no município de Apodi-RN. Mossoró: UFERSA, 2008. 56f. Dissertação de Mestrado.
- Oliveira, M. Os solos e o ambiente agrícola no sistema Piranhas-Açú-RN. Mossoró: ESAM/FGD, 1988. 380 p. Coleção Mossoroense.
- Oliveira, C.; Amaral Sobrinho, N. M. B.; Marques, V. S.; Mazur, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 109-116, 2005.
- Ovalles, F.; Rey, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. *Agronomia Tropical*, v.44, p.41- 65, 1994.
- Pereira JA. O arroz-vermelho cultivado no Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 90 p, 2004.
- 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.; Bassinello, P. Z.; Cutrim, V. A.; Ribeiro, V. Q. Comparação entre características agronômicas, culinárias e nutricionais em variedades de arroz branco e vermelho. *Caatinga*, v. 22, 243-248, 2009.
- Pereira, J. A.; Morais, O. P. As variedades de arroz vermelho brasileiras. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2014. 39 p. (Documentos / Embrapa Meio-Norte, 229).
- Pinheiro, P. V. et al. Variáveis experimentais da Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 80 p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, 250)
- Pocojeski, E. Estimativa do estado nutricional de arroz irrigado por alagamento. Santa Maria: UFSM. 2007. 95p. Dissertação de Mestrado.
- Porto, B. H. C.; Segatto, E.; Rezende, N. C.; Magalhães, R. S.; Mateus, J. S.; Lacerda, H. N. Moreira, L. B. Potencial agronômico do arroz vermelho em sistema de produção agroecológico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, p.1042-1045, 2007.
- Premusic, Z.; Bargiela, M.; Garcia, A.; Rendina, A.; Iorio, A. Calcium, iron, potassium, phosphorus and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. *HortScience*, v. 33, p. 255-257, 1998.
- Raij, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres, Potafos. 1991. 343 p.
- Rodrigues, R. A. F. Efeitos do manejo de água nas características fonológicas e produtivas do arroz (*Oryza sativa* L) cultivado em condições de sequeiro sob irrigação por aspersão. Botucatu: FCAV/UNESP. 1998. 75p. Tese de Doutorado.
- Romero, J. L.; Magalhães, P. C.; Alves, J. D.; Durães, F. O. M.; Santos, A. B.; Fageria, N. K.;

- Stone, L. F.; Santos, C. Manejo de água e de fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, p. 565-573, 2003.
- Salazar, F. J.; Chadwick, D.; Pain, B. F.; Hatch, D.; Owen, E. Nitrogen budgets for three cropping systems fertilised with cattle manure. *Bioresource Technology*, v. 96, p. 235-245, 2005.
- Sampaio, P. R. F.; Barreto, H. B. F.; Pamplona, J. P.; Souza, M. S. M.; Silva, L. A.; Miranda, N. O. Caracterização do Teor de Manganês em Solos de Comunidades da Cadeia Produtiva de Arroz Vermelho no Vale do Apodi-RN. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - FERTBIO 2012, Maceió. Anais... Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.
- Santos, R. V. Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna (*Vigna unguiculata* (L) Wap). Piracicaba: ESALQ, 1995. 120p. Tese de Doutorado.
- Santos, A. B. dos; Fageria, N. K.; Stone, L. F.; Santos, C. Manejo de água e de fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.565-573, 1999.
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Cunha, T. J. F.; Oliveira, J. B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.
- Segatto; E.; Porto, B. H. C.; Rezende, N. C.; Magalhães, R. S.; Martins, C. C. Caracterização morfoagronômica de variedades crioulas de arroz vermelho. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, p. 1038-1041, 2007.
- Shuman, L. M. Fractionation method for soil microelements. *Soil Science*, v. 140, p. 11-22, 1985.
- Silva, T. R. B.; Soratto, R. P.; Ozeki, M.; Arf, O. Manejo da época de aplicação da adubação potássica em arroz de terras altas irrigado por aspersão em solo de cerrado. *Acta Scientiarum*, v. 24, p. 1455-1460, 2002.
- Silva, J. J. N; Montenegro, A. A. A.; Silva, E. F. F.; Fontes Júnior, R. V. P.; Silva, A. P. N. Variabilidade espacial de parâmetros de crescimento da mamoneira e de atributos físico-químicos em Neossolo *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, 921–931, 2010a.
- Silva, V. A. C; Silva, E. F. da; Tabosa, J. N. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas na zona da Mata de Pernambuco. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 10, p. 1030-1037, 2010b.

- Sims, J. T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, iron and zinc. *Soil Science Society of America Journal*, v. 50, p. 367-373, 1986.
- Soares, A. C. A multifuncionalidade da agricultura familiar. *Proposta*, n. 87, p. 40-49, 2000/2001.
- SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria: SOSBAI, 2014. 192 p.
- Souza, L. S.; Cogo, N. P.; Vieira, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.367-372, 1997.
- Souza, M. S M.; Pamplona, J. P.; Mendonça, J. D. J.; Medeiros, J. L. F.; Lira, J. F. B.; Miranda, N. O. Caracterização do Teor de Sódio em Neossolos Flúvicos de Áreas Cultivadas com Arroz Vermelho no Vale do Apodi-RN. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - FERTBIO 2012, Maceió. Anais... Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.
- Streck, N. A.; Michelon, S.; Kruse, N. D.; Bosco, L. C.; Lago, I.; Marcolin, E.; Paula, G. M.; Samboranza, F. K. Comparação de parâmetros de crescimento e de desenvolvimento de dois biótipos de arroz vermelho com genótipos de arroz irrigado. *Bragantia*, v. 67, p. 349-360, 2008.
- Swarowsky, A.; Righes, A. A.; Marchezan, E.; Rhoden, A. C.; Gubiani, E. Concentração de nutrientes na solução do solo, sob diferentes manejos do arroz irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 344–351, 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*, v. 18, p. 283-294, 2006.
- Toescher, C. F.; Righes, A. A.; Carlesso, R. Volume de água aplicada e produtividade do arroz sob diferentes métodos de irrigação. *Revista da FZVA*, v. 4, p. 49-57, 1997.
- Trangmar, B. B.; Yost, R. S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v.38, p.45- 93, 1985.
- Vitti, G. C.; Serrano, C. G. E. O zinco na agricultura. *DBO Agrotecnologia*, v. 3, p. 10-11, 2007. Disponível em: <http://www.anda.org.br/publicacoes>. Acesso: 25 de julho de 2015
- Von Der Ploeg, J. D. O modo de produção camponês revisitado. In: Schneider, S. (Org.). A diversidade da agricultura familiar. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006
- Wanderley, M. de N. B. Raízes Históricas do Campesinato Brasileiro. In: Tedesco, J. C. (Org.). Agricultura familiar – realidades e perspectivas. 2. ed. Passo Fundo: Ediupf, 1999.

Weingärtner, M. A.; Aldrighi, C. F. S. & Medeiros, C. A. B. Adubação orgânica. Pelotas:
Embrapa Clima Temperado, 2006, 18p. (Práticas Agroecológicas)