

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

**Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água
(PPG MACSA)**

**Área de concentração: Manejo e Conservação do Solo e da Água em Áreas
Agrícolas**



Tese

**Desempenho de cultivares de arroz submetidos à calagem e manejos de água
em campos naturais do sul do Amazonas**

Váirton Radmann

Pelotas, 2017

VAÍRTON RADMANN

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE ARROZ SUBMETIDOS À
CALAGEM E MANEJOS DE ÁGUA EM CAMPOS NATURAIS DO SUL
DO AMAZONAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Professor Dr. Rogério Oliveira de Sousa

Coorientador (es): Professor Dr. Ledemar Carlos Vahl

Professor PhD Antônio Costa de Oliveira

Pelotas, 2017

Catálogo na fonte

Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

R129d Radmann, Vaírton

Desempenho de cultivares de arroz submetidos à calagem e manejos de água em campos naturais do sul do Amazonas. / Vaírton Radmann; Rogério Oliveira de Sousa, orientador; Ledemar Carlos Vahl e Antônio Costa de Oliveira, coorientadores Pelotas, 2017.

202 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Solo alagado 2. Ferro 3. Calagem no arroz irrigado 4. Precipitação pluvial 5. Brusone I. Souza, Rogério Oliveira de , orient.
II. Título.

CDD : 631.521

Vaírton Radmann

Desempenho de cultivares de arroz submetidos à calagem e manejos de água em campos naturais do sul do Amazonas

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 24 de fevereiro de 2017.

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Rogério Oliveira de Sousa - (Presidente/Orientador)
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Profª. Dra. Flávia Fontana Fernandes
Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof. Dr. Leandro Souza da Silva
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Pesquisadora, Dra. Walkyria Bueno Scivittaro
Doutora em Ciências Energia Nuclear na Agricultura pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo

Dedico:

A minha esposa Ana Paula, a minha filha Maria Luiza e ao Felipe

Aos meus pais, Validio e Nilva

Aos meus irmãos, Vanderlei e Iberê

Aos meus avós, Wilmuth e Venilda (*in memoriam*).

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, que me deu saúde, força e o privilégio de alcançar mais este objetivo.

A minha esposa Ana Paula Rocha Neves e minha filha Maria Luiza Rocha Radmann, que me apoiaram e me acompanharam nessa caminhada.

Ao professor Rogério Oliveira de Sousa, pela orientação, amizade, confiança e contribuição na minha formação.

Ao professor Ledemar Carlos Vahl, pela coorientação, pelos ensinamentos e apoio.

Ao professor Antônio Costa de Oliveira pela coorientação e pelos ensinamentos.

Ao professor Milton César Costa Campos, pelo apoio e viabilização do material de consumo e permanente para realização dos experimentos a campo.

À Universidade Federal do Amazonas, pela liberação para realização do curso de Doutorado.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água pelos ensinamentos.

Ao diretor da Escola Agrícola do município de Humaitá Margenaldo Tavares de Sá, pela disponibilidade da área e apoio para realização dos experimentos em campo.

Ao Instituto Federal do Amazonas Campus Humaitá – IFAM, pela disponibilidade da área para a realização da condutividade hidráulica saturada do solo.

Aos alunos e bolsistas do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA Tiago Brambilla Leonardi, Half Weinberg Corrêa Jordão, Ramylle Junior Lourenço Ramos, José Carlos Moraes da Silva, Renildo Melo de Freitas e Adelvanir Vieira Albuquerque pelo apoio na execução dos experimentos e análises de laboratório.

Aos alunos dos Cursos de Agronomia e Engenharia Ambiental do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA pelo apoio na instalação dos experimentos e realização do Dia de Campo.

Aos bolsistas da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM/UFPeI Cristiano Weinert, Victor Cieza Tarrillo, João Paulo Sousa Gomes pelo apoio nas análises de laboratório.

Aos colegas Professores do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente - IEAA, que viabilizaram a minha saída para cursar o Doutorado.

Aos colegas de curso, pelas discussões, estudos e companheirismo, em especial a Roberto Carlos Döring Wolter, Marcos do Vale, Luciano Romano, Gerson Lübke Buss, Gil Gunegatto, Thaís Antolini.

Aos Funcionários do Departamento de Solos e do Programa de Pós-graduação em Agronomia, em especial à Rosane Maria Morales Guidotti, pela amizade e apoio na execução das análises de solos em laboratório.

Ao Werno Bühring pela disponibilidade de piquetes e estacas de madeira utilizados no experimento.

Aos meus pais Validio Radmann e Nilva Radmann, aos irmãos Vanderlei Radmann e Iberê Radmann e demais familiares, pelo apoio e incentivo para a realização do Doutorado.

Aos demais amigos, alunos do IEAA e a todos que de alguma forma contribuíram para a viabilização deste trabalho, um sincero muito obrigado.

Resumo

RADMANN, Vaírton. **Desempenho de cultivares de arroz submetidos à calagem e manejos de água em campos naturais do sul do Amazonas**. 2017. 202f. Tese (Doutorado em Manejo e Conservação do Solo e da Água em Áreas Agrícolas) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

Na região sul do estado do Amazonas, o arroz de terras altas normalmente é produzido no período chuvoso, com produtividade média inferior à de outros estados, a exemplo do Rio Grande do Sul. Nesse período, o elevado índice de precipitação pluviométrica na região provoca a subida do lençol freático, o que tende a favorecer o cultivo de arroz irrigado com irrigação suplementar e aumento da produtividade. No entanto, os solos apresentam elevada acidez potencial e quando submetidos ao alagamento, não apresentam um aumento adequado do pH. Nesse sentido, os objetivos do trabalho foram avaliar atributos do solo e do arroz em função da calagem e do manejo de água; atributos agronômicos em função do manejo de água e cultivares de arroz irrigado no período chuvoso e seco. Para isso foi conduzido um experimento com arroz irrigado em casa de vegetação e dois experimentos à campo. Os resultados do experimento com calagem e manejo de água em casa de vegetação revelaram que, a calagem é necessária e promove o maior estado de redução e um aumento mais acentuado do pH da solução do solo em relação ao manejo alagado e saturado sem calagem. Os resultados do experimento à campo no período chuvoso mostraram que, com níveis adequados de nutrientes no solo e no tecido das plantas de arroz, as produtividades foram semelhantes entre os manejos aeróbio, saturado e alagado em condições de elevada precipitação pluvial. Os manejos de água proporcionaram teores de nutrientes variáveis no tecido, porém todos em níveis adequados ou superior. O manejo alagado proporcionou de forma mais pronunciada que o manejo saturado, a diminuição da severidade de brusone e mancha parda na folha do arroz. Os manejos saturado e aeróbio proporcionaram uma economia aproximada de 75 e 100% respectivamente, de água aplicada em relação ao manejo alagado. Os resultados do experimento à campo no período seco mostraram que, o manejo alagado promoveu a maior produtividade de grãos em relação aos manejos saturado e capacidade de campo. Conclui-se que, a calagem é indispensável nos solos dos campos naturais no cultivo de arroz por alagamento. No período chuvoso, os manejos aeróbio, saturado e alagado proporcionam produtividades semelhantes em condições de elevada precipitação pluvial e elevação natural do lençol freático. Os manejos saturado e aeróbio propiciam o menor volume total de água consumida no cultivo do arroz e maior eficiência do uso da água. No período seco, o manejo alagado promove maior produtividade de grãos em relação aos manejos saturado e capacidade de campo. Os valores do consumo de água nos manejos alagado e saturado são extremamente elevados no período seco, devido às perdas de água por fluxo lateral e por percolação em profundidade. O manejo de água capacidade de campo propicia o menor consumo de água e maior eficiência do uso da água no período seco.

Palavras-chave: solo alagado; ferro; calagem no arroz irrigado; precipitação pluvial; brusone.

Abstract

RADMANN, Vairton. **Performance of rice cultivars subjected to liming and water management in natural fields of southern Amazonas**. 2017. 202f. Thesis (Doctorate in Soil and Water Management and Conservation in Agricultural Areas) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

In the southern region of the state of Amazonas, upland rice is normally produced in the rainy season, with average productivity lower than that of other states, such as Rio Grande do Sul. During this period, the high rainfall index in the region causes the water table to rise, which tends to favor irrigated rice cultivation with additional irrigation and increased productivity. However, the soils present high potential acidity and when submitted to flooding, do not present an adequate increase of pH. In this sense, the objectives of the work were to evaluate attributes of soil and rice as a function of liming and water management; agronomic attributes as a function of water management and irrigated rice cultivars in the rainy and dry season. For this, an experiment was conducted with irrigated rice in a greenhouse and two field trials. The results of the experiment with liming and greenhouse water management revealed that liming is necessary and promotes a higher state of reduction and a more pronounced increase in pH of the soil solution in relation to flooded and saturated management without liming. The results of the field experiment in the rainy season showed that, with adequate levels of nutrients in soil and rice plant tissue, yields were similar between aerobic, saturated and flooded managements under conditions of high rainfall. Water management provided variable nutrient contents in the tissue, but all at appropriate levels or higher. The flooded management provided in a more pronounced way than the saturated handling, the reduction of the severity of blast and brown spot in the rice leaf. The saturated and aerobic managements provided an approximate saving of 75 and 100%, respectively, of applied water in relation to the flooded management. The results of the field experiment in the dry period showed that, the flooded management promoted the highest grain yield in relation to the saturated managements and field capacity. It is concluded that liming is indispensable in soils of natural fields in rice cultivation by flooding. In the rainy season, aerobic, saturated and flooded managements provide similar productivity in conditions of high rainfall and natural elevation of the water table. Saturated and aerobic management provide the lowest total volume of water consumed in rice cultivation and greater water use efficiency. In the dry season, flooded management promotes higher grain yield in relation to saturated management and field capacity. The values of water consumption in flooded and saturated water management are extremely high in the dry period, due to losses of water by lateral flow and percolation in depth. The management of water field capacity provides the lowest water consumption and greater efficiency of water use in the dry period.

Key-words: flooded soil; iron; liming in irrigated rice; rainfall; blast

Lista de Figuras

2 Revisão bibliográfica

Figura 1	Normal climatológica da precipitação pluviométrica de Humaitá no período de 1961 – 1990.....	28
Figura 2	Normal climatológica de insolação total (horas) da cidade de Porto Velho-RO, no período de 1961 – 1990.....	29
Figura 3	Normal climatológica da variação das temperaturas média da mínima, média da máxima e média compensada da cidade de Porto Velho-RO no período de 1961 – 1990.....	30
Figura 4	Normal climatológica da Umidade Relativa do Ar média compensada (%) de Humaitá-AM no período de 1961 – 1990.....	30
Figura 5	Dinâmica do lençol freático na vertente, no período de novembro de 1997 a julho de 1998. Piezômetros instalados ao longo da vertente (P1 a P5, estando o P1 localizado na depressão e o ponto P5 no platô).....	32

3 Capítulo 1 – Oxirredução do solo, crescimento e absorção de nutrientes em arroz em função da calagem e do manejo de água

Figura 1	Aspecto da planta de arroz com sintomas de toxidez por Fe com destaque ao bronzeamento no tratamento com calagem em solo alagado.....	63
Figura 2	Aspecto das plantas de arroz com toxidez por Fe no tratamento com calagem em solo saturado.....	64
Figura 3	Aspecto das plantas no dia de corte. Seguem os tratamentos: TCS – com calagem no manejo saturado; TCA – com calagem no manejo alagado; TSA – sem calagem no manejo alagado; TA –	

	tratamento adicional.....	67
Figura 4	Aspecto dos tratamentos no manejo alagado (aos 53 DAM). Seguem os tratamentos: TCA – com calagem no manejo alagado; TSA – sem calagem no manejo alagado; TA – tratamento adicional.....	67
Figura 5	Comparação das plantas dos tratamentos: tratamento adicional-TA com a combinação dos níveis sem calagem e alagado–TSA; combinação dos níveis sem calagem e alagado–TSA com a combinação dos níveis com calagem e alagado–TCA.....	71
4 Capítulo 2 – Avaliação agronômica e nutricional de cultivares de arroz em relação ao manejo de água no período chuvoso		
Figura 1	Manejos de água alagado (a), saturado (b) e aeróbico (c) sob a cultivar de arroz Roraima no município de Humaitá-AM.....	78
Figura 2	Aspecto dos poços prontos para o alagamento para permitir a saturação do solo.....	84
Figura 3	Aspecto do perfil de solo e do trado tipo caneca usado na perfuração dos poços na profundidade de 100cm.....	85
Figura 4	Aparato utilizado na realização da condutividade hidráulica do solo saturado (a) com uma proveta de 1000mL e mangueira de soro (b).....	87
Figura 5	Aspecto do perfil do solo de estudo com profundidade de 240cm...	88
Figura 6	Dique ao lado da taipa com lâmina de água e a aplicação de água no poço para saturação do solo (a); realização da condutividade hidráulica na taipa após a saturação do solo (b).....	90
Figura 7	Valores do potencial de oxirredução (a), pH (b), manganês (c), ferro (d), cálcio (e) e magnésio (f) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de	

arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ns não significativo entre manejos ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por raiz quadrada para Mn, Fe, Ca; por Log para Mg..... 98

Figura 8 Teores de fosforo (a) e potássio (b) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ns não significativo entre manejos pelo teste t ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por raiz quadrada para P e por Log para K..... 100

Figura 9 Teores de zinco na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ns não significativo entre manejos ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$)..... 101

Figura 10 Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar compreendido entre a semeadura e colheita do arroz, no período de 15 de dezembro a 5 de abril, no município de Humaitá-AM..... 118

5 Capítulo 3 – Avaliação agronômica e nutricional de cultivares de arroz em relação ao manejo de água no período seco

Figura 1 Manejos de água alagado (a), saturado (b) e capacidade de campo(c)..... 132

Figura 2 Valores do potencial de oxirredução (a), ferro (b), pH (c) e manganês (d) na solução do solo sob os manejos de água saturado

(SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ^{ns} não significativo ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por Log para Fe..... 143

Figura 3 Teores de cálcio (a) e magnésio (b) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ^{ns} não significativo entre manejos ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por Log para Ca e por raiz quadrada para Mg..... 144

Figura 4 Teores de fósforo (a) e potássio (b) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ^{ns} não significativo entre manejos pelo teste t ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por raiz quadrada para P e K..... 145

Figura 5 Teores médios de zinco (a) e cobre (b) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ¹Letras distintas minúsculas entre datas diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$)..... 146

Figura 6 Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar compreendido entre a semeadura e a colheita da cultivar de arroz de maior ciclo, no período de 20 de agosto a 04 de dezembro, no município de Humaitá-AM..... 161

Lista de Tabelas

3 Capítulo 1 – Oxirredução do solo, crescimento e absorção de nutrientes em arroz em função da calagem e do manejo de água

Tabela 1	Resultado da análise química do solo coletado na camada de 0,0 – 0,20m.....	43
Tabela 2	Valores médios do potencial redox (Eh) e pH da solução de um solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento mais o tratamento adicional.....	47
Tabela 3	Teores médios de Fe, Mn e Zn da solução de um solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento mais o tratamento adicional.....	52
Tabela 4	Teores médios de Ca e Mg da solução de um solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento mais o tratamento adicional.....	57
Tabela 5	Teores de P e K da solução de um solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento mais o tratamento adicional.....	59
Tabela 6	Desdobramentos das Interações dos fatores calagem e manejo de água; do fatorial versus tratamento adicional para as variáveis número de perfilhos, folhas, percentual total de folhas com toxidez por ferro e percentual de folhas com bronzeamento avaliados aos 45 DAM da cultivar de arroz BRS Pelota.....	62
Tabela 7	Desdobramentos das Interações dos fatores calagem e manejo de água; do fatorial versus tratamento adicional para as variáveis massa seca da parte aérea aos 15 dias após o início do alagamento (MSPAD15), massa seca da parte aérea (MSPA) e teores de N, P,	

	K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz da cultivar BRS Pelota.....	65
Tabela 8	Desdobramentos das Interações dos fatores calagem e manejo de água; do fatorial verso tratamento adicional para variáveis teores de Fe, Mn, Cu e Zn no tecido da parte aérea das plantas de arroz da cultivar BRS Pelota.....	69
 4 Capítulo 2 – Avaliação agronômica e nutricional de cultivares de arroz em relação ao manejo de água no período chuvoso		
Tabela 1	Caracterização química do solo da área de estudo.....	76
Tabela 2	Valores médios da massa seca da parte aérea (MSPA) e dos teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz, da interação dos fatores manejo de água e cultivar.....	102
Tabela 3	Teores médios de Mn, Fe, Zn e Cu no tecido do arroz do fator manejo de água (M) nos níveis aeróbio, saturado e alagado e do fator cultivar (C) nos níveis IRGA 417, BRS Tropical e Roraima....	105
Tabela 4	Valores médios de toxidez por ferro nas folhas medido no tempo, nas cultivares de arroz irrigado Roraima, BRS Tropical e IRGA 417, submetidos aos manejos de água saturado e alagado no município de Humaitá-AM.....	106
Tabela 5	Valores médios da severidade de brusone nas folhas medido no tempo, nas cultivares de arroz irrigado Roraima, BRS Tropical e IRGA 417, submetidos aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado no município de Humaitá-AM.....	109
Tabela 6	Valores médios de severidade de mancha parda (<i>Bipolaris oryzae</i>) nas folhas medido no tempo, nas cultivares de arroz irrigado Roraima, BRS Tropical e IRGA 417, submetidos aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado no município de Humaitá-AM.....	110

Tabela 7	Comparações das médias dos níveis dos fatores manejo de água (M) e cultivares (C) para as variáveis número de plantas em um metro quadrado (Planta); número de panículas em um metro quadrado (Panícula); comprimento de panícula (Comp. de paníc.); número de grãos por panícula (Grãos paníc.); esterilidade de grãos (Esterilidade); massa de mil grãos (Mil grãos); grãos inteiros (Grãos inteiros); Produtividade de grãos (Produtividade).....	113
Tabela 8	Condutividade hidráulica do solo saturado nas parcelas dos níveis de manejo de água alagado e saturado, entre 40 e 100cm de profundidade no solo pelo método do poço seco.....	116
Tabela 9	Condutividade hidráulica do solo saturado nas taipas incluindo o horizonte A, nos níveis de manejo de água alagado e saturado pelo método do poço seco.....	117
Tabela 10	Evapotranspiração de cultura (ET _c) calculada a partir da evapotranspiração de referência (ET _r) obtida pelo método Penman-Monteith parametrizado pela Food and Agriculture Organization-FAO e o coeficiente de cultura (K _c) do arroz nos diferentes subperíodos de desenvolvimento para as cultivares IRGA 417, BRS Tropical e Roraima.....	119
Tabela 11	Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) no manejo de água alagado, saturado e aeróbio, nas cultivares de arroz IRGA 417 e BRS Tropical.....	120
Tabela 12	Volume de água aplicada e de precipitação pluviométrica nos manejos de água alagado, saturado e aeróbio, durante o ciclo da cultivar de arroz Roraima.....	122
Tabela 13	Volume de água dos componentes de entrada e saída de água, saturação do solo e formação de lâmina durante o cultivo do arroz IRGA 417, BRS Tropical e Roraima submetidas aos	

	manejos de água alagado, saturado e aeróbio.....	124
Tabela 14	Volume médio de água consumida (Prec+Aplic), volume médio de água aplicada (Aplic), produtividade de grãos e eficiência no uso de água com e sem precipitação pluviométrica das cultivares de arroz IRGA 417, BRS Tropical e Roraima submetidas aos manejos de água alagado, saturado e aeróbio.....	126

5 Capítulo 3 – Avaliação agronômica e nutricional de cultivares de arroz em relação ao manejo de água no período seco

Tabela 1	Caracterização química do solo da área de estudo.....	131
Tabela 2	Valores médios de massa seca da parte aérea (MSPA) e dos teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido do arroz do fator manejo de água (M) nos níveis capacidade de campo (cap. de campo), saturado e alagado e do fator cultivar (C) nos níveis BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417.....	147
Tabela 3	Teores médios de Mn, Fe, Zn e Cu no tecido do arroz do fator manejo de água (M) nos níveis capacidade de campo (Cap. de campo), saturado e alagado e do fator cultivar (C) nos níveis BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417.....	149
Tabela 4	Valores médios de severidade de brusone (<i>Pyricularia grisea</i>) nas folhas ao longo do tempo, nas cultivares de arroz irrigado BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417, submetidas aos manejos de água capacidade de campo (Cap. de campo), saturado e alagado, no município de Humaitá-AM.....	151
Tabela 5	Valores médios de severidade de mancha parda (<i>Bipolaris oryzae</i>) nas folhas medido no tempo, nas cultivares de arroz irrigado BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417,	

	submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado, no município de Humaitá-AM.....	154
Tabela 6	Comparações das médias dos níveis dos fatores manejo de água (M) e cultivares (C) para as variáveis número de plantas em um metro quadrado (Planta); altura de planta; número de panículas em um metro quadrado (Panícula); comprimento de panícula (Comp. de paníc.); número de grãos por panícula (Grãos paníc.); esterilidade de grãos (Esterilidade); grãos inteiros (Grãos inteiros); Produtividade de grãos (Produtividade).....	157
Tabela 7	Comparações dos níveis dos fatores manejo de água (M) e cultivares (C) para a variável massa de mil grãos.....	159
Tabela 8	Valores médios de floração e ciclo dos níveis dos fatores manejo de água e cultivar.....	160
Tabela 9	Evapotranspiração de cultura (ET _c) calculada a partir da evapotranspiração de referência (ET _r) obtida pelo método Penman-Monteith parametrizado pela Food and Agriculture Organization-FAO e o coeficiente de cultura (K _c) de arroz nos diferentes subperíodos de desenvolvimento para as cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417.....	162
Tabela 10	Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo (Cap. de campo) para cada subperíodo de desenvolvimento da cultivar de arroz BRSMG Ouro Minas.....	165
Tabela 11	Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo (Cap. de campo) para cada subperíodo de desenvolvimento da cultivar de arroz BRS Tropical.....	166
Tabela 12	Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de	

	campo (Cap. de campo) para cada subperíodo de desenvolvimento da cultivar de arroz Roraima.....	167
Tabela 13	Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo (Cap. de campo) para cada subperíodo de desenvolvimento da cultivar de arroz IRGA 417.....	168
Tabela 14	Volume de água dos componentes de entrada e saída de água, saturação do solo e formação de lâmina durante o cultivo do arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo (Cap. de campo).....	170
Tabela 15	Volume médio de água consumida (Prec+Aplic), volume médio de água aplicada (Aplic), produtividade de grãos e eficiência no uso de água (EUA) com e sem precipitação pluviométrica das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417, submetidas aos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo.....	174

Sumário

1 Introdução geral	22
2 Revisão bibliográfica	26
2.1 O arroz no estado do Amazonas	26
2.2 Descrição da região dos campos naturais	27
2.3 Precipitação pluvial e temperatura dos campos naturais	27
2.3.1 Precipitação pluvial	27
2.3.2 Temperatura.....	29
2.4 Relevo.....	31
2.5 Drenagem	31
2.6 Lençol freático	31
2.7 Vegetação.....	33
2.8 Pedogênese.....	33
2.9 Geologia e geomorfologia	34
2.10 Solos.....	35
2.11 Efeitos do alagamento no solo.....	36
2.11.1 Aspectos que afetam os microrganismos no solo	37
2.12 A calagem em solos alagados	39
3 Capítulo 1 – Oxirredução do solo, crescimento e estado nutricional do arroz em função da calagem e do manejo de água.....	40
3.1 Introdução	40
3.2 Material e Métodos	42
3.3 Resultados e Discussão	47
3.3.1 Valores do potencial de oxirredução (Eh) e pH da solução do solo	47
3.3.2 Teores de Mn, Fe e Zn na solução do solo	50
3.3.3 Teores de Ca e Mg na solução do solo.....	56

3.3.4 Teores de P e K na solução do solo.....	58
3.3.5 Número de perfilhos, folhas, percentual total de folhas com toxidez por ferro e percentual de folhas com bronzeamento avaliadas aos 45 DAM.	61
3.3.6 Massa seca da parte aérea aos 15 dias após o início do alagamento (MSPA15), massa seca da parte aérea (MSPA) e teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz da cultivar BRS Pelota.	64
3.3.7 Teores de Fe, Mn, Zn e Cu no tecido em plantas de arroz da cultivar BRS Pelota.....	68
3.4 Conclusões	72
4 Capítulo 2 – Avaliação agronômica e nutricional de cultivares de arroz em relação ao manejo de água no período chuvoso.....	73
4.1 Introdução.....	73
4.2 Material e Métodos	76
4.3 Resultados e Discussão	97
4.3.1 Valores do potencial de oxirredução (Eh), pH e teores de Mn, Fe, Ca, Mg, P, K e Zn na solução do solo.....	97
4.3.2 Massa seca da parte aérea (MSPA) e teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz das cultivares Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.....	101
4.3.3 Teores de Fe, Mn, Zn e Cu no tecido em plantas de arroz das cultivares Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.....	104
4.3.4 Avaliação visual de toxidez por ferro nas cultivares de arroz Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água saturado e alagado.....	106
4.3.5 Avaliação visual de severidade de brusone (<i>Pyricularia grisea</i>) e mancha parda (<i>Bipolaris oryzae</i>) nas folhas das cultivares de arroz Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.	108

4.3.6 Ciclo e componentes de rendimento das cultivares de arroz Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.....	112
4.3.7 Consumo de água e eficiência do uso da água das cultivares de arroz Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.	115
4.4 Conclusões	127
5 Capítulo 3 – Avaliação agronômica e nutricional de cultivares de arroz em relação ao manejo de água no período seco.	128
5.1 Introdução.....	128
5.2 Material e Métodos	131
5.3 Resultados e Discussão	142
5.3.1 Valores do potencial de oxirredução (Eh), pH e teores de Fe, Mn, Ca, Mg, P, K, Zn e Cu na solução do solo.	142
5.3.2 Massa seca da parte aérea e teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz das cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.....	146
5.3.3 Teores de Fe, Mn, Zn e Cu no tecido em plantas de arroz das cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.....	148
5.3.4 Avaliação visual de severidade de brusone (Pyricularia grisea) e mancha parda (Bipolaris oryzae) nas folhas das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.....	150
5.3.5 Ciclo e componentes de rendimento das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.	155

5.3.6 Consumo de água e eficiência do uso da água das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.....	160
5.4 Conclusões	177
6 Considerações Finais	178
7 Sugestões de estudos futuros	181
Referências Bibliográficas	183
Apêndices.....	191

1 Introdução geral

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais importantes do Brasil, sendo cultivado em praticamente todos os estados e consumido por todas as classes sociais. O estado do Amazonas está entre os estados que cultivam uma menor área de arroz, com uma produção de 7,4 mil toneladas em 3400ha e uma produtividade média de 2189kg ha⁻¹ na safra 2014/15 (CONAB, 2016). O estado caracteriza-se pelo sistema de cultivo de arroz de terras altas, concentrando a maior área de exploração contínua e mecanizada nos campos naturais na região sul do estado.

A região sul do estado do Amazonas, que compreende os municípios de Humaitá, Canutama e Lábrea, concentra extensas áreas de campos naturais 341.644ha, com grande potencial para o cultivo de arroz (BRAUN & RAMOS, 1959). Nesta região, o arroz de terras altas é normalmente produzido na estação chuvosa, sem o uso de irrigação suplementar, no entanto, com produtividade média bem abaixo da obtida em outras regiões mais tradicionais, como o estado do Rio Grande do Sul (7700kg ha⁻¹), onde as lavouras são irrigadas em sistema de inundação (CONAB, 2016).

Os solos dos campos naturais onde é realizado o cultivo de arroz de terras altas no estado do Amazonas apresentam fertilidade natural baixa (MARTINS et al., 2006; CAMPOS et al., 2012). As principais limitações químicas para o cultivo desses solos são: elevada acidez potencial, baixa e média saturação por bases e muito baixa disponibilidade de fósforo (RADMANN, 2011). Para o cultivo de arroz de terras altas é realizado a aplicação de calcário para neutralizar a acidez e fornecer Ca e Mg e adição de fertilizantes para atender as necessidades nutricionais das plantas.

Os solos da referida região apresentam elevada umidade em significativa parte dos meses do ano, associado principalmente ao alto índice de precipitação pluviométrica, com média anual de 2.361mm em dois períodos distintos: chuvoso e seco (BRAUN & RAMOS, 1959). O aumento do volume da precipitação pluviométrica no período chuvoso provoca a elevação do lençol freático que, aos poucos, vai contribuindo para formar lâmina de água, saturar o solo e manter elevada a umidade do solo, em áreas baixas, intermediárias e altas, respectivamente. As três situações de água no solo mencionadas anteriormente são favorecidas pela topografia relativamente plana e baixa condutividade hidráulica do

solo (BRAUN & RAMOS, 1959). Esses fatores podem favorecer a exploração do cultivo de arroz irrigado com o uso da irrigação suplementar.

No período seco da região não é cultivado o arroz, que é caracterizado pelos baixos índices de precipitação pluviométrica, o que contribui para manter o lençol freático em maior profundidade e dessa forma, pode levar a necessidade de um elevado volume de água nos manejos de água, mesmo em solo com baixa condutividade hidráulica. Em contrapartida, a menor umidade relativa do ar, maior insolação e menor molhamento foliar, que são condições menos favoráveis a proliferação de doenças como a brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha parda (*Bipolaris oryzae*) podem favorecer o cultivo de arroz nesse período.

Em solo alagado, se processam uma série de transformações nas características físicas, químicas, eletroquímicas e biológicas (SOUSA et al., 2010), que favorecem o aumento da produtividade da cultura, pois normalmente condiciona um aumento da disponibilidade de nutrientes às plantas de arroz. A presença de uma lâmina de água sobre o solo promove a mudança de um ambiente oxidado para um ambiente reduzido, em decorrência da atividade dos microrganismos anaeróbios. A principal alteração química que ocorre é a redução do ferro da forma Fe^{3+} (forma férrica) para Fe^{2+} (forma ferrosa), aumentando a sua solubilidade, influenciando nas características eletroquímicas do solo, no equilíbrio de outros nutrientes e, conseqüentemente, aumentando sua quantidade na solução do solo, podendo chegar a níveis de Fe tóxicos às plantas de arroz (SOUSA et al., 2010).

O pH de solos ácidos apresenta um pequeno decréscimo inicial, normalmente no primeiro e/ou segundo dia de alagamento, seguido por um aumento até um valor máximo constante de 6,5 a 7,0 em 2 ou 3 semanas. A diminuição inicial é devido ao acúmulo de CO_2 e o aumento posterior é devido às reações de oxirredução que ocorrem com o consumo de íons H^+ . Quando o solo atinge valores de pH ao redor de 6,5, o efeito do CO_2 começa a se acentuar em sentido contrário e os efeitos se anulam, atingindo o pH de equilíbrio (VAHL & SOUSA, 2004).

No cultivo de arroz sob sistema de irrigação por inundação intermitente, o solo alterna condições de oxidação e redução. Os compostos são reoxidados durante o período em que a umidade diminui e voltam a ser reduzidos com o retorno da lâmina de água. Nesse caso, a disponibilidade de nutrientes também pode variar.

Para a manutenção de uma lâmina de água contínua, o volume de água aplicado pode alcançar valores de aproximadamente $15.000\text{m}^{-3}\text{ ha}^{-1}$ (TOESCHER et al., 1997). Na busca de alternativas para diminuir o consumo de água na irrigação da cultura do arroz, Medeiros et al. (1995) realizaram, no município de Boa Vista (RR), um estudo comparando inundação contínua, inundação intermitente, saturação do solo e combinações desses sistemas de irrigação, e verificaram que não houve diferenças significativas entre eles na produtividade do arroz. Com o mesmo propósito em seus estudos, Stone (2005) demonstrou que reduzir a lâmina de água, manter o solo saturado ou inundação intermitente pode economizar de 30 a 75% da água de irrigação, sem diminuir significativamente a produtividade, em comparação com a inundação contínua.

No cultivo de arroz por inundação a exemplo do Rio Grande do Sul, o aumento do pH, a disponibilidade de nutrientes e possíveis elementos tóxicos ocorrem de forma natural, e a calagem é recomendada para diminuir os efeitos da acidez no período em que as plantas permanecem no solo sem o alagamento e fornecer Ca e Mg quando estes forem muito baixos, conforme a recomendação da CQFS RS/SC (2004) e SOSBAI (2014) para os estados do RS e SC. No entanto, o solo em estudo que apresenta elevada acidez potencial e níveis baixos de Ca e Mg, a calagem pode ser ainda mais importante e essencial, quando submetido a esse sistema de cultivo. Em função do exposto, realizou-se um estudo em casa de vegetação com o objetivo de avaliar o comportamento de um solo através da determinação do estado de oxirredução do solo, crescimento e estado nutricional do arroz em função da calagem e do manejo de água (capítulo 1).

O elevado índice de precipitação pluviométrica, a elevação do lençol freático e a baixa condutividade hidráulica dos solos podem favorecer o cultivo de arroz no período chuvoso sem o uso da irrigação e com o uso da irrigação suplementar por meio de sistemas de manejo de água, e promover o aumento da produtividade com a utilização de cultivares indicadas para o sistema inundado. Nesse sentido, realizou-se um estudo à campo no período chuvoso e determinou-se o estado de oxirredução do solo, volume de água consumida, crescimento e estado nutricional das plantas, produtividade e doenças no arroz em função do manejo de água e cultivares de arroz irrigado (capítulo 2).

O período seco é caracterizado pelos baixos índices de precipitação pluviométrica e o lençol freático em maior profundidade, o que pode levar a necessidade de um elevado volume de água em cada manejo de água. A utilização de manejos que proporcionem economia no uso de água e aumento da produtividade com a utilização de cultivares indicadas para o sistema inundado podem contribuir para cultivo de arroz nesse período. Diante do exposto, ao final do período seco foi realizado um experimento à campo e determinou-se o estado de oxirredução do solo, volume de água consumida, crescimento e estado nutricional das plantas, produtividade e doenças no arroz em função do manejo de água e cultivares de arroz irrigado (capítulo 3).

2 Revisão bibliográfica

2.1 O arroz no estado do Amazonas

O estado do Amazonas caracteriza-se pelo sistema de cultivo de arroz de terras altas, concentrando a maior área de exploração contínua e mecanizada em áreas de campos naturais na região sul do estado, nos municípios de Humaitá, Canutama e Lábrea. A produtividade média do arroz de terras altas no Amazonas (2.290 kg ha^{-1}) é inferior a de outros estados, a exemplo do arroz de terras altas produzido nos estados de Rondônia (3.423 kg ha^{-1}) e Mato Grosso (2.876 kg ha^{-1}), e ao do arroz irrigado por alagamento contínuo no estado do Rio Grande do Sul (6.837 kg ha^{-1}), safra 2015/16 (CONAB, 2016).

A produção de arroz no estado é insuficiente para atender a demanda por este importante alimento. O estado de Roraima foi, por muito tempo, o principal fornecedor de arroz para o Amazonas. Porém, áreas de produção de arroz daquele estado foram incorporadas a reserva indígena e hoje o arroz consumido no Amazonas vem das regiões sul e centro-oeste do Brasil e até mesmo da Argentina, o que encarece o produto no comércio local e torna a região dependente de fornecedores externos.

No cultivo do arroz de terras altas nos campos naturais da região sul do estado do Amazonas são utilizadas cultivares adaptadas para este sistema de cultivo. A calagem dos solos prevê elevar a saturação por bases para 40% e a adubação é de manutenção, atendendo as exigências nutricionais do arroz. A semeadura do arroz de terras altas normalmente é realizada entre os meses de setembro e novembro, marcado pelo início da estação chuvosa, quando o teor de umidade no solo é suficiente para a germinação das sementes. Normalmente o arroz ocupa a mesma área por 2 anos consecutivos e o controle de ervas daninhas é necessário a partir do segundo ano de cultivo. Posteriormente são introduzidas espécies forrageiras para formação de pastagem e a cultura da soja. A pressão de doenças como a brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha parda (*Bipolaris oryzae*) é menor no início da estação chuvosa, acentuando-se nos meses de maior índice de precipitação pluviométrica, exigindo maior número de aplicações com fungicidas. A colheita do arroz ocorre ao final do mês de dezembro, durante o mês de janeiro e podendo estender-se no mês de fevereiro, período em que aumentam os índices de

precipitação pluviométrica, eventualmente podendo prejudicar a colheita, principalmente no mês de fevereiro.

2.2 Descrição da região dos campos naturais

A área de estudo fica localizada no município de Humaitá, situado no sul do Amazonas. Braun & Ramos (1959) denominaram essas áreas de Campos Puciari – Humaitá, que foram divididas em sete unidades principais, obtendo um total de 341.644ha de campo, sem incluir as áreas de cerrado, cerradão e campo sujo, abrangendo os municípios de Humaitá, Lábrea e Canutama.

O município de Humaitá encontra-se em uma altitude de 90m acima do nível do mar e dista 588km de Manaus em linha reta e 959km via fluvial. Este município está a 200km de Porto Velho, capital de Rondônia, via BR – 319. Por esta rodovia o município é ligado a Manaus. Segundo “dados do DNAEE, código 00763001 Brasília – DF, a Latitude em Humaitá é igual 7° 30'00” S; “Longitude 63° 01' 01” WGr.

2.3 Precipitação pluvial e temperatura dos campos naturais

2.3.1 Precipitação pluvial

Baseado nas informações disponíveis no Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, do atlas climatológico do Brasil, atlas pluviométrico, das estações meteorológicas de Porto Velho, Lábrea e Humaitá, que circundam a zona dos campos naturais e das informações oficiais do Serviço de Meteorologia, Braun & Ramos (1959) constataram que a precipitação pluviométrica total média anual é de 2.361mm, considerada alta, apresentando dois períodos distintos: o primeiro chuvoso com nove meses de duração, somando uma precipitação média de 2.224mm, ocorrendo os maiores índices nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março; e o segundo período considerado mais seco, apresentando uma média de 137mm, ocorrendo nos meses de junho, julho e agosto, sendo julho o mês de menor índice, registrando 22,7mm.

Os dados meteorológicos entre os municípios de Humaitá e Porto Velho-RO apresentam algumas variações, mas com comportamento semelhante ao longo do ano, de acordo com dados observados no Instituto Nacional de Meteorologia

(INMET). Nesse sentido, optou-se em utilizar dados meteorológicos de longa duração da cidade de Porto Velho, quando estes não estavam disponíveis para o município de Humaitá. De acordo com as normais climatológicas de precipitação pluviométrica para Humaitá apresentados na figura 1 (INMET, 2009), algumas variações nos valores são observadas quando comparado com os resultados de Braun & Ramos (1959), possivelmente atribuídos ao período e ao método utilizado.

A normal climatológica de insolação total da cidade de Porto Velho (Figura 2) mostra a mudança brusca no aumento da insolação à medida que a precipitação diminui e a diminuição da insolação à medida que a precipitação aumenta ao longo do ano.

No geral, o produtor rural procura iniciar a semeadura das culturas anuais no mês de setembro, início do período chuvoso. No entanto, em alguns anos, em que a umidade do solo é ainda baixa nesse mês, o início da semeadura pode ocorrer no mês de outubro a até mesmo novembro. Isto porque ocorrem variações das médias de precipitação pluviométrica nos meses iniciais do período chuvoso ao longo dos anos.

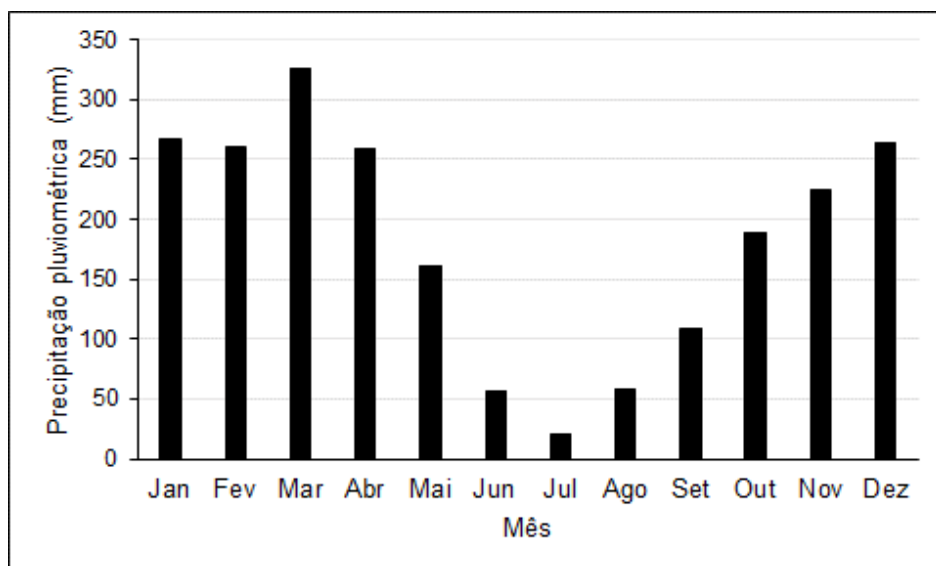


Figura 1 - Normal climatológica da precipitação pluviométrica de Humaitá no período de 1961 – 1990.

Fonte: INMET, 2009.

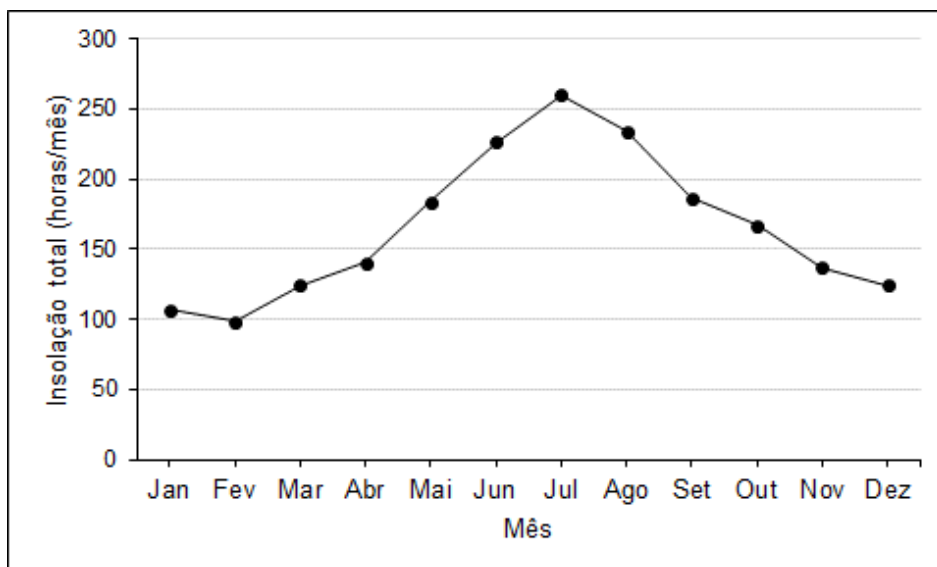


Figura 2 - Normal climatológica de insolação total (horas) da cidade de Porto Velho-RO, no período de 1961 – 1990.

Fonte: INMET, 2009.

2.3.2 Temperatura

Baseados nas informações para as cidades de Lábrea, Humaitá e Porto Velho, a amplitude térmica máxima ocorre ao longo dos meses de julho e agosto, com uma variação média de 13°C. Para os demais meses do ano, as temperaturas mantêm-se relativamente constantes, apresentando uma amplitude térmica máxima de 10°C. A temperatura média para a região dos campos é de 25,5°C (BRAUN & RAMOS, 1959).

De acordo com a normal climatológica da temperatura para a cidade de Porto Velho (Figura 3), a média anual é de 25,6°C (INMET, 2009), semelhante à temperatura média da região dos campos naturais. As temperaturas médias da mínima, máxima e compensada da cidade de Porto Velho (Figura 3), provavelmente ocorram nos campos naturais.

De acordo com Braun & Ramos (1959), o clima da região dos campos é úmido e quente e caracteriza-se por dois períodos distintos: o primeiro extremamente úmido e quente, com temperatura média de 25°C e o segundo período, relativamente seco, apresentando temperatura média de 26,5°C. Na

classificação de Köppen (VIEIRA & SANTOS, 1987), o clima em questão enquadra-se no tipo Am, tropical chuvoso, que apresenta um período seco curto. Conforme a normal climatológica da umidade relativa do ar média compensada para a cidade de Humaitá (Figura 4), variou de 78,4% no mês de agosto a 89% no mês de fevereiro, com média anual de 84,9% (INMET, 2009).

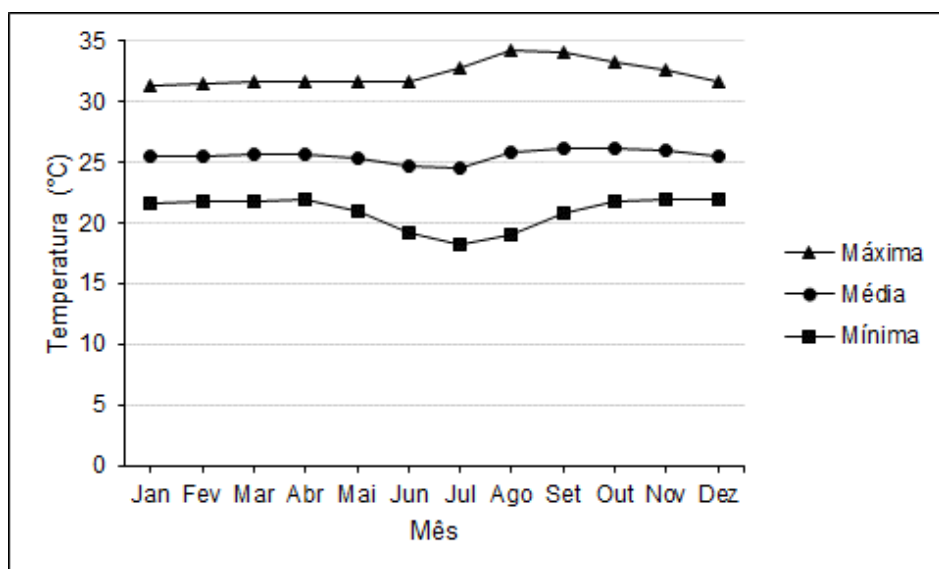


Figura 3 - Normal climatológica da variação das temperaturas média da mínima, média da máxima e média compensada da cidade de Porto Velho-RO no período de 1961 – 1990.

Fonte: INMET, 2009.

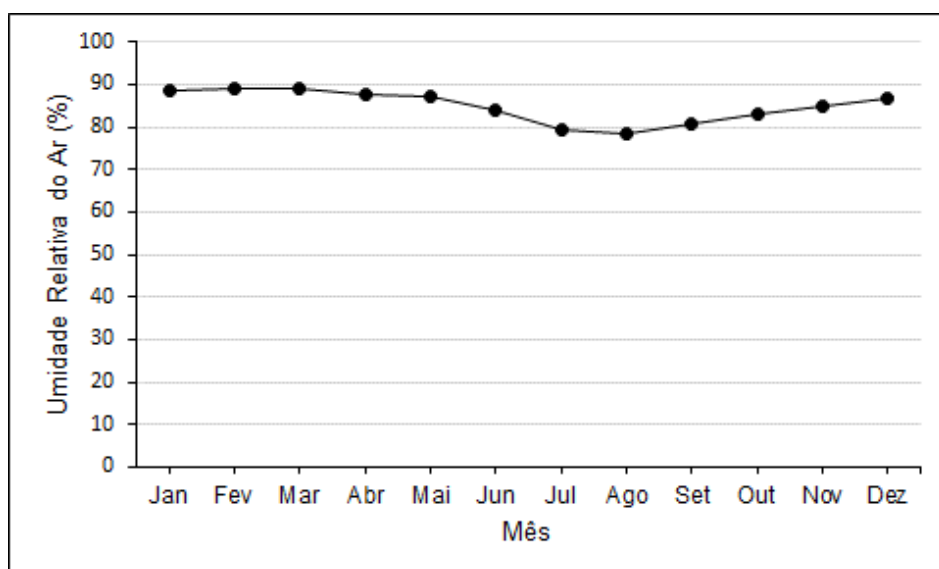


Figura 4 - Normal climatológica da Umidade Relativa do Ar média compensada (%) de Humaitá-AM no período de 1961 – 1990.

Fonte: INMET, 2009.

2.4 Relevo

Nos campos naturais e zona de transição para floresta, o relevo é aproximado ao do tipo “tabuleiro”, com bordos ligeiramente abaulados e pequenos desníveis. Da cota mais baixa nos igarapés em relação à cota mais elevada no terreno ocorre um desnível de 15 a 20m, geralmente de maneira súbita (BRAUN & RAMOS, 1959).

Os campos naturais não são totalmente planos, apresentando suaves ondulações e em alguns locais, ligeiras depressões (BRAUN & RAMOS, 1959). Em alguns pontos localizados no sentido mais baixo do terreno e de tamanho variado ocorrem ambientes em que o solo é mais frágil, dificultando as operações agrícolas, não oferecendo resistência suficiente ao trânsito das máquinas agrícolas no período de intensa precipitação pluvial.

2.5 Drenagem

No período da precipitação pluvial, a drenagem do solo nos campos é muito prejudicada, tornando-o intensamente encharcado, inundando temporariamente as áreas de depressão, que secam no período seco. A drenagem ocorre de forma lenta, muitas vezes dificultada em função das condições topográficas. A infiltração é reduzida e muito dificultada, devido à impermeabilidade do solo (BRAUN & RAMOS, 1959).

No período da seca, boa parte da água é evaporada, devido à intensa insolação na região e ao relativo abaixamento do grau de umidade local, tornando o solo extremamente seco e dotado de fraturas de ressecamento (BRAUN & RAMOS, 1959).

2.6 Lençol freático

Na região do estudo, o comportamento do lençol freático é variável ao longo do ano, como mostra a figura 5, a relação entre as variações sazonais do lençol e a pluviosidade (GRIMALDI et al., 1999 apud ROSOLEN, 2000). Segundo o estudo de Grimaldi et al. (1999) apud Rosolen (2000), foram instalados 5 piezômetros ao longo de uma vertente, P1 a P5, sendo que o P1 estava localizado na depressão e o ponto P5 no platô, todos a uma profundidade de 7,5m (Figura 5). No ponto P1, na

depressão (a jusante), foram realizadas medidas da altura da água acima da superfície do solo com uma escala métrica. O nível 0 na figura 5 corresponde ao nível topográfico do ponto P5 (no platô, a montante) e o nível -2, corresponde ao nível topográfico no fundo da depressão, sendo todos os níveis estão tendo como referência o nível 0 em P5. No período seco (24/09 a 22/10), o lençol varia entre os níveis de -4,8 e -5,5m em P5 e -5,5 e -5,8 em P1, considerada fraca. No período de 05/11 a 20/11 a subida do lençol é rápida, alcança o nível de -2m em P5 e atinge a superfície da depressão em P1, devido às chuvas de final de outubro e início de novembro. As chuvas fortes de final de novembro e início de dezembro fizeram o lençol novamente subir e permanecer praticamente constante durante toda a estação. Em tais condições, os níveis situam-se entre -1 e -1,5m em P5 e 0,5m acima do nível da superfície em P1. Durante esta estação, o lençol em P5 alimenta P1. No momento em que diminuem as chuvas, gradativamente os níveis de lençol começam a baixar. Nos meses de junho e julho, que marca o início do período seco, todos os níveis de lençol estão abaixo do nível da depressão.

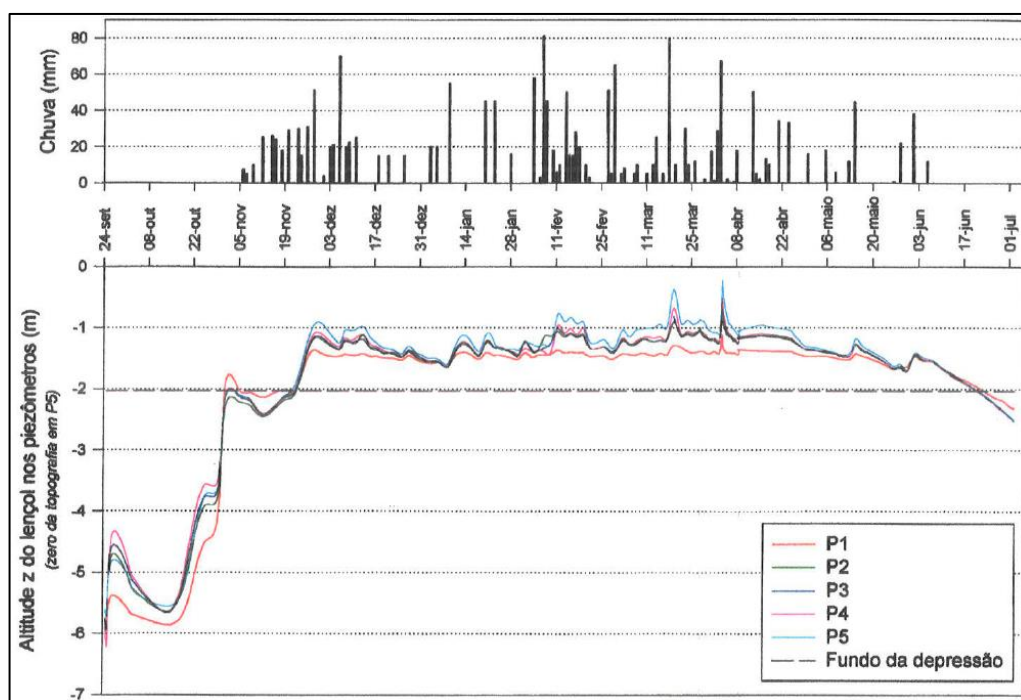


Figura 5 - Dinâmica do lençol freático na vertente, no período de novembro de 1997 a julho de 1998. Piezômetros instalados ao longo da vertente (P1 a P5, estando o P1 localizado na depressão e o ponto P5 no platô).

Fonte: Projeto Dilat/Amazônia apud Rosolen (2000).

2.7 Vegetação

Com relação à vegetação, a região é destacada pela floresta e pelos campos naturais. No caso dos campos naturais da região sul do estado do Amazonas são encontradas diferentes denominações descritas por vários autores, como Savana ou Cerrado, que se diferenciam em Savana Arbórea, Savana Parque e Savana Arbórea densa; Campos de Puciari–Humaitá e inclui várias formações campestres, onde a vegetação que prevalece é a gramíneo-lenhosa baixa, que se alternam, às vezes, pequenas árvores isoladas e galerias florestais ao longo dos rios, numa referência às unidades isoladas que ocorrem entre os rios Ituxi e Madeira; campo limpo, em menor proporção, e campo sujo, coberto por gramíneas associadas a arbustos e árvores com predomínio de mangabeira (*Hancornia speciosa*); campo e cerrado (BRASIL, 1978; BRAUN & RAMOS, 1959). O aspecto fito fisionômico característico da região pode ser resumido na seguinte sequência: floresta – cerradão – cerrado - campo sujo - campo. As espécies vegetais mais encontradas na região são: mangaba *Hancornia speciosa*, buriti *Mauritia flexuosa*, *Byrsonima verbascifolia*, lixeira *Curatella americana*, *Roupala complicata*, *Antoria ovata* (BRAUN & RAMOS, 1959).

O ciclo vegetativo da maioria das espécies é interrompido no período de seca da região, devido ao esgotamento de umidade do solo com a descida do nível do lençol freático e evaporação intensa, contribuindo negativamente as queimadas periódicas, acidentais ou propositas da vegetação, resultando na escassez de detritos vegetais formadores de húmus no solo (BRAUN & RAMOS, 1959).

2.8 Pedogênese

O solo se origina das argilas siltosas da formação Barreiras, em clima quente e úmido, de drenagem semi-impedida, devido a condições topográficas (BRAUN & RAMOS, 1959). Entre as suas características, apresenta mosqueados em seus horizontes com espessura e profundidade variados. Os mosqueados são resultado da flutuação do lençol freático, associado às condições de drenagem do perfil do solo, sendo a parte superior do horizonte mosqueado ao nível do lençol freático no período chuvoso e a espessura desse horizonte corresponde a amplitude dessa flutuação. No momento de descida do lençol freático (onde a drenagem é facilitada)

o ferro é oxidado adquirindo cor vermelha e, onde a drenagem é impedida, ocorre à hidratação do ferro, que é solubilizado e transportado para outros horizontes no solo. Os locais de remoção do ferro são caracterizados pela cor acinzentada (BRAUN & RAMOS, 1959).

Nos solos dos campos naturais, os mosqueados ocorrem de 0,15 a 2m de profundidade, demonstrando que o lençol freático se aproxima da superfície no período das chuvas e, no período seco, devido à grande insolação, a água superficial é evaporada e o lençol freático baixa sensivelmente. O clima local e a condição topográfica dos campos influenciam a movimentação do lençol freático (BRAUN & RAMOS, 1959). Na prática, durante o manejo da cultura do arroz não é difícil de constatar essa realidade, pois o solo nas áreas mais planas, rapidamente fica encharcado, devido à dificuldade na drenagem da água favorecido pela topografia e a infiltração reduzida pela impermeabilidade do solo.

Braun & Ramos (1959), observando o solo durante o período seco, descrevem que ocorre a desidratação relativamente rápida da argila, formando fendas em superfície e uma estrutura em blocos de 0,02 a 0,05m nos horizontes mais inferiores. No início do período chuvoso, a água das primeiras chuvas é drenada ao longo das fendas e interstícios, carreando materiais dos horizontes superiores para os mais profundos. Esse processo logo é reduzido e, finalmente, interrompido pela ascensão do lençol freático. Dessa forma fica impedido o desenvolvimento de um solo profundo, friável e de cor uniforme. No entanto, são encontradas pequenas concreções de laterito nas manchas vermelhas do mosqueado, indicando um estágio inicial e mal definido de laterização. Os mesmos autores não observaram a presença de camadas com laterito em horizontes mais inferiores, ou seja, até 3,0m de profundidade; porém, é possível que ocorram em maiores profundidades, já observado em solos da Amazônia.

2.9 Geologia e geomorfologia

Quanto à geologia, há uma diversidade dos materiais relacionados à sua natureza e idade geológica na região do médio Rio Madeira. As áreas de campos naturais na região do Médio Madeira são formadas a partir de aluviões indiferenciados ou antigos, oriundos do Holoceno e advindos de dois ciclos de sedimentação. O primeiro denominado banco arenoso, inferior, que representa a

sedimentação plúvio-fluvial, e o segundo ciclo por sedimentos argilosos superiores, indicando sedimentação lacustrina. Constituído por argilas, siltes e areias muito finas a grossas, diminuindo a granulometria para o topo. Predominam areias finas, localmente com estratificações plano-paralelas horizontais e cruzada tabular de pequeno a médio porte; intercalações e interdigitações de material siltico e argiloso, níveis de concentração ferruginosa com lâminas liminolíticas, pelotas de argila dispersa e, ocasionalmente, lentes de conglomerados (BRASIL, 1978). Braun & Ramos (1959) fazem uma descrição da formação dos solos e, em resumo, o material originário do solo dos campos são as argilas siltosas da formação Barreiras.

O Zoneamento Econômico Ecológico – ZEE do Sul-Sudeste do Amazonas (2008) mostra que o relevo da planície Amazônica tem como principal característica a presença de uma superfície pediplanada, localmente interrompida por colinas de topo plano, onde forma uma zona de transição, a depressão marginal sul Amazônica, esculpida sobre os terrenos do embasamento cristalino, caracterizada por colinas, superfícies tabulares e formas de relevo residual.

2.10 Solos

O levantamento realizado mais recentemente por Campos et al. (2012) classificou os solos em ambiente não antropizado em toposequência na sequência Campo/Floresta subdividida com base na vegetação e no relevo em quatro unidades pedoambientais: campo alto com posição mais elevada no relevo, campo baixo em posição mais baixa, zona de ecótono em posição mais rebaixada e floresta nas áreas mais elevadas. Na primeira unidade pedoambiental, campo alto, o solo foi classificado em Cambissolo Háplico Alítico plântico, textura média, A moderado, apresentando horizonte plântico a 0,90m de profundidade. Na segunda unidade pedoambiental, campo baixo, o solo foi classificado em Gleissolo Háplico Alítico típico, textura siltosa/argilosa, A moderado, restritas as condições de drenagem, com cores de redução a partir dos 0,27m. Na terceira unidade pedoambiental, zona do ecótono, o solo foi classificado em Cambissolo Háplico Alítico gleissólico, textura siltosa, A moderado, menos evoluído, com pior condição de drenagem entre os Cambissolos, comprovada pela presença de um horizonte glei a 0,90m de profundidade. Na quarta unidade pedoambiental, sob floresta, o solo foi classificado em Argissolo Vermelho Alítico plântico, textura média (leve)/média, A moderado,

mais bem drenado, contribuindo para um maior desenvolvimento pedogenético, apresentando horizonte plúntico a 1,30m.

2.11 Efeitos do alagamento no solo

No momento em que o solo é alagado, praticamente toda a porosidade é ocupada pela água, iniciando um período de adaptação marcado pela mudança na atividade bioquímica (VAHL, 1982). Após o alagamento, os microrganismos aeróbios consomem o O_2 presente no solo e tornam-se inativos ou morrem. Os microrganismos anaeróbios facultativos e obrigatórios passam a proliferar à custa da energia fornecida pela matéria orgânica (PONNAMPERUMA, 1972).

A redução do solo se dá através da redução de compostos oxidados considerados receptores de elétrons na respiração anaeróbia e fermentação pelos microrganismos (VAHL, 1982). Os principais compostos oxidados que se reduzem são por ordem: nitrato, óxidos mangânicos, óxidos férricos, produtos intermediários da decomposição da matéria orgânica e o sulfato (PONNAMPERUMA, 1972).

Em solos alagados com o desaparecimento do O_2 , formam-se duas camadas distintas devido a um gradiente de concentração de oxigênio: uma camada oxidada mais superficial, que pode atingir até 1 cm de espessura, onde a difusão do O_2 é suficiente para manter um nível para o consumo dos microrganismos aeróbios, e abaixo dessa uma camada reduzida. No caso específico da cultura de arroz irrigado por alagamento, ainda é possível identificar outra zona oxidada, a rizosfera, que representa a região do solo imediatamente em contato com a raiz e que sofre influência da atividade do sistema radicular. A planta de arroz possui a capacidade de transportar o oxigênio das folhas até as raízes através de tecidos especializados (aerênquimas). A oxidação da rizosfera pode ser comprovada pela coloração avermelhada do sistema radicular do arroz, em decorrência da oxidação e precipitação de óxidos de Fe sobre as raízes. Em decorrência dessas alterações físicas e biológicas, se verificam algumas mudanças químicas e eletroquímicas como: diminuição do potencial de oxirredução, alterações de pH e um aumento da concentração de Fe (SOUSA et al., 2010).

O maior ou menor estado de oxirredução do solo, que vai interferir na redução do ferro e nos demais compostos oxidados, é condicionado pela atividade dos microrganismos anaeróbios, que é profundamente influenciado pelo manejo de

água. O alagamento contínuo aumenta as condições de anaerobiose o que favorece a redução dos compostos oxidados. No cultivo de arroz alagado sob sistema de irrigação intermitente, o solo vai alternar condições de oxidação e redução. Os compostos serão re-oxidados durante o período em que a umidade diminui, e voltarão a ser reduzidos com o retorno da lâmina de água (SOUSA et al., 2010).

O potencial redox (Eh) do solo nas primeiras horas de alagamento apresenta valores semelhantes aos de um solo oxidado. À medida que o metabolismo anaeróbico se intensifica, o Eh vai diminuindo, podendo atingir valores negativos em poucos dias, dependendo de alguns atributos químicos de cada solo (SOUSA et al., 2010).

O aumento do pH em solos alagados ocorre pelo consumo de H^+ nas reações de redução, que depende da atividade microbiana do solo, sendo um processo gradual e progressivo, até atingir um ponto de equilíbrio (PONNAMPERUMA, 1972). O pH de solos ácidos apresenta um pequeno decréscimo inicial, normalmente no primeiro e/ou segundo dia de alagamento, seguindo por um aumento até um valor máximo constante de 6,5 a 7,5 em 2 ou 3 semanas. A diminuição inicial é devido ao acúmulo de CO_2 e o aumento posterior é devido às reações de oxirredução que ocorrem com o consumo de íons H^+ . Quando o solo atinge valores de pH ao redor de 6,5, o efeito do CO_2 começa a se acentuar em sentido contrário e os efeitos se anulam, entrando o pH em equilíbrio (VAHL & SOUSA, 2004). Em solos alcalinos, o pH sofre um leve decréscimo ou permanece próximo aos valores originais (SOUSA et al., 2010).

Segundo estudo realizado por SOUSA et al. (2002), a concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução do solo aumentou até atingir um valor máximo ao redor dos 35 dias de alagamento, em seguida decrescendo, para valores que se mantiveram aproximadamente constantes até o final da amostragem.

2.11.1 Aspectos que afetam os microrganismos no solo

Os microrganismos quimiorganotróficos, também denominados heterotróficos, utilizam compostos orgânicos como fonte de carbono e energia. Embora suas células consistam basicamente em H, O, C, N, P e S, outros elementos químicos são metabolizados pelos microrganismos. As quantidades requeridas pelos microrganismos são divididas em macronutrientes, requeridas em grandes

quantidades, e micronutrientes, requeridas em menor quantidade. O Mg atua na estabilização de ribossomos, membrana celular e ácidos nucleicos, bem como na atividade enzimática relacionada a transferência de fosfato (MADIGAN et al., 2010).

Além da nutrição dos microrganismos, que é fundamental para o crescimento microbiano, outros fatores podem influenciar o crescimento, a exemplo do pH do solo. Cada microrganismo apresenta uma faixa de pH em que o crescimento é possível e normalmente apresentam um pH ótimo bem definido. Essa faixa de pH pode variar de 2-3 unidades, que se situa entre 6 e 8 para a maioria dos microrganismos. Além do pH externo, os microrganismos possuem o pH intracelular, normalmente próximo a neutralidade. Para sobreviver, deve ser capaz de manter seu pH intracelular próximo a neutralidade, absorvendo ou liberando H^+ até um determinado limite, diante das variações externas do pH (Madigan et al., 2010). Variações do pH podem ocorrer em função das reações metabólicas dos microrganismos que consomem ou produzem substâncias ácidas ou básicas. Para controlar essa variação de pH nos estudos de laboratório, são adicionados produtos com ação de tamponamento, a exemplo do carbonato de cálcio ($CaCO_3$), para garantir o pH mais estável e permitir o crescimento microbiano em meio de cultura. Seguindo esse raciocínio, o pH mais elevado e estável proporcionado pela calagem, pode favorecer uma maior população de microrganismos anaeróbios facultativos e obrigatórios no solo.

Estudos mostram que o pH foi fator chave na determinação das estruturas comunitárias de bactérias do solo (LAUBER et al., 2009; GRIFFITHS et al., 2011), além da disponibilidade de Mn e K (SHENG et al., 2015). Para avaliar o efeito do pH sobre os microrganismos, os autores Jia et al. (2015) submeteram dois solos a diferentes níveis de pH inicial, modificado com a adição de sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) e carbonato de sódio (Na_2CO_3) para compor os tratamentos de pH 3,91, 5,26, 7,12, 8,14 e 9,32. Os autores observaram que no primeiro solo os tratamentos de pH inicial de 3,91 e 5,26, após 40 dias de incubação aumentaram para 5,48 e 6,10, respectivamente. No segundo solo, o tratamento com pH inicial de 3,91 aumentou para 6,54. Acreditam que o Al^{3+} exerceu um efeito tóxico sobre os microrganismos do solo.

2.12 A calagem em solos alagados

No cultivo de arroz alagado do Rio Grande do Sul, a semeadura na maioria das vezes acontece em solo seco e a inundação é iniciada ao redor de 20 dias após a emergência. Nessa situação, a correção da acidez e condições mais adequadas ao crescimento da cultura ocorre próximo ao final do subperíodo vegetativo. No entanto, é no subperíodo vegetativo que a planta absorve grande parte dos nutrientes essenciais. Admite-se que nesse sistema de cultivo, a calagem realizada em época adequada corrige a acidez e propicia melhores condições para a planta desde o início de seu ciclo. Essa hipótese foi confirmada em vários experimentos conduzidos em Planossolos Hidromórficos do Rio Grande do Sul (SCIVITTARO & MACHADO, 2004). A calagem para os solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul é recomendada quando o pH em água for menor que 5,5 e a saturação por bases menor que 65% (SOSBAI, 2016).

Os solos dos campos naturais apresentam teores muito baixos de Ca e Mg e, elevada acidez potencial, é provável que a calagem seja essencial para o cultivo de arroz irrigado num Gleissolo dos campos naturais. A necessidade ou não da calagem levou a realizar o primeiro estudo para avaliar a oxirredução do solo, crescimento e estado nutricional do arroz em função da calagem e do manejo de água.

3 Capítulo 1 – Oxirredução do solo, crescimento e estado nutricional do arroz em função da calagem e do manejo de água

3.1 Introdução

Os solos cultivados com arroz (*Oryza sativa L.*) por alagamento apresentam uma série de transformações nas características físicas, químicas, eletroquímicas e biológicas, relacionadas a alteração no processo de oxirredução, liberação de ferro e o aumento do pH, que normalmente condicionam o aumento da disponibilidade de nutrientes às plantas de arroz.

O maior ou menor estado de oxirredução do solo, que vai interferir na redução do ferro e nos demais compostos oxidados, é condicionado pela atividade dos microrganismos anaeróbios, que é profundamente influenciada pelo manejo de água. O alagamento contínuo aumenta as condições de anaerobiose o que favorece a redução dos compostos oxidados. Em solo saturado e condições semelhantes, a oxidação e redução vão se alternando, diminuindo as condições de anaerobiose e, por conseguinte, a redução de compostos oxidados (BORIN et al., 2016). Nessas condições, os teores de ferro na solução do solo possivelmente são menores e os teores de K, Ca e Mg deslocados para a solução são também menores. Schmidt et al. (2013) demonstrou em seu estudo, que foi possível reduzir o teor de ferro e/ou alterar a época de liberação dos maiores teores no solo através de diferentes manejos de água com drenagens ao longo do ciclo do arroz.

Nos solos de várzea cultivados com arroz irrigado por inundação a exemplo do Rio Grande do Sul, o aumento do pH e disponibilidade de nutrientes e possíveis elementos tóxicos ocorrem de forma natural. O arroz quando é semeado em solo seco e o alagamento do solo ocorre após alguns dias da emergência, a calagem tem se mostrado eficiente para diminuir os efeitos da acidez no período em que as plantas permanecem no solo sem o alagamento e fornecer Ca e Mg quando estes

forem muito baixos, conforme as recomendações da CQFS RS/SC (2004) e SOSBAI (2014) para os estados do RS e SC. Além disso, a calagem também está entre as práticas recomendadas para diminuir os teores de Fe nos solos que podem apresentar toxidez por Fe (SOSBAI, 2014). Entretanto, os benefícios proporcionados pela calagem no arroz irrigado por inundação não é observada em todos os solos (SILVA & RANNO, 2005).

Nos solos dos campos naturais que são ácidos, com elevada saturação por alumínio (Al^{3+}), baixos teores de nutrientes e com baixa CTC, a aplicação de calcário é realizada para neutralizar a acidez e fornecer Ca e Mg, e a adição de fertilizantes químicos para atender as necessidades nutricionais das plantas nas condições de sequeiro. Quando estes solos são submetidos ao alagamento no cultivo do arroz irrigado, é provável que os benefícios proporcionados por este sistema sejam menores, como o aumento do pH e disponibilidade de nutrientes, normalmente observados em solos de várzea tradicionalmente cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Assim, as hipóteses do estudo são: a calagem nos solos dos campos naturais é essencial, quando comparada aos solos de várzea cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul; a calagem é necessária para intensificar o aumento do pH normalmente observado em solos alagados; o manejo alagado na presença da calagem promove o maior estado de redução do solo; na presença da calagem o manejo de água não interfere na nutrição das plantas e produção de massa seca da parte aérea do arroz (MSPA).

Em função do exposto, foi realizado o presente estudo com o objetivo de avaliar o efeito da calagem e do manejo de água na dinâmica da redução do solo e na nutrição do arroz irrigado num solo dos campos naturais da região sul do estado do Amazonas.

3.2 Material e Métodos

O solo utilizado no estudo foi coletado na área agrícola da Fazenda Brasília, localizada na BR 319 km 15, de coordenada geográfica 7° 40' 53,50" S e 63° 9' 45,59" W, no município de Humaitá do estado do Amazonas. A coleta do solo foi realizada em um único local da camada superficial (0-20cm) de um Gleissolo em área de campo natural nativo nunca cultivado.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). As análises laboratoriais do experimento foram realizadas nos Laboratórios do Departamento de Solos da FAEM/UFPEL. O estudo compreendeu a avaliação dos efeitos dos fatores:

Fator A – Calagem:

- Com calagem – adição de óxidos de cálcio e magnésio;
- Sem calagem.

Fator B - Manejo de água:

- Solo alagado;
- Solo saturado

Tratamento adicional (testemunha): Solo alagado sem calagem e sem adubação química completa.

Os tratamentos consistiram da combinação dos níveis dos fatores experimentais e do tratamento adicional (TCA: com calagem e solo alagado; TCS: com calagem e solo saturado; TSA: sem calagem e solo alagado; TSS: sem calagem e solo saturado; TA: adicional – solo alagado sem calagem e sem adubação química completa), num esquema fatorial 2x2+1, com quatro repetições. Os vasos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, totalizando 20 unidades experimentais. As unidades experimentais foram compostas por amostras de 6,5kg de solo seco e 4 plantas de arroz da cultivar BRS Pelota dispostas em vasos plásticos. A cultivar BRS Pelota foi escolhida, pois, além de apresentar um alto potencial produtivo, mostra sensibilidade à toxidez por ferro.

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com abertura de malha de 10mm e colocadas em vasos plásticos de 8 litros, em quantidade equivalente a 6,5kg de solo seco por vaso. Amostras do solo foram submetidas a análise química. A determinação do pH em água, dos cátions trocáveis

Ca, Mg, Mn e Al (extraídos com KCl 1mol L⁻¹), do P, K e Na (extraídos pelo método Mehlich-1), do Zn e Cu (extraídos com HCl 0,1mol L⁻¹) e do ferro (Fe_o) extraível por oxalato de amônio 0,2mol L⁻¹ pH 3,0 seguiram os procedimentos conforme descrito em Tedesco et al. (1995). Os resultados seguem na tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise química do solo coletado na camada de 0,0 – 0,20m.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T ¹	V ²	m ³	MO	Fe _o	Zn	Mn	Cu
H ₂ O	mg kg ⁻¹	-----	-----	cmol _c kg ⁻¹ -----	-----	-----	-----	%	%	g kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹ -----	-----	-----
4,55	0,59	0,06	0,3	0,1	2,3	7,53	8,0	6	83	23	2846	0,8	4,2	1,2

¹T: CTC a pH 7; ²V: saturação por bases; ³m: saturação por alumínio.

As doses de calcário e fertilizantes foram calculadas baseado na análise do solo e na recomendação de adubação para o cerrado (SOUSA & LOBATO, 2004). O corretivo de acidez foi composto por uma mistura de óxido de cálcio e magnésio puro (relação 3:1) na dose de 2,25Mg ha⁻¹ com PRNT de 192,33%, elevando a saturação por bases à 60%, correspondendo a 1125,07mg kg⁻¹ da mistura por kg de solo. O corretivo foi moído e passado em peneira para uma melhor uniformização no momento da aplicação ao solo, sendo aplicado individualmente em cada vaso, misturando-o uniformemente aos 6,5kg de solo. Os solos passaram por um período de 21 dias de incubação permitindo que se processassem as reações entre o solo e o calcário. Aos 11 dias após o início da incubação, o pH médio do solo era de 6,26.

As doses de fósforo e potássio aplicadas corresponderam ao dobro da recomendação de adubação para o cerrado brasileiro baseada em Sousa & Lobato (2004) (90mg kg⁻¹ de P₂O₅ e 45mg kg⁻¹ de K₂O). As fontes de P e K foram o superfosfato simples e o cloreto de potássio respectivamente. Para a correção de zinco e cobre foram aplicados 3,412mg kg⁻¹ de Zn, na forma de sulfato de zinco (Zn 22,75%), e 2,545mg kg⁻¹ de Cu, na forma de sulfato de cobre (Cu 25,45%), respectivamente. A adubação foi efetuada misturando-se os adubos ao solo de cada vaso, exceto no tratamento adicional, dois dias antes da semeadura do arroz.

Extratores de solução do solo, semelhantes aos desenvolvidos por Sousa et al. (2002), foram acomodados no solo a 0,10m de profundidade à medida que as amostras foram sendo colocadas nos vasos.

Foram semeadas manualmente 12 sementes da cultivar BRS Pelota em cada unidade experimental. Depois da emergência, o solo foi mantido a 18% de umidade gravimétrica até a aplicação dos tratamentos de manejo de água.

A aplicação dos tratamentos quanto ao manejo de água teve início 7 dias após a emergência das plantas de arroz com a aplicação de uma lâmina de água de 5cm mantida constante até o final do experimento por meio de irrigações diárias com água destilada no tratamento solo alagado. No tratamento solo saturado a irrigação era efetuada em quantidade suficiente para manter o solo saturado, sendo esta realizada até o início da formação de uma fina (3mm) lâmina de água na superfície do solo.

No momento de aplicação dos tratamentos foi realizado o desbaste das plantas para a manutenção de 8 plantas de arroz por vaso. Passados 15 dias após o início do alagamento (DAM), um segundo desbaste foi realizado, permanecendo 4 plantas de arroz até o final do estudo.

A dose de nitrogênio de 100mg de N kg⁻¹ de solo na forma de ureia e potássio na dose de 90mg de K₂O kg⁻¹ de solo na forma de cloreto de potássio, ambos diluídos em água, foram aplicados em cobertura divididos em quatro e duas vezes, respectivamente. O tratamento adicional recebeu somente a última dose de potássio.

As coletas de solução do solo foram realizadas a cada 7 dias após aplicação do alagamento nas unidades experimentais. As análises de pH e Eh da solução do solo foram feitas com eletrodo combinado específico, ligado a um potenciômetro e previamente instalado em uma célula eletrométrica, construída em vidro, semelhante à utilizada por Sousa et al. (2002). Como a célula permaneceu cheia de solução durante as leituras, foi possível minimizar o contato desta com o oxigênio molecular, diminuindo os riscos de alteração das suas características eletroquímicas. Após as determinações do pH e Eh, as amostras foram filtradas em filtro millipore de 0,45µm, transferindo-se aproximadamente 30mL de solução para frascos de vidro contendo 1mL de HCl 3mol L⁻¹, resultando na concentração final de HCl da amostra em torno de 0,1mol L⁻¹, que possibilitou, desta maneira, a análise da composição química das amostras em laboratório. Nas amostras da solução do solo foram avaliados ainda os teores de ferro, manganês, zinco, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, segundo método descrito em Sousa et al. (2002).

A avaliação de toxidez por ferro na folha foi realizada através da contagem do número de perfilhos, folhas verdes, mortas, descoloridas e com bronzeamento em cada vaso. Em seguida foi determinado o total de folhas com sintomas (mortas, descoloridas e com bronzeamento) e folhas com bronzeamento, a partir das quais foi calculado o percentual do total de folhas com sintomas de toxidez por ferro e o percentual de folhas com bronzeamento em relação ao total de folhas de cada vaso.

O arroz foi cultivado até a diferenciação da panícula. A coleta da parte aérea das plantas foi realizada 60 dias após a semeadura com o corte rente ao solo, secas em estufa a 60°C de temperatura, até peso constante. Foram determinados a massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas por vaso e os teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn no tecido do arroz no laboratório da FAEM, seguindo a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). A interpretação dos teores de nutrientes foi baseada em ensaios para o arroz (FAGERIA, 1989).

Os resultados da análise da solução do solo coletado ao longo do experimento foram avaliados através da análise de medidas repetidas. As unidades experimentais (vasos) corresponderam as combinações de dois níveis de calagem e dois níveis de manejo de água, representadas pelos tratamentos TCA, TCS, TSA, TSS. Além de um tratamento adicional (TA), que consistiu da combinação do nível sem calagem e nível alagado sem adubação química, todos foram aleatoriamente distribuídos; enquanto os dias de coleta da solução do solo corresponderam as avaliações no tempo, que foram alocadas nas subunidades. Como dia de coleta não pode ser alocado aleatoriamente às subunidades (FREITAS et al., 2011) e há uma dependência temporal nos erros, a análise recomendada foi de medidas repetidas. O procedimento utilizado na análise estatística foi o modelo misto (MIXED) do software SAS (SAS INSTITUTE, 2003). A seleção da matriz mais adequada aos dados foi a que apresentou o menor valor de AIC (Akaike's Information Criterion) e BIC (Bayesian Information Criterion) (YAFFEE, 2004). A comparação das médias duas a duas por meio do teste t ao nível de 5% de significância. O tratamento adicional foi comparado com cada tratamento por meio do teste t ao nível de 5% de significância.

Os resultados de tecido do arroz foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não apresentaram normalidade estes foram transformados para a análise. A análise de variância foi realizada por meio do teste F ao nível de 5% de significância e a comparação das médias por meio do teste de Tukey ao nível

de 5% de significância. A média do tratamento adicional foi comparada com as demais médias pelo teste de Dunnett a 5% de significância. Os cálculos da análise estatística foram realizados manualmente e com o auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2007).

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Valores do potencial de oxirredução (Eh) e pH da solução do solo

Houve efeito de interação dos fatores calagem, manejo de água e tempo para as variáveis Eh e pH da solução do solo (Apêndice A). De modo geral, a calagem promoveu os menores valores do Eh e maiores valores do pH em ambos os manejos. O manejo de água alagado em solo com calagem promoveu baixos valores do Eh. Os valores do pH foram similares entre os manejos, diferindo apenas em uma avaliação (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores médios do potencial redox (Eh) e pH da solução de um solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento mais o tratamento adicional.

Calagem	Dias após o início do manejo de água saturado e alagado do solo (DAM)							
Manejo	1	8	15	25	32	39	46	53
-----Eh-----								
Com								
Alagado	375Ba [#]	159Bb [#]	122Cc [#]	121Bc [#]	66Cd [#]	36Ce [#]	32Ce [#]	42Bde [#]
Saturado	371Ba [#]	154Bb [#]	209Bc [#]	148Bbd [#]	163Bbde [#]	126Bbdf [#]	88Bg [#]	78Bg [#]
Sem								
Alagado	489Aa [#]	372Ab	339Ac	253Ad	185Be	166Aef	144Af	147Af
Saturado	473Aa	382Ab	344Ac	263Ad	224Ae	153ABf	167Af	167Af
Adicional	445a	371b	325c	257d	216e	186f	144g	133g
-----pH-----								
Com								
Alagado	5,57Aa [#]	5,73Ab [#]	6,03Ac [#]	6,38Ad [#]	6,43Ad [#]	6,47Ad [#]	6,41Ad [#]	6,41Ad [#]
Saturado	5,46Aa [#]	5,62Ab [#]	6,13Ac [#]	6,28Ad [#]	6,17Bc [#]	6,39Ade [#]	6,40Ade [#]	6,43Ae [#]
Sem								
Alagado	3,93Ba [#]	4,23Bb [#]	4,57Bc [#]	5,09Bd [#]	5,30Ce [#]	5,69Cf [#]	5,73Bf [#]	5,84Bg [#]
Saturado	3,95Ba [#]	4,24Bb [#]	4,54Bc [#]	4,98Bd [#]	5,21Ce [#]	5,46Bf [#]	5,82Bg	5,86Bg [#]
Adicional	4,63a	5,14b	5,29c	5,52d	5,65e	5,85f	5,90fg	5,98g

¹TA (Adicional): sem calagem, alagado e sem adubação química. ²Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si pelo teste t (p < 0,05). Médias seguidas do símbolo # diferem da média do tratamento adicional pelo teste t (p < 0,05).

O Eh de todos os tratamentos diminuiu ao longo do período de alagamento (Tabela 2) em decorrência da redução dos compostos oxidados pelos microrganismos anaeróbios (PONNAMPERUMA, 1972; SOUSA et al., 2002). Na combinação dos níveis calagem e alagado, esse decréscimo foi significativo ao longo das avaliações, a exceção entre os 15 e 25 dias após o início do manejo de água (DAM) e entre os três últimos dias avaliados, tendendo a uma estabilidade. Conforme já explicado, o decréscimo acentuado dos valores do Eh foi atribuído ao

intenso metabolismo anaeróbio (PONNAMPERUMA, 1972; SOUSA et al., 2002) proporcionado pelo manejo alagado e a calagem. O mesmo não ocorreu na combinação dos níveis calagem e saturado, onde os valores do Eh se alternam em maior e menor, poucas vezes diferentes entre si. Esse fato pode ser atribuído a alternâncias de oxidações e reduções que ocorrem no solo, causadas pela difusão de pequenas quantidades de oxigênio do ar em contato com a superfície do solo saturado. Estudos revelaram que, com a supressão da irrigação, o solo em alguns momentos se reoxida e os valores do Eh aumentam (SCHMIDT et al., 2013; BORIN et al., 2016). Os tratamentos sem calagem no alagado e no saturado, e o adicional apresentaram comportamento semelhante entre si no tempo, com decréscimos significativos e com tendência à estabilidade, nas últimas avaliações. Os decréscimos mais lentos podem ser atribuídos à menor intensidade da atividade microbiana num ambiente desfavorável devido à ausência da calagem nos manejos alagado e saturado, que foram similares entre si.

O valor do Eh foi menor no nível com calagem em relação ao nível sem calagem no manejo alagado em todas as avaliações (Tabela 2). O mesmo comportamento foi observado no manejo saturado, com exceção de 39 DAM, em que não houve diferença entre os níveis de calagem. Acredita-se que a calagem em maior proporção e a adubação química em menor proporção tenham favorecido a atividade microbiana anaeróbia facultativa e obrigatória já a partir do início do manejo de água, reduzindo o valor do Eh, ao contrário do solo sem calagem, limitado pelo Mg (MADIGAN et al., 2010), elevada saturação por alumínio (JIA et al., 2015) e pH baixo (LAUBER et al., 2009; MADIGAN et al., 2010; GRIFFITHS et al., 2011).

O valor do Eh em relação ao manejo de água na combinação dos níveis de calagem e tempo de alagamento foi menor no nível alagado comparado ao nível saturado em solo com calagem aos 15, 32, 39 e 46 DAM (Tabela 2). Na ausência da calagem, o valor do Eh foi menor no nível alagado em relação ao nível saturado apenas aos 32 DAM. No solo saturado, não é possível manter condições totalmente reduzidas, pois pequenas variações na quantidade de água na superfície do solo já permitem a entrada de oxigênio no sistema. A variação na composição bacteriana na rizosfera do arroz provocada por diferentes manejos de água também implica numa redução diferenciada do solo (SUVENDU et al., 2016).

Quando o solo foi submetido ao alagamento no tratamento adicional (TA), os valores do Eh foram superiores no TA comparado à combinação dos níveis com calagem e alagado em todas as avaliações (Tabela 2), reforçando a ideia de que a calagem diminuiu os valores do Eh, tornando o solo mais reduzido. Diferentemente do que ocorreu com a calagem, nos tratamentos sem calagem, alagado e saturado, não houve diferença significativa dos valores do Eh em relação ao tratamento adicional, a exceção de uma época (32 DAM) para o nível alagado pois não houve efeito da adubação química sobre o valor do Eh.

Os valores do pH no tempo foram crescentes em todos os tratamentos (Tabela 2). Nas reações de oxirredução do solo alagado ocorre o consumo de íons hidrogênio (H^+) e hidroxilas (OH^-) são liberadas para a solução do solo e o pH aumenta, fenômeno conhecido como “autocalagem” (PONNAMPERUMA, 1972). Nos tratamentos com calagem no nível alagado, o aumento do valor de pH ocorreu até 25 DAM, em seguida estabilizou. Comportamento semelhante foi observado no nível saturado, aumento até 25 DAM, porém decresceu na avaliação seguinte e posteriormente aumentou aos 39 DAM e manteve-se estabilizado. O teor de Fe na solução apresentou comportamento semelhante até os 25 DAM (Tabela 3), mostra que a redução dos compostos férricos (Fe^{3+}) à óxidos ferrosos (Fe^{2+}) contribuíram para o aumento do pH. Na avaliação dos tratamentos sem calagem, o nível alagado apresentou aumento significativo do valor de pH até 39 DAM, manteve-se igual aos 46 DAM e posteriormente aumentou. O nível saturado e o TA apresentaram aumento significativo no valor do pH até 46 DAM e mantiveram-se igual estatisticamente aos 53 DAM. Os valores do pH no tempo, no nível sem calagem combinado com os níveis alagado e saturado, e no TA apresentaram comportamento semelhante aos teores de Fe e valores do Eh no tempo, permitindo afirmar que o pH aumentou à medida que os compostos oxidados do solo foram reduzidos, principalmente os óxidos férricos a óxidos ferrosos (PONNAMPERUMA, 1972), porém, sempre permaneceram abaixo de 6.

Os valores do pH da solução do solo foram superiores no nível com calagem comparado ao nível sem calagem, nos manejos alagado e saturado (Tabela 2). Logo no início do alagamento e saturação (1 DAM), os valores do pH já eram mais elevados em função da calagem nesses solos. A dissolução dos óxidos de cálcio e magnésio adicionados ao solo liberam íons bicarbonato e OH^- para solução do solo, que reagem neutralizando os íons H^+ e aumentando o pH.

Em relação ao manejo de água em cada combinação dos níveis de calagem e tempo de alagamento verificou-se que os valores do pH diferiram entre si apenas aos 32 DAM em solo com calagem, sendo superior no nível alagado em relação ao nível saturado (Tabela 2). Esperava-se que o pH fosse maior no alagado, pois foi o tratamento que apresentou o menor Eh. Isso não ocorreu, pois nas reações de oxirredução ocorre o consumo de íons H^+ e o pH aumenta, momento em que o solo atinge valores de pH ao redor de 6,5, o efeito do CO_2 começa a se acentuar em sentido contrário, e os efeitos se anulam, atingindo o pH em equilíbrio (VAHL & SOUSA, 2004). Comportamento semelhante foi observado no solo sem calagem aos 39 DAM, com pH superior no nível alagado comparado ao nível saturado. Apesar das diferenças observadas em dois dias, os resultados permitiram afirmar que os níveis alagado e saturado apresentam efeito similar sobre o pH em solo com e sem calagem.

Os valores do pH foram menores no TA comparado à combinação dos níveis calagem e alagado, reforçando que o aumento do pH foi proporcionado pela calagem (Tabela 2). O TA apresentou valores de pH maiores em relação à combinação dos níveis sem calagem e alagado, o que pode ser atribuído a presença da adubação química, que contribuiu para menores valores do pH. A presença de sais na solução do solo diminui o valor do pH em água (EMBRAPA, 1999). Os valores de pH também foram superiores no TA em relação à combinação dos níveis sem calagem e saturado, a exceção de 46 DAM. Apesar da exceção de um dia, a diferença observada nos demais dias, possa ser atribuída à presença da adubação química conforme já observado anteriormente, pois o pH é similar entre os dois níveis de manejo em solo sem calagem.

3.3.2 Teores de Mn, Fe e Zn na solução do solo

A análise de variância mostrou que houve efeito de interação entre os fatores calagem, manejo de água e no tempo para a variável Fe, interação dos fatores calagem e manejo de água para o Mn, e interação entre calagem e no tempo para o Zn da solução do solo (Apêndice A).

Os teores de Mn na solução do solo foram muito baixos em todos os tratamentos (Tabela 3), possivelmente devido aos baixos teores de óxidos mangânicos presentes no solo, e decresceram em todos os tratamentos no tempo.

O nível “com calagem” combinado com os níveis, “alagado”, os teores de Mn decresceram até 39 DAM, e “saturado”, até 32 DAM. O maior período de teores superior de Mn nos níveis calagem e alagado é explicado pela atividade microbiana mais intensa favorecida pela calagem. Diferente no solo sem calagem, onde os maiores decréscimos foram observados até 25 DAM no nível alagado, e até 15 DAM no nível saturado e no TA. O decréscimo em todos os tratamentos foi atribuído à absorção pelas plantas.

Diferenças estatísticas entre os teores de Mn foram observadas aos 25, 32 e 46 DAM, onde os teores foram maiores no nível com calagem comparativamente ao sem calagem, enquanto que no solo saturado, o nível com calagem foi superior ao nível sem calagem apenas aos 25 DAM. Conforme já mencionado anteriormente, a calagem favoreceu a atividade microbiana; por sua vez, proporcionou uma maior redução de óxidos mangânicos.

Em relação ao manejo de água, em cada combinação de níveis de calagem e no tempo observou-se que o teor de Mn foi superior no nível alagado comparado ao nível saturado na presença da calagem, aos 32 e 46 DAM (Tabela 3). Houve maior redução de óxidos mangânicos pela atividade microbiana mais intensa em solo alagado, favorecida pela calagem. Na ausência da calagem, não houve diferença entre os níveis de manejo de água.

No tratamento adicional (TA), o teor de Mn foi inferior em relação ao tratamento de combinação dos níveis sem calagem e alagado aos 8 DAM, possivelmente em função da adubação química recebida por este tratamento (Tabela 3). Maiores teores de Mn também foram observados no tratamento com calagem e alagado comparado ao TA aos 8, 25, 32 e 39 DAM, o que reforça o efeito da calagem.

Tabela 3 - Teores médios de Fe, Mn e Zn da solução de um solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento mais o tratamento adicional.

Calagem		Dias após o início da saturação e alagamento (DAM)							
Manejo		1	8	15	25	32	39	46	53
----- Mn (mg L ⁻¹) -----									
Com									
Alagado		0,22Aa	0,19Aab [#]	0,12Abc	0,13Abcd [#]	0,12Abcde [#]	0,07Acf [#]	0,06Acf	0,10Acdef
Saturado		0,15Aa	0,18Aab [#]	0,11Aabc	0,09Aac	0,02Bd	0,01Ad	0,00Bd	0,08Aac
Sem									
Alagado		0,21Aa	0,20Aa [#]	0,09Ab	0,02Bc	0,01Bc	0,02Ac	0,01Bc	0,06Abc
Saturado		0,20Aa	0,16Aa	0,05Ab	0,03Bb	0,05Bb	0,03Ab	0,04ABb	0,05Ab
¹ Adicional		0,11a	0,04ab	0,03b	0,04abc	0,01b	0,01bcd	0,03abcde	0,06abce
----- Fe (mg L ⁻¹) -----									
Com									
Alagado		0,1Ba	8,3Bb [#]	36,2Bc [#]	139,0Ad [#]	113,5Ae [#]	164,9Af [#]	178,1Af	172,4Bf [#]
Saturado		0,2Ba	7,1Bb [#]	22,8Cc [#]	79,7Bd [#]	23,1Cbc [#]	35,1Cce [#]	31,4Cce [#]	48,1Ce [#]
Sem									
Alagado		0,7Aa [#]	27,8Ab [#]	48,4Ac [#]	87,2Bd [#]	87,2Bde [#]	105,5Be	141,1Bf	216,0Ag
Saturado		0,4ABa	26,0Ab [#]	46,4Ac [#]	78,8Bd [#]	76,2Bd	88,9Bd	128,4Be [#]	146,2Be [#]
¹ Adicional		0,2a	2,0b	6,5c	32,0d	60,5e	108,2f	177,2g	237,7h
----- Zn (mg L ⁻¹) -----									
Com									
Alagado		0,07Ba	0,26Bab	0,09Babc	0,08Babc	0,04Cac	0,04Aac	0,02Bac	0,04Aac
Saturado		0,09Ba	0,18Ba	0,13Ba	0,12Bab	0,06Cab	0,08Aab	0,02Bac	0,04Aabc
Sem									
Alagado		0,99Aa [#]	0,83Aa [#]	0,59Ab [#]	0,26Ac [#]	0,11Bd [#]	0,04Ade	0,03ABde	0,05Ae
Saturado		0,91Aa [#]	0,76Aab [#]	0,65Ab [#]	0,28Ac [#]	0,17Ad [#]	0,08Ae	0,05Ae	0,13Ade
¹ Adicional		0,08a	0,13a	0,11a	0,09a	0,06a	0,10ab	0,04ac	0,07abc

¹TA (Adicional): sem calagem, alagado e sem adubação química. ²Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha para cada nutriente diferem entre si pelo teste t (p < 0,05). Médias seguidas do símbolo # diferem da média do tratamento adicional pelo teste t (p < 0,05).

Os teores de Fe ao longo do tempo em cada combinação de níveis de calagem e manejo de água aumentaram nos tratamentos a exceção do tratamento com calagem com o solo saturado (Tabela 3). Nesse tratamento, os teores de Fe aumentam significativamente até 25 DAM, em seguida diminuem até 32 DAM e tendem a estabilidade. A variação e os menores teores de Fe podem ser explicado pelas alternâncias de oxidações e reduções que ocorreram devido a difusão de oxigênio no solo saturado, conforme observado nos valores do Eh. No tratamento com calagem no alagado, os teores de Fe aumentam significativamente até 39 DAM e estabilizam nas três últimas avaliações, comportamento semelhante observado nos valores do Eh, pois a medida que o Eh diminui, indica que mais compostos oxidados foram reduzidos, principalmente óxidos férricos e aumentando o teor de Fe na solução do solo. Os teores médios de Fe nos tratamentos sem calagem em ambos os níveis de manejo aumentaram significativamente até 25 DAM, permaneceram iguais por um curto espaço de tempo, e ao final, aumentos maiores foram observados no nível alagado e uma estabilização no nível saturado. No TA, os aumentos significativos no teor médio de Fe ocorreram em todas as avaliações.

O efeito de calagem em cada combinação de níveis do manejo de água e no tempo proporcionou teores de Fe diferentes entre os níveis com e sem calagem em solo alagado (Tabela 3). Os menores teores observados mesmo em solo mais reduzido no nível com calagem até 15 DAM e aos 53 DAM eram esperados, devido ao aumento do pH, que diminui a solubilidade dos compostos de Fe (SILVA & RANNO, 2005). Os maiores teores de Fe a partir de 25 DAM possivelmente ocorreram em função da maior redução de óxidos férricos pela atividade microbiana favorecida pela calagem. Borges Jr et al. (1998) revelaram que a calagem em determinados solos se mostrou mais eficiente em diminuir a acidez potencial e fornecer Ca e Mg para as plantas, do que diminuir os teores de Fe na solução do solo, e que a toxidez por ferro é mais uma questão de balanço nutricional do que o resultado de elevados teores de Fe redutíveis no solo. No entanto, outros autores mostraram que a calagem em doses adequadas em determinados solos promoveram menores teores de Fe na solução do solo (SOUSA et al., 2004; SILVA & RANNO, 2005).

Ainda sob o efeito da calagem, o solo saturado, ao contrário do solo alagado, apresentou teores de Fe menores no nível com calagem comparado ao nível sem calagem, à exceção de 1 e 25 DAM (Tabela 3). O tempo de um dia após o início da

saturação do solo não foi o suficiente para um maior efeito da calagem sobre o teor de Fe no nível saturado. Já na avaliação em 25 DAM, possivelmente a saturação com a formação de uma pequena lâmina de água, possa ter favorecido a redução dos óxidos de ferro e aumentado o teor de Fe no tratamento calagem combinado com o saturado. O menor valor do Eh no tratamento calagem combinado com o saturado indica uma maior redução dos óxidos férricos, aumentando o teor de Fe no solo. No entanto, o aumento do pH provocado pela calagem contribuiu para precipitar o Fe e diminuir seu teor na solução do solo (SOUSA et al., 2004; SILVA & RANNO, 2005).

O teor de Fe em relação ao manejo de água em cada combinação de níveis de calagem e no tempo foi superior no nível alagado comparado ao nível saturado em solo com calagem, exceto 1 e 8 DAM (Tabela 3). A exceção de 1 e 8 DAM, acredita-se ter ocorrido em função de ser no início do alagamento, em fase inicial do processo de redução e que foram pequenas as liberações de ferro para a solução do solo. No solo saturado, os menores teores de Fe na solução ocorreram devido as alternâncias de oxidação e redução dos óxidos férricos. Na ausência da calagem, os teores de Fe foram significativamente superiores no nível alagado, comparado ao nível saturado apenas aos 53 DAM.

Os teores de Fe no TA comparado com os demais tratamentos reforçam alguns resultados já observados (Tabela 3). Sob o aspecto do fator calagem, os teores de Fe foram superiores no nível com calagem no alagado comparado ao nível sem calagem (TA), à exceção de 1, 46 e 53 DAM. Esse resultado amplia o período em que os teores de Fe foram superiores no nível com calagem, mostrando que o efeito da calagem foi limitado a um curto período do alagamento em diminuir o teor de Fe. Para avaliar um possível efeito da adubação química, foi comparado o TA com o tratamento sem calagem no alagado e foi possível observar que os teores de Fe foram superiores aos 1, 8, 15, 25, 32 DAM e inferiores aos 53 DAM no tratamento sem calagem no alagado e iguais nos demais. Isso permite afirmar que houve uma contribuição da adubação química para maiores teores de Fe até 32 DAM. Relacionado ao manejo de água, o teor de Fe inferior aos 8, 15, 25 DAM e superior aos 53 DAM no TA em relação ao tratamento sem calagem no saturado, seja devido em maior proporção ao efeito da adubação química do que o manejo de água.

Os teores de Zn variaram entre os tratamentos e no tempo (Tabela 3). As avaliações do Zn no tempo em cada combinação de níveis de calagem e do manejo

de água revelaram que os solos com calagem em ambos os níveis de manejo apresentaram teores de Zn baixos já em 1 DAM e ao longo das avaliações, com uma pequena variação. Uma parcela do Zn foi absorvida pelas plantas e a outra parcela se tornou indisponível. Esse fato foi atribuído ao elevado pH no solo proporcionado principalmente pela calagem, fazendo com que o Zn diminua, formando complexos de esfera-interna com óxidos de alumínio, ferro (MEURER et al., 2010) e a formação de carbonatos e sulfetos (SOUSA et al., 2010). Na ausência da calagem em ambos os níveis de manejo, os teores de Zn foram elevados aos 1 e 8 DAM. A partir daí, decresceram significativamente até o final, tenderam a estabilidade. Esse comportamento foi atribuído ao aumento do pH da solução do solo proporcionado pela autocalagem, também fazendo com que o Zn diminuísse. No TA, os teores de Zn foram baixos ao longo do tempo, com apenas uma diferença observada. É explicado pelos níveis muito baixos de Zn nesses solos e por não ter recebido a adubação química contendo Zn.

Relacionado ao fator calagem em cada combinação de níveis do manejo de água e no tempo, os teores de Zn foram menores no nível com calagem comparado ao nível sem calagem até 32 DAM. Posteriormente, mantiveram-se iguais em solo alagado. Comportamento semelhante foi observado no solo saturado até 32 DAM e também aos 46 DAM. O seu teor diminui com o aumento do pH proporcionado principalmente pela calagem, formando complexos de esfera-interna com óxidos de alumínio e ferro (MEURER et al., 2010).

Em relação ao manejo de água em cada combinação de níveis de calagem e no tempo, os teores médios de Zn não diferiram entre os níveis alagado e saturado, em solo com calagem e sem calagem, a exceção aos 32 DAM (Tabela 3).

O solo, na sua condição natural submetido ao alagamento (TA), apresentou teores de Zn inferior até 32 DAM e, posteriormente, permaneceram iguais comparado ao tratamento sem calagem no alagado (Tabela 3). Os menores teores observados no TA foram atribuídos aos baixos teores no solo e a ausência da adubação química com o elemento Zn. No entanto, não foi possível inferir na comparação do TA com o tratamento com calagem no alagado e o tratamentos sem calagem no saturado devido ao efeito da adubação com o Zn.

3.3.3 Teores de Ca e Mg na solução do solo

A análise de variância mostrou que houve efeito de interação dos fatores calagem, manejo de água e no tempo para o Ca e Mg (Apêndice B). Os maiores teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram observados nos solos com calagem (Tabela 4). O fator calagem em cada combinação de níveis do manejo de água e tempo proporcionou maiores teores de Ca e Mg no nível com calagem comparado ao nível sem calagem. A medida que os óxidos de cálcio e magnésio do calcário se dissolveram no solo, liberaram Ca^{2+} e Mg^{2+} para a fase sólida e solução do solo, aumentando o teor.

Os teores de Ca ao longo do tempo no nível com calagem em solo alagado aumentaram entre 15 e 39 DAM e posteriormente decresceram até 53 DAM (Tabela 4). O Mg nesse mesmo tratamento apresentou um decréscimo inicial até 8 DAM, após aumentou. A medida que os óxidos de cálcio e magnésio se dissolvem no solo, liberaram Ca^{2+} e Mg^{2+} para a fase sólida e solução do solo, aumentando o teor. O aumento do teor na solução é favorecido pelo deslocamento proporcionado principalmente pelo ferro, que ocupa parte significativa da capacidade de troca de cátions (CTC) em função de sua alta concentração (SOUZA et al., 2010). Os decréscimos posteriores são atribuídos à absorção pela planta. No nível com calagem em solo saturado, os aumentos nos teores de Ca foram menos expressivos após 15 até 25 DAM, em seguida decresceram até 32 DAM e posteriormente tenderam a estabilizar. O Mg aumentou até 25 DAM, seguido de uma diminuição acentuada até 32 DAM, após, tornando a aumentar lentamente. O tratamento com calagem em solo saturado apresentou menores teores de Mn e Fe em solução, significa dizer que a CTC foi menos ocupada por estes elementos, assim, deslocando menos Ca e Mg para a solução, conforme em Sousa et al. (2010). Os tratamentos sem calagem em ambos os níveis de manejo apresentaram teor de Ca superior no início, decresceram e estabilizaram. O decréscimo nos teores de Ca foi atribuído a absorção pelas plantas. No TA, os teores de Ca e Mg se mantêm muito baixos e iguais ao longo das avaliações.

Tabela 4 - Teores médios de Ca e Mg da solução de um solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento mais o tratamento adicional.

Calagem		Dias após o início da saturação e alagamento (DAM)							
Manejo		1	8	15	25	32	39	46	53
		-----Ca (mg L ⁻¹) -----							
Com									
	Alagado	84,7Aa [#]	54,9Bb [#]	88,6Aac [#]	118,2Ad [#]	331,3Ae [#]	409,9Af [#]	170,6Ag [#]	150,1Ah [#]
	Saturado	87,7Aa [#]	77,6Aab [#]	81,9Aabc [#]	108,08Ad [#]	53,0Be [#]	47,4Bef [#]	63,7Bbcefg [#]	69,9Babceg [#]
Sem									
	Alagado	38,8Ba [#]	29,5Cab [#]	21,9Bab [#]	17,0Bb	14,4Cb	11,5Cb	12,5Cb	16,2Cb
	Saturado	37,2Ba [#]	31,2Cab [#]	23,0Bab [#]	19,3Bab	15,7Cb	12,6Cb	12,3Cb	13,4Cb
¹ Adicional		0,4a	0,01a	0,3a	0,4a	0,5a	0,1a	1,2a	0,9a
		-----Mg (mg L ⁻¹) -----							
Com									
	Alagado	95,2Aa [#]	76,6Ab [#]	112,1Ac [#]	146,1Ad [#]	144,0Ad [#]	171,7Ae [#]	171,5Ae [#]	188,8Af [#]
	Saturado	88,6Aa [#]	82,7Aab [#]	96,5Bac [#]	120,1Bd [#]	58,4Be [#]	54,1Bef [#]	59,3Bef [#]	77,2Bab [#]
Sem									
	Alagado	5,6Ba	3,4Ba	2,9Ca	2,3Ca	2,3Ca	1,8Ca	2,0Ca	2,9Ca
	Saturado	6,0Ba	3,8Ba	3,1Ca	2,7Ca	2,3Ca	2,1Ca	1,9Ca	2,3Ca
¹ Adicional		1,3a	0,6a	0,6a	1,0a	1,3a	1,9a	3,0a	3,8a

¹TA (Adicional): sem calagem, alagado e sem adubação química. ²Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha para cada nutriente, diferem entre si pelo teste t (p < 0,05). Médias seguidas do símbolo # diferem da média do tratamento adicional pelo teste t (p < 0,05).

Na avaliação do manejo de água em cada combinação de níveis de calagem e no tempo, os teores de Ca diferiram aos 8, 32, 39, 46 e 53 DAM, e os de Mg aos 15, 25, 32, 39, 46 e 53 DAM, sendo superiores no nível alagado comparado ao nível saturado em solo com calagem, à exceção de 8 DAM para o Ca (Tabela 4). Os maiores teores de Ca e Mg na solução do solo observados no nível alagado podem ser atribuído ao deslocamento proporcionado pelo ferro, que ocupa parte significativa da capacidade de troca de cátions (CTC) em função de sua alta concentração (SOUSA et al., 2010). Na ausência da calagem, não houve diferença entre os níveis alagado e saturado.

O solo na sua condição natural (TA) revelou os menores teores de Ca (Tabela 4). Os teores superiores nos tratamentos sem calagem nos níveis alagado e saturado até 15 DAM ocorreu devido à presença do cálcio na formulação química do superfosfato simples ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), utilizado como fonte de fósforo. Sob o efeito da calagem, o TA apresentou menores teores de Ca e Mg comparado ao nível com calagem no solo alagado, reforçando a contribuição da calagem para maiores teores de Ca e Mg, além da contribuição do Ca presente no superfosfato simples.

3.3.4 Teores de P e K na solução do solo

A análise de variância revelou que houve efeito de interação dos fatores calagem e no tempo para a variável P e K, e interação entre manejo de água e no tempo para a variável P (Apêndice B). Os teores de P, de modo geral foram muito baixos em relação aos teores normalmente observados em solos alagados (Tabela 5). Nesse sentido, não foi possível concluir sobre os teores de P em relação aos fatores estudados e apenas interpretações foram realizadas.

As avaliações dos teores de P no tempo em cada combinação de níveis de calagem e manejo de água pouco contribuíram com o estudo (Tabela 5). Nos tratamentos com calagem em ambos os níveis de manejo, os teores de P se alternaram em menor e maior valor, porém muito baixos e estabilizaram muito próximo a zero, nas últimas três avaliações. Acredita-se que a diminuição nos teores no tempo possa ser atribuída a absorção pelas plantas de arroz.

Tabela 5 - Teores de P e K da solução de um solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento mais o tratamento adicional.

Calagem		Dias após o início da saturação e alagamento (DAM)						
Manejo	1	8	15	25	32	39	46	53
-----P (mg L ⁻¹) -----								
Com								
Alagado	0,01Aa	0,04Ab [#]	0,02Aac	0,01Aacd	0,03Abce	0,00Aadf	0,00Aadf	0,01Aacdf
Saturado	0,01Aa	0,02Bb	0,00Ba	0,01Aabc	0,02Babcd [#]	0,01Aabcde	0,00Aace	0,01Aabcde
Sem								
Alagado	0,02Aa	0,02Ba	0,01ABab	0,02Aab	0,01Bab [#]	0,01Aab	0,01Abc	0,02ABabd
Saturado	0,01Aa	0,01Ba	0,00ABa	0,01Aa	0,01Ba [#]	0,01Aa	0,01Aa	0,01ACa
¹ Adicional	0,01a	0,01a	0,01a	0,01a	0,04b	0,00ac	0,00ac	0,02a
-----K (mg L ⁻¹) -----								
Com								
Alagado	11,71Ca [#]	7,98Bb [#]	8,50Bb [#]	3,76Bc	1,88Bd	1,79Bd	4,66Bc [#]	1,47Bd [#]
Saturado	12,17Ca [#]	8,79Bb [#]	9,11Bb [#]	2,76Bc	2,08Bcd	1,00Bd	1,92Ccd [#]	2,26Bcd
Sem								
Alagado	22,13Aa [#]	16,8Ab [#]	16,43Ab [#]	13,55Ac [#]	12,26Ad [#]	9,80Ae [#]	11,76Ad [#]	8,31Ae [#]
Saturado	20,02Ba [#]	16,95Ab [#]	16,48Ab [#]	13,64Ac [#]	11,54Ad [#]	10,86Ade [#]	10,32Ade [#]	9,39Ae [#]
¹ Adicional	5,45a	2,71b	3,21b	2,58b	2,29b	1,74bc	7,08a	3,19b

¹TA (adicional): sem calagem, alagado e sem adubação química. ²Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha para cada nutriente, diferem entre si pelo teste t (p < 0,05). Médias seguidas do símbolo # diferem da média do tratamento adicional pelo teste t (p < 0,05).

Sob o aspecto de calagem em cada combinação de níveis de manejo de água e no tempo, os maiores teores de P ocorreram no nível com calagem em relação ao nível sem calagem somente no solo alagado e apenas aos 8 e 32 DAM.

Quanto ao manejo de água em cada combinação de níveis de calagem e no tempo mostrou que, os teores de P foram superiores no nível alagado comparado ao nível saturado, em solo com calagem aos 8, 15 e 32 DAM (Tabela 5). Já em solo sem calagem aos 53 DAM, o nível alagado apresentou os maiores teores de P em relação ao nível saturado.

A avaliação de potássio no tempo em cada combinação de níveis de calagem e manejo de água revelou nos tratamentos com calagem em ambos os manejos decréscimos até 32 DAM e que depois estabilizaram, à exceção de 46 DAM no alagado, em que houve o aumento do teor de K provocado pela adubação potássica, realizada dois dias antes (Tabela 5). Além disso, os decréscimos foram atribuídos as crescentes quantidades de K absorvido pelas plantas, à medida que estas se desenvolviam. No solo sem calagem, o manejo alagado apresentou teores de K decrescentes até a última avaliação. Já no saturado, os teores decresceram até 39 DAM e estabilizaram. Os teores decrescentes na solução do solo foram atribuídos as absorções de quantidades crescentes de K pelas plantas de arroz. No TA os teores decrescem somente até 8 DAM, período das maiores absorções pelas plantas, estabilizaram até 39 DAM, seguido por um aumento provocado pela adubação com potássio. Além do mais, a última adubação com potássio foi realizada em todos os tratamentos, dois dias anterior aos 46 DAM e foi possível observar que, os tratamentos alagados com e sem calagem e o TA apresentaram maior teor médio de K aos 46 DAM, o mesmo não foi observado no saturado com e sem calagem. Acredita-se que esse comportamento seja atribuído a maior mobilidade de K na solução do solo, proporcionado pelo manejo alagado.

Os teores de K sob o efeito de calagem em cada combinação de níveis de manejo de água e no tempo foram superiores no nível sem calagem em relação ao nível com calagem, tanto em solo alagado como no saturado (Tabela 5). Os menores teores observados nos tratamentos com calagem em ambos os níveis de manejo ocorreram devido a maior quantidade de K absorvido pelas plantas, que apresentaram um desenvolvimento normal, comparado aos tratamentos que não receberam calagem em ambos os níveis de manejo, onde o crescimento das plantas foi incipiente e em consequência houve menor absorção de K.

Os teores de K em relação ao manejo de água em cada combinação de níveis de calagem e no tempo foram maiores no alagado em relação ao saturado, aos 46 DAM no nível com calagem e em 1 DAM no nível sem calagem (Tabela 5). Os maiores teores foram atribuídos ao efeito do manejo alagado, pois dois dias anterior a coleta de solução do solo, todos os tratamentos receberam a adubação com potássio em cobertura.

O solo na sua condição natural submetido ao alagamento (TA) revelou teores de K inferior aos tratamentos sem calagem em ambos os níveis de manejo, que receberam adubação de base e cobertura com potássio (Tabela 5). Na comparação do TA com o tratamento com calagem no alagado, os maiores teores de K observados no TA foram atribuídos à única adubação com potássio realizada em cobertura.

3.3.5 Número de perfilhos, folhas, percentual total de folhas com toxidez por ferro e percentual de folhas com bronzeamento avaliadas aos 45 DAM.

Na tabela 6 são apresentados os resultados de toxidez por ferro em plantas relacionados aos fatores calagem e manejo de água avaliados aos 45 DAM. A análise de variância revelou que houve efeito de interação dos fatores calagem e manejo de água para as variáveis número de perfilhos, folhas, percentual total de folhas com toxidez por ferro e percentual de folhas com bronzeamento (Apêndice C).

O manejo saturado em solo com calagem proporcionou o maior número de perfilhos e folhas, e menor percentual de folhas com bronzeamento e total de folhas com toxidez, em relação ao manejo alagado (Tabela 6), atribuído aos menores teores de ferro na solução do solo do manejo saturado (Tabela 3). O maior número de perfilhos e folhas no manejo saturado revelou maior produção de massa seca da parte aérea (MSPA) (Tabela 7). No manejo alagado em solo com calagem, os maiores teores de Fe na solução do solo foram responsáveis pelos maiores teores no tecido, mesmo considerados adequados, por sua vez promoveram o maior percentual de sintomas de bronzeamento (Figura 1) comparado ao solo saturado (Figura 2) (Tabela 6).

No manejo de água em solo sem calagem, as plantas de arroz apresentaram crescimento limitado, menor número de perfilhos e folhas, e maior percentual total de folhas com toxidez por ferro. O total de folhas com sintomas foram representadas

pelas folhas descoloridas e mortas (Figura 4 e 5) atribuído a toxidez indireta por ferro.

Os primeiros sintomas de pontuações castanho-escuro (bronzamento) nas folhas nos tratamentos com calagem no alagado e saturado foram observados aos 12 DAM e que se expandiram de forma acentuada no alagado, superior nesse tratamento (Tabela 6). O maior percentual de bronzamento no alagado (Figura 1) talvez possa ser explicado pela excessiva absorção de ferro, tendo em vista os elevados teores de Fe na solução do solo e no tecido nesse tratamento.

Tabela 6 - Desdobramentos das Interações dos fatores calagem e manejo de água; do fatorial versus tratamento adicional para as variáveis número de perfilhos, folhas, percentual total de folhas com toxidez por ferro e percentual de folhas com bronzamento avaliados aos 45 DAM da cultivar de arroz BRS Pelota.

Calagem	Manejo de água		Média
	Alagado (A)	Saturado (S)	
-----Perfilhos (n° vaso ⁻¹)-----			
Com (C)	24 b A [#]	38 a A [#]	31
Sem (S)	16 a B [#]	14 a B [#]	15
Média	20	26	
Adicional	4		
CV (%)	13,09		
-----Folhas (n° vaso ⁻¹)-----			
Com (C)	149 b A [#]	197 a A [#]	173
Sem (S)	49 a B	63 a B [#]	56
Média	99	130	
Adicional	27		
CV (%)	11,15		
-----Folhas com bronzamento (%)-----			
Com (C)	46,88 a A [#]	2,55 b A	24,71
Sem (S)	0,00 a B	0,00 a A	0,00
Média	23,44	1,27	
Adicional	0,00		
CV (%)	44,81		
---Total de folhas com toxidez por ferro (%)---			
Com (C)	72,46 a B [#]	29,70 b B [#]	51,08
Sem (S)	87,33 a A [#]	88,20 a A [#]	87,76
Média	79,89	58,95	
Adicional	95,53		
CV (%)	4,02		

¹Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ²Médias seguidas do símbolo # diferem da média do tratamento adicional pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. (CV) coeficiente de variação.



Figura 1 - Aspecto da planta de arroz com sintomas de toxidez por Fe com destaque ao bronzeamento no tratamento com calagem em solo alagado.



Figura 2 - Aspecto das plantas de arroz com toxidez por Fe no tratamento com calagem em solo saturado.

3.3.6 Massa seca da parte aérea aos 15 dias após o início do alagamento (MSPA15), massa seca da parte aérea (MSPA) e teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz da cultivar BRS Pelota.

Os resultados da produção de matéria seca e os teores de macronutrientes da cultivar de arroz BRS Pelota cultivada em um solo submetido ao efeito da calagem e do manejo de água são apresentados na tabela 7.

A análise de variância revelou que houve efeito de interação dos fatores calagem e manejo de água para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), N, P, K e Mg no tecido do arroz (Apêndice D). Houve efeito principal de calagem e manejo de água para a variável Ca, e exclusivamente da calagem para variável massa seca da parte aérea aos 15 dias após o início do alagamento (MSPAD15).

A maior produção de massa seca da parte aérea (MSPA) foi observada nos solos com calagem em ambos os níveis de manejo de água (Figura 3), com destaque para a combinação calagem e solo saturado que apresentou os maiores valores (Tabela 7). A combinação calagem e solo alagado apresentou maior teor de Fe na solução (Tabela 3) e no tecido (Tabela 7), que proporcionou menor

perfilhamento e menor número de folhas, resultando em menor produção de MSPA (Tabela 7).

Tabela 7 - Desdobramentos das Interações dos fatores calagem e manejo de água; do fatorial versus tratamento adicional para as variáveis massa seca da parte aérea aos 15 dias após o início do alagamento (MSPAD15), massa seca da parte aérea (MSPA) e teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz da cultivar BRS Pelota.

Calagem	Manejo de água		Média
	Alagado (A)	Saturado (S)	
-----MSPA15 (g vaso ⁻¹)-----			
Com (C)	0,73 #	0,75 #	0,74 A
Sem (S)	0,27 #	0,23 #	0,25 B
Média	0,50 a	0,49 a	
Adicional	0,11		
CV (%)	10,87		
-----MSPA (g vaso ⁻¹)-----			
Com (C)	20,44 b A #	31,35 a A #	25,89
Sem (S)	1,29 a B	1,73 a B	1,51
Média	10,86	16,54	
Adicional	0,30		
CV (%)	12,60		
----- N (g kg ⁻¹)-----			
Com (C)	24,88 a A #	17,36 b B #	21,12
Sem (S)	27,34 a A #	27,69 a A #	27,52
Média	26,11	22,53	
Adicional	33,21		
CV (%)	7,87		
----- P (g kg ⁻¹)-----			
Com (C)	0,80 a B #	0,66 a B #	0,73
Sem (S)	1,10 b A #	1,29 a A #	1,20
Média	0,95	0,98	
Adicional	0,24		
CV (%)	13,03		
----- K (g kg ⁻¹)-----			
Com (C)	27,31 a A #	16,50 b B #	21,90
Sem (S)	26,36 b A #	34,04 a A #	30,20
Média	26,83	25,27	
Adicional	5,02		
CV (%)	9,75		
----- Ca (g kg ⁻¹)-----			
Com (C)	4,69 #	4,84 #	4,77 A
Sem (S)	2,63 #	3,15 #	2,89 B
Média	3,66 b	3,99 a	
Adicional	0,85		
CV (%)	7,78		
----- Mg (g kg ⁻¹)-----			
Com (C)	1,75 b A #	2,70 a A #	2,22
Sem (S)	0,17 a B	0,21 a B	0,19
Média	0,96	1,45	
Adicional	0,24		
CV (%)	15,69		

¹Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ²Médias seguidas do símbolo # diferem da média do tratamento adicional pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. (CV) coeficiente de variação.

De acordo com o estudo de Schmidt et al. (2013), a toxidez por Fe reduz o perfilhamento, número de folhas e MSPA no arroz e, com a utilização de manejos de água alternativos, os teores de Fe na solução do solo e na planta diminuíram, reduzindo os efeitos negativos do Fe.

O tratamento com o solo na sua condição natural submetido ao alagamento (TA) não diferiu dos tratamentos sem calagem e foi inferior aos tratamentos com calagem, no que se refere à matéria seca da parte aérea, demonstrando que apenas a adubação química não é suficiente para o arroz produzir quantidades adequadas de matéria seca (Figuras 3 e 4). No solo avaliado, a calagem foi imprescindível para garantir o efeito da adubação química e fornecer Ca e Mg para as maiores médias de MSPA em solos com calagem.

Os teores de macro e micronutrientes na parte aérea do arroz são dependentes da acumulação de matéria seca e da fase fenológica da planta. Nos tratamentos sem calagem, a produção de MSPA foi muito inferior ao observado nos tratamentos com calagem (Tabela 7), fazendo com que as plantas apresentassem maiores teores de N, P, K, Fe, Mn, Zn e Cu, mas isto não significa que estas estariam mais bem nutridas em relação a esses nutrientes, mas sim que a maior produção de MSPA nos tratamentos com calagem diluíram os teores de N, P, K, Fe, Mn, Zn e Cu que apresentaram valores menores. Assim, não faz sentido compararmos os teores de N, P, K, Fe, Mn, Zn e Cu para os tratamentos sem calagem, pois a ausência desta limitou de forma muito acentuada o crescimento das plantas.

Os teores de N no tecido foram críticos no nível alagado e deficientes no nível saturado em solos com calagem (FAGERIA, 1989). Possivelmente, a maior produção de MSPA no nível saturado contribui para uma diluição do N no tecido, diminuindo o seu teor (Tabela 7).

Na avaliação do N no tecido em relação ao efeito do manejo de água, o maior teor de N no tecido foi observado no nível alagado, comparado ao nível saturado, em solo com calagem (Tabela 7). O solo saturado por estar menos reduzido, provavelmente favoreceu a perda de N pelo processo de desnitrificação, o que pode explicar a menor concentração de N no tecido.

Os teores de P no tecido foram deficientes em solo com calagem nos níveis alagado e saturado (Tabela 7) (FAGERIA, 1989).

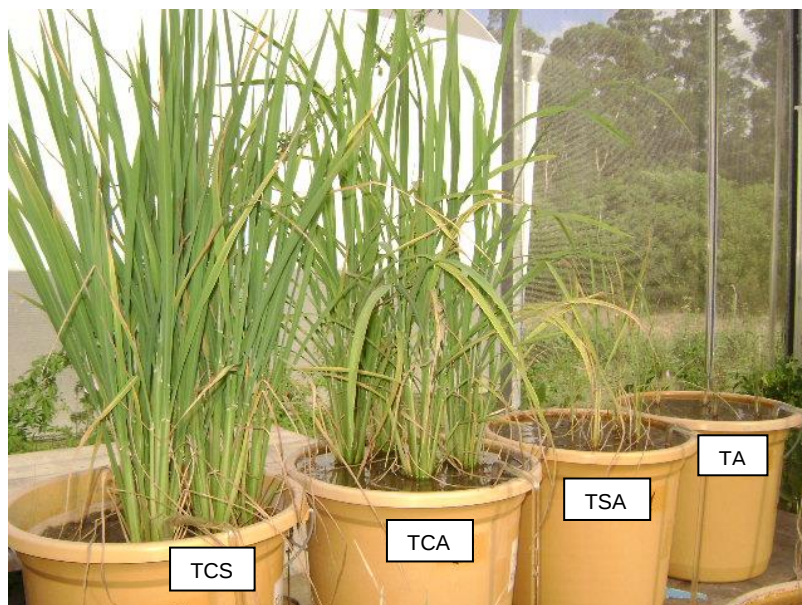


Figura 3 - Aspecto das plantas no dia de corte. Seguem os tratamentos: TCS – com calagem no manejo saturado; TCA – com calagem no manejo alagado; TSA – sem calagem no manejo alagado; TA – tratamento adicional.

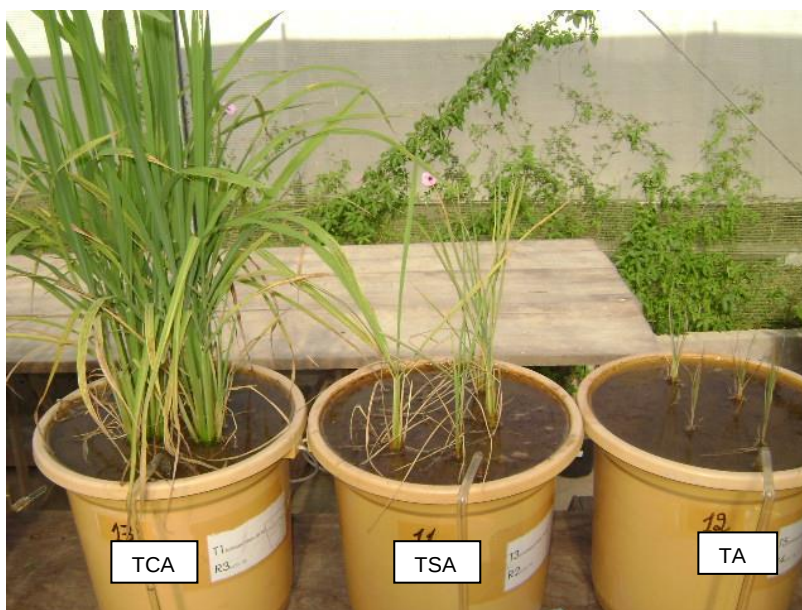


Figura 4 - Aspecto dos tratamentos no manejo alagado (aos 53 DAM). Seguem os tratamentos: TCA – com calagem no manejo alagado; TSA – sem calagem no manejo alagado; TA – tratamento adicional.

Os teores de K no tecido foram considerados adequados para os solos com calagem nos níveis alagado e saturado (Tabela 6) (FAGERIA, 1989).

Na avaliação do K no tecido em relação ao manejo de água, o nível alagado apresentou o maior teor de K comparado ao nível saturado, em solo com calagem (Tabela 7). Esse fato pode ser explicado pelo maior teor de Ca na solução do solo a partir de 32 DAM no nível alagado (Tabela 4), pois segundo Vahl & Lopes (1998), o aumento dos teores de Ca na solução praticamente elimina o efeito negativo do ferro na absorção de K.

Os teores de Ca e Mg foram considerados adequados nos solos com calagem em ambos os níveis de manejo (FAGERIA, 1989). Diante do menor acúmulo de MSPA nos demais tratamentos, não foi possível avaliar o nível de suficiência. O Mg foi o único nutriente faltante no solo sem calagem nos níveis alagado e saturado, possivelmente foi o elemento limitante para o desenvolvimento das plantas, associado à toxidez por Fe e elevada concentração de alumínio no solo.

A análise de variância indicou significância para o efeito principal de calagem e manejo de água para o Ca e interação entre esses fatores para o Mg no tecido (Tabela 7). Os níveis saturado, no fator manejo de água e com calagem no fator calagem apresentaram os maiores teores de Ca. Para o Mg, verifica-se os maiores teores com a combinação solo saturado com calagem. Possivelmente, os maiores teores de Fe na solução (Tabela 3) contribuíram para uma menor absorção de Ca e Mg pelas plantas no nível alagado.

O menor teor de Ca no tecido do tratamento adicional (TA), comparado aos demais tratamentos revelou que, no solo sem calagem, a adubação com superfosfato simples elevou os teores de Ca no tecido e nos solos com calagem, os maiores teores de Ca e Mg no tecido foram atribuídos à calagem e ao superfosfato simples com o Ca.

3.3.7 Teores de Fe, Mn, Zn e Cu no tecido em plantas de arroz da cultivar BRS Pelota.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados dos teores de Fe, Mn, Zn e Cu no tecido. A análise de variância mostrou que houve efeito de interação dos fatores calagem e manejo de água para as variáveis Fe e Mn e significância apenas para o efeito principal de calagem para as variáveis Zn e Cu.

Tabela 8 - Desdobramentos das Interações dos fatores calagem e manejo de água; do fatorial verso tratamento adicional para variáveis teores de Fe, Mn, Cu e Zn no tecido da parte aérea das plantas de arroz da cultivar BRS Pelota.

Calagem	Manejo de água		Média
	Alagado (A)	Saturado (S)	
	----- ³ Fe (mg kg ⁻¹)-----		
Com (C)	215,93 a B #	106,72 b B #	161,33
Sem (S)	1295,61 a A	290,39 b A #	793,00
Média	755,77	198,56	
Adicional	2334,18		
CV (%)	67,64		
	----- Mn (mg kg ⁻¹)-----		
Com (C)	9,08 b B	38,17 a B	23,63
Sem (S)	49,68 b A #	64,83 a A #	57,26
Média	29,38	51,50	
Adicional	13,65		
CV (%)	13,36		
	----- Cu (mg kg ⁻¹)-----		
Com (C)	5,56	7,26	6,41 B
Sem (S)	19,60	19,60	19,60 A
Média	12,58 ^{ns}	13,43	
Adicional	11,37 ^{ns}		
CV (%)	38,17		
	----- ³ Zn (mg kg ⁻¹)-----		
	-		
Com (C)	47,52 #	43,17 #	45,35 B
Sem (S)	87,56 #	89,01 #	88,29 A
Média	67,54 ^{ns}	66,09	
Adicional	26,42		
CV (%)	10,16		

¹Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de médias Tukey a 5% de probabilidade de erro. ²Médias seguidas do símbolo # diferem da média do tratamento adicional pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade de erro. ³Análise de variância e teste de médias com os dados transformados por Log x (apresentados os dados originais). CV (%) coeficiente de variação dos dados originais.

Os teores de Fe no tecido foram considerados adequados em solos com calagem nos níveis alagado e saturado (Tabela 8) (FAGERIA, 1989).

Os teores de Fe no tecido sob o efeito da calagem foram menores no nível com calagem, comparado ao nível sem calagem, em ambos os manejos. As plantas de arroz nos solos sem calagem apresentaram um desenvolvimento muito reduzido (Figura 3), observado desde aos 15 DAM, conforme os valores de massa seca da

parte aérea das plantas (MSPAD15) nessa data (Tabela 7), limitadas aos baixos teores de Mg (elemento não favorecido pela adubação), elevados teores de Fe na solução do solo (Tabela 3) e alta saturação por alumínio (83%) conforme resultado da análise de solo. Dessa forma resultou numa baixa produção de MSPA com elevada concentração de Fe no tecido e qualquer comparação e interpretação dos teores dos nutrientes naquele tratamento deve ser feita de forma cautelosa. Ao contrário, no tratamento com calagem e alagado a produção de MSPA foi muito superior. Entretanto, o teor de Fe observado na solução do solo (Tabela 3) foi superior no solo com calagem e alagado a partir de 25 DAM, comparado ao solo sem calagem e alagado, assim se esperaria maior absorção pelas plantas, o que não ocorreu em parte. Possivelmente, os elevados teores de Ca na solução contribuíram para diminuir a absorção de ferro (VAHL & LOPES, 1998). No entanto, é possível afirmar que a calagem no solo contribuiu para diminuir a absorção e manter os teores de Fe em níveis adequados no tecido em solo com calagem no manejo alagado.

Quanto ao manejo de água, os teores de Fe no tecido foram superiores no nível alagado, comparado ao nível saturado, nos dois níveis do fator calagem (Tabela 8). Portanto, a partir da segunda semana, o alagamento contribuiu para uma redução maior do solo, diminuindo os valores do Eh (Tabela 2), aumentando os teores de Fe na solução (Tabela 3) e conseqüentemente, aumentando os teores de Fe no tecido em solo com calagem.

Na interpretação do nível de suficiência de Mn no tecido das plantas, os teores de Mn foram considerados adequados para a combinação dos níveis calagem e saturado, e deficientes na combinação dos níveis calagem e alagado (Tabela 8) (FAGERIA, 1989).

A avaliação de Mn no tecido em relação ao manejo de água revelou o menor teor no nível alagado comparado ao nível saturado, em solo com calagem (Tabela 8). Possivelmente os elevados teores de ferro na solução diminuíram a absorção de Mn pelas plantas.

Os teores de Zn e Cu no tecido do arroz nos tratamentos com calagem nos níveis alagado e saturado (Tabela 8) estão dentro de uma faixa considerada adequada, segundo os critérios apresentados por Fageria (1989).



Figura 5 - Comparação das plantas dos tratamentos: tratamento adicional-TA com a combinação dos níveis sem calagem e alagado-TSA; combinação dos níveis sem calagem e alagado-TSA com a combinação dos níveis com calagem e alagado-TCA.

3.4 Conclusões

A calagem é obrigatória para o desenvolvimento adequado das plantas de arroz em um Gleissolo alagado ou saturado nos campos naturais de Humaitá.

A calagem promove o maior estado de redução e um aumento mais acentuado do pH da solução do solo em relação ao manejo alagado e saturado sem calagem.

A calagem e o manejo saturado promovem o menor teor de ferro no tecido e a maior produção de massa seca da parte aérea do arroz.

A dose de calagem aplicada não foi eficiente para diminuir o teor de ferro na solução do solo no manejo alagado.

4 Capítulo 2 – Avaliação agronômica e nutricional de cultivares de arroz em relação ao manejo de água no período chuvoso

4.1 Introdução

O município de Humaitá, localizado na região sul do estado do Amazonas, concentra extensas áreas de campos naturais onde é realizado o cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas no período chuvoso. A região possui um grande potencial para o cultivo do arroz devido ao elevado índice de precipitação pluviométrica, topografia plana, elevação do lençol freático, baixa condutividade hidráulica, etc. No entanto, a produtividade média do arroz de terras altas no estado do Amazonas (2.290 kg ha^{-1}) é inferior à do arroz de terras altas dos estados de Rondônia (3.423 kg ha^{-1}) e Mato Grosso (2.876 kg ha^{-1}), e inferior à do arroz irrigado por alagamento contínuo cultivado em outras regiões do país, como no estado do Rio Grande do Sul (6.837 kg ha^{-1}), safra 2015/16 (CONAB, 2016).

Os solos da região dos campos naturais do município de Humaitá-AM apresentam elevada umidade na maior parte do ano, devido principalmente ao alto índice de precipitação, com média anual de 2.361mm, distribuídos em dois períodos distintos: o primeiro chuvoso, com nove meses de duração, somando uma precipitação média de 2.224mm e o segundo período considerado mais seco, apresentando uma média de 137mm. O arroz poderia ser cultivado nos dois períodos, chuvoso e seco, porém o cultivo durante o período chuvoso apresenta algumas vantagens. Além da precipitação pluvial contribuir para manter elevada a umidade do solo no período chuvoso, a baixa profundidade do lençol freático na maior parte do período, a topografia relativamente plana e a baixa condutividade hidráulica do solo favorecem a saturação do solo (BRAUN & RAMOS, 1959). O aproveitamento do elevado índice de precipitação pluviométrica juntamente com os demais fatores mencionados permite uma significativa economia de água e diminuição dos custos com a lavoura de arroz. Nesse sentido, a irrigação pode vir a

ser um complemento para manter as condições de umidade do solo favoráveis ao cultivo, por meio de sistemas de irrigação que permitam economia no uso de água e aumento da produtividade com a utilização de cultivares de arroz irrigado.

O manejo de água é fator decisivo para se atingir altas produtividades de arroz, pela alta demanda do arroz por água e devido as transformações que ocorrem no solo quando esse é alagado, que afetam a nutrição das plantas. As mudanças no estado de oxirredução do solo decorrentes do alagamento, como a diminuição dos valores do potencial de oxirredução (Eh), aumento do pH e disponibilidade de nutrientes em solos ácidos, são favoráveis à nutrição do arroz (SOUSA et al., 2010). A nutrição do arroz tem efeito direto sobre os componentes de rendimento e estes por sua vez, também são influenciados pelo manejo de água.

O manejo de água atua de forma física e na fisiologia das plantas de arroz e os seus reflexos podem ser sentidos nos componentes de rendimento. As plantas sob estresse hídrico provocado pelo déficit hídrico mesmo bem nutridas, podem apresentar produtividades menores, que segundo Stone (2005) podem ocorrer quando o conteúdo de água no solo é menor que a saturação. O alagamento apresenta efeito positivo no controle das plantas invasoras e maior tolerância às doenças (SOSBAI, 2014). Além disso, o manejo de água e as condições climáticas têm relação com a qualidade industrial do grão de arroz. O processo acentuado de absorção e/ou perda de água, em função do gradiente de umidade formado entre o grão e o ambiente no período de maturação, promove o aparecimento de fissuras, que diminuem a resistência física dos grãos durante o processo de pós-colheita (CANELLAS et al., 1997).

O solo saturado promove alternância das condições de oxidação e redução diminuindo a anaerobiose, por conseguinte, a redução de compostos oxidados (BORIN et al., 2016). Possivelmente, isso vai refletir em menor disponibilidade de nutrientes e, consequentemente, diminuir os teores no tecido das plantas de arroz.

No cultivo sob o manejo aeróbio, a água é proveniente da precipitação pluvial e da elevação natural do nível do lençol freático. Nessas condições, a oxidação e redução alternadas talvez sejam mais pronunciadas, diminuindo a intensidade das condições de anaerobiose, comparado ao manejo saturado. Efeitos negativos mais pronunciados podem ocorrer na nutrição, nos componentes de rendimento e produtividade do arroz.

Contudo, os manejos de água proporcionam economia e eficiência do uso da água. A economia de até 30% de água em sistemas alternativos e aumento na eficiência do uso da água com pequeno ou sem nenhum prejuízo a produtividade do arroz foram observados por Bouman & Tuong (2001). Martini (2010) observou que os manejos da irrigação intermitente e por banhos na cultura do arroz apresentaram economia de 23 e 43% de água e aumento em 15 e 40% na eficiência do uso da água. Nesse mesmo estudo, o autor observou que a produtividade foi semelhante entre os manejos de irrigação contínuo e intermitente, porém diminuiu no manejo por banhos. Em estudo parecido, Mezzomo (2009) observou no manejo de água intermitente uma economia de aproximadamente 32% do volume aplicado em relação ao manejo contínuo e as produtividades não diferiram entre os sistemas.

As hipóteses do trabalho são: o solo permanentemente alagado apresenta maior estado de redução que um solo saturado; o manejo de água interfere na nutrição das plantas de arroz, na severidade de doenças, nos componentes de rendimento e produtividade do arroz no período chuvoso; as cultivares de arroz irrigado apresentam desempenho diferenciado em relação às condições de cultivo no município de Humaitá; as cultivares de arroz irrigado apresentam variação nos teores de nutrientes no tecido, MSPA e produtividade; a maior economia de água consumida ocorre nos manejos saturado e aeróbio; os manejos saturado e aeróbio apresentam maior eficiência do uso da água (EUA).

Diante do exposto, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito do manejo de água na dinâmica da redução do solo, na nutrição de plantas, na severidade de doenças, nos componentes de rendimento, na produtividade, no volume de água consumido, no volume de água aplicado e na eficiência do uso da água de cultivares de arroz irrigado num Gleissolo Háplico alítico típico dos campos naturais do município de Humaitá, Amazonas, no período chuvoso.

4.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em área de campo natural da escola agrícola de Humaitá-AM, localizada no km 05 da BR 230, nas coordenadas geográficas 7° 33' 6,39" S e 63° 4' 25,08" W, no período chuvoso entre os meses de dezembro e abril. O solo do local é um Gleissolo Háplico alítico típico (SANTOS et al., 2012) com 84,92, 638,58 e 276,50g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, enquadrado na textura franco-argilo-siltosa, cultivado em anos anteriores com a cultura de arroz de terras altas seguido de pousio. Os resultados da análise química do solo seguem apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área de estudo.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T ¹	V ²	m ³	MO	Fe	Zn	Mn	Cu
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----	cmol _c	kg ⁻¹	-----	-----	-----	%	%	g kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹	-----	-----
5,44	1	0,07	1,2	1,0	1,6	3,3	5,6	41	40	17	242	0,6	1,7	0,5

¹T: CTC a pH 7; ²V: saturação por bases; ³m: saturação por alumínio. FONTE: laboratório de análises de solo Plante Certo Ltda, Várzea Grande-MT. ⁴Métodos de extração: para P, K, Zn, Cu, Fe e Mn por Mehlich I; para Ca, Mg e Al por cloreto de potássio 0,1M; para H+Al por acetato de cálcio 0,5M, pH 7,0; para MO por dicromato de sódio.

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados, num esquema fatorial em parcelas divididas 3x3 com quatro repetições. Para as unidades experimentais (parcela) e subunidades experimentais (subparcela) foram atribuídos os níveis dos fatores manejo de água e cultivares, respectivamente, totalizando 12 parcelas e 36 subparcelas.

Foram testados os seguintes fatores:

Fator A - Manejo de água (parcelas):

- Solo alagado (Figura 1a);
- Solo saturado (Figura 1b);
- Solo com umidade natural (aeróbio) proveniente da precipitação pluvial (Figura 1c).

Fator B - Cultivares de arroz irrigado (subparcelas):

- BRS Tropical;
- IRGA 417;
- Roraima.

A escolha das cultivares de arroz irrigado BRS Tropical, IRGA 417 e Roraima se deu em função de serem cultivadas e recomendadas para as regiões de clima quente, a exemplo do estado de Roraima. Algumas das características das cultivares a seguir descritas são relacionados aos cultivos nas várzeas do estado de Roraima. A cultivar BRS Tropical apresenta ciclo de 113 dias e floração aos 78 dias, grão classificado em longo-fino (CORDEIRO & MEDEIROS, 2010a). A cultivar IRGA 417 apresenta altura em torno de 90cm, ciclo médio de 105 a 110 dias da emergência à maturação, grão de classe longo fino, considerada suscetível à brusone, mancha de grãos e a toxidez por ferro. A cultivar Roraima apresenta altura em torno de 90cm, ciclo médio de 100 a 105 dias da emergência à maturação, grão de classe longo fino, considerada moderadamente suscetível à brusone e resistente à toxidez por ferro e ao acamamento (CORDEIRO, 2009).

O preparo do solo da área experimental foi realizado através de duas gradagens profundas com posterior aplicação de $1,24 \text{ ton ha}^{-1}$ de calcário dolomítico (PRNT=84%), calculado através do critério de saturação por bases prevendo uma saturação de 60%, seguido de uma terceira gradagem profunda para a incorporação do calcário. Decorridos alguns dias foi efetuado o nivelamento do solo.

A área experimental foi delimitada e definido o local dos blocos e unidades experimentais. A definição do nível de manejo de água em cada unidade experimental e nível de cultivares em cada subunidade experimental foi aleatória nessa sequência. Em seguida foi realizado o levantamento altimétrico com auxílio de um nível topográfico, seguido da sistematização do solo e construção das taipas em torno das unidades experimentais com exceção do manejo aeróbio. As taipas foram construídas e compactadas manualmente para evitar a passagem de água entre as unidades experimentais. Uma complementação com calcário dolomítico foi realizada na superfície do solo após a sistematização, na dose de 300 kg ha^{-1} . A unidade experimental (nível de manejo) foi dimensionada com $7,0 \text{ m} \times 7,0 \text{ m}$ de área útil. A subunidade (nível de cultivar) foi dimensionada em $5,0 \text{ m} \times 1,60 \text{ m}$, representando cada cultivar com 8 linhas de semeadura medindo 5m de comprimento e espaçadas 0,20m entre si.

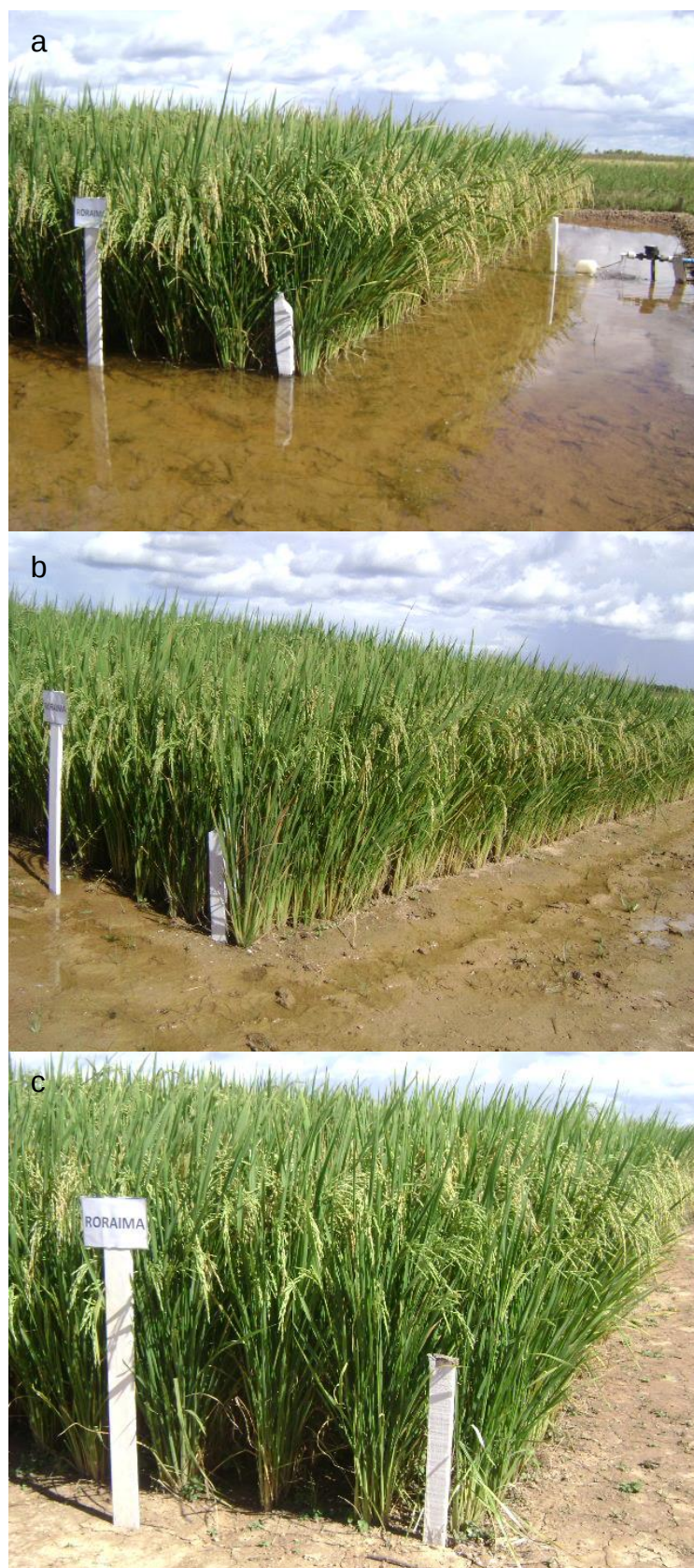


Figura 1 - Manejos de água alagado (a), saturado (b) e aeróbio (c) sob a cultivar de arroz Roraima no município de Humaitá-AM.

A água utilizada na irrigação foi captada de uma barragem através do sistema de bombeamento e conduzida ao longo de 600m por tubos de 50mm até uma caixa de água com capacidade de 5500 litros, a uma altura de 4m em relação ao nível do solo. A saída de água da caixa foi conduzida por gravidade até o experimento, distante 5m. Os tubos de irrigação foram distribuídos ao longo dos blocos com entrada individual para cada unidade experimental, exceto a de manejo aeróbio. Na saída do tubo de irrigação para cada unidade foram instalados registros e hidrômetros para medir o volume de água aplicada. No manejo alagado foram instaladas boias de plástico para regular a entrada de água. Em cada unidade experimental foram instalados dois tubos nas taipas com altura pré-estabelecida sobre a lâmina de água e do solo nos manejos alagado e saturado, respectivamente, para permitir o escoamento do excesso de água da chuva.

A semeadura foi realizada manualmente no dia 15 de dezembro. Iniciou-se com a abertura dos sulcos seguido da aplicação da dose de adubo que foi misturado ao solo com posterior colocação da semente de arroz. A densidade de semeadura foi realizada com 80 sementes viáveis por metro linear, previamente tratadas com inseticida na dose de 50g por 100kg de semente do ingrediente ativo fipronil. Após a semeadura foi aplicado o herbicida na dose de 1,25kg ha⁻¹ do ingrediente ativo pendimentalina. A correção do solo e adubação da cultura do arroz irrigado foi baseada na recomendação para o cerrado (SOUSA & LOBATO, 2004). A adubação de base NPK do formulado 06-24-14 misturado ao superfosfato triplo e FTE BR12 na ocasião da semeadura correspondeu a 33kg ha⁻¹ de N, 195kg ha⁻¹ de P₂O₅, 77kg ha⁻¹ de K₂O e 67kg ha⁻¹ de FTE BR-12 (9% de Zn, 1,8% de B, 0,8% de Cu, 2% de Mn, 3,0% de Fe e 0,1% de Mo).

A emergência das plântulas ocorreu em 20 de dezembro. Em seguida foram instalados extratores de solução do solo, semelhantes aos desenvolvidos por Sousa et al. (2002), na entre linha das plantas à 0,10m de profundidade no solo. A adubação de cobertura foi realizada com a aplicação de N e K₂O. A dose de nitrogênio em cobertura (160kg ha⁻¹ de N na forma de ureia) foi parcelada em três aplicações. Na primeira aplicação foi utilizado 45,5kg ha⁻¹ de N aplicado aos 14 dias após a semeadura (DAS), na segunda aplicação também foi utilizado 45,5kg ha⁻¹ de N aplicado aos 32 DAS e na terceira aplicação foi utilizado 69kg ha⁻¹ de N aplicado no estágio de iniciação da panícula aos 55 DAS. A dose de cloreto de potássio (KCl) em cobertura (60 + 60kg ha⁻¹ de K₂O) foi adicionada junto com a segunda e terceira

aplicações de ureia. Foi aplicado em cobertura a solução líquida com 0,4% de sulfato de zinco aos 38 dias após a semeadura (DAS).

Para o controle da lagarta-militar (*Spodoptera frugiperda*) foram utilizados os inseticidas novalurom (7,5g ha⁻¹ i.a.), permetrina (2,5g ha⁻¹ i.a.) e deltametrina (2,5 g ha⁻¹ i.a.), em aplicações intercaladas. Para o controle do percevejo do colmo (*Tibraca limbariventris*) e percevejo do arroz (*Oebalus poecilus*) foi utilizado o inseticida de ingrediente ativo tiametoxam + lambda-cialotrina na dose de 28,2g ha⁻¹ + 21,2g ha⁻¹, respectivamente.

O controle da brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha parda (*Bipolaris oryzae*) na folha foi realizado com a aplicação do fungicida de ingrediente ativo tebuconazol na dose de 150g ha⁻¹ aos 18, 29, 41, 52, 58 e 68 dias após o início do manejo de água (DAM).

O início da irrigação ocorreu 14 dias após a semeadura (DAS) nos níveis alagado e saturado, sendo que o solo permaneceu saturado e com lâmina de água no segundo dia, ou seja, aos 15 DAS. No manejo alagado foi mantida uma altura média de lâmina de 0,04m até 65 DAS. Após, a altura da lâmina foi aumentada para 0,08m, a qual foi mantida até a colheita. No manejo saturado o solo permaneceu saturado do início da irrigação até o final do cultivo. Nesse manejo, a reposição de água foi diária, com exceção nos dias em que a precipitação pluvial foi o suficiente para manter o solo saturado. Diariamente foram registradas as leituras dos hidrômetros e da precipitação pluviométrica. A precipitação pluviométrica foi registrada através de pluviômetro e dados foram obtidos da estação meteorológica do INMET localizada a 200m do experimento.

Aos 15 DAS em que o solo permaneceu saturado e com lâmina de água, foi considerado o início do manejo de água (DAM), em que foi aplicado os níveis alagado e saturado. Um dia após o início do manejo de água (1 DAM) foi efetuada a 1ª coleta de solução do solo a partir dos extratores instalados com auxílio de seringa de 50ml. As coletas posteriores foram realizadas em intervalos semanais. A determinação do pH e potencial de oxirredução (Eh) da solução do solo foi realizada à campo imediatamente após a coleta utilizando-se eletrodos combinados específicos, ligados a um potenciômetro e previamente instalados em uma célula eletrométrica, construída em vidro, semelhante à utilizada por Sousa et al. (2002). A célula permaneceu cheia de solução durante as leituras, para minimizar o contato desta com o oxigênio molecular, diminuindo os riscos de alteração das suas

características eletroquímicas. Após as determinações do pH e Eh, as amostras foram filtradas em filtro milipore de 0,45mm e 30mL de seu conteúdo foram transferidos para frascos de vidro, contendo 1mL de HCl 3mol L⁻¹, resultando na concentração final de HCl da amostra em torno de 0,1mol L⁻¹, que possibilitou, desta maneira, a análise da composição química das amostras em laboratório. Nas amostras da solução do solo foram avaliados ainda os teores de ferro, manganês, zinco, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, segundo método descrita em Sousa et al. (2002).

A coleta da parte aérea das plantas foi realizada no início do florescimento com o corte rente ao solo de 3 amostras de tamanho 0,25m² em cada subunidade (cultivar), e o material foi seco em estufa a 60°C de temperatura até peso constante. Foi determinado o peso de massa seca das amostras e destas foram retiradas 15 plantas para determinação dos teores de macronutrientes e micronutrientes do tecido seguindo o método descrito por Tedesco et al. (1995). O teor do nutriente determinado nas 3 amostras em cada subunidade (cultivar) compôs a média de uma repetição.

O ciclo foi determinado pela contagem dos dias entre a emergência e a completa maturação. A medida da estatura de plantas foi realizada momentos antes da colheita através da escolha aleatória de 10 plantas em cada subparcela, medido a sua altura entre o nível do solo e o ápice da panícula.

O acamamento foi obtido por meio de observações visuais no subperíodo de maturação, determinando o percentual de plantas acamadas e atribuindo-se valores de escala segundo método descrito em Embrapa (1997).

A toxidez por ferro na folha foi avaliada através da análise visual de acordo com a escala de notas de 1 a 9, conforme proposto pelo International Rice Research Institute (IRRI, 1996). As notas atribuídas foram: 1 – crescimento e perfilhamento normal; 2 – sintomas na ponta das folhas mais velhas; 3 – sintomas nas folhas mais velhas; 5 – crescimento e perfilhamento retardado, muitas folhas descoloridas; 7 – crescimento e perfilhamento paralisado, maioria das folhas descoloridas ou mortas; 9 – quase todas as plantas mortas ou morrendo.

A avaliação da severidade de doenças foliares (brusone na folha e mancha parda na folha) foi realizado através da análise visual de acordo com a escala de notas de 0 a 9, proposto pelo International Rice Research Institute (IRRI, 1996). Conforme a análise visual do tecido foliar afetado, as notas foram: 0 – ausência de

lesões; 1 – abaixo de 1% da área foliar/tecido doente; 3 – de 1 a 5% da área foliar/tecido doente; 5 – de 6 a 25% da área foliar/tecido doente; 7 - de 26 a 50% da área foliar/tecido doente e 9 – acima de 50% da área foliar/tecido doente. A quantificação da severidade de doenças foliares foi realizada semanalmente diretamente no campo, sempre pelo mesmo avaliador.

O número de plantas em cada subunidade foi determinado através da escolha aleatória de uma linha de plantio e efetuou-se a contagem do número de plântulas ao longo de 4,0m. Nessa mesma linha de plantio foi efetuado a contagem do número de panículas no momento da colheita do arroz.

Momentos antes da colheita foram retiradas 10 panículas de arroz aleatoriamente em cada subparcela e posteriormente no laboratório foi realizado a medição do comprimento de panícula, contagem do número de grãos, espiguetas estéreis e grãos por panícula. Os grãos oriundos das 10 panículas foram utilizados para determinar a massa de 1000 grãos com a umidade corrigida para 13%.

A colheita foi realizada com o corte das plantas no campo quando os grãos apresentaram umidade em torno de 20%. Uma fileira lateral em ambos os lados e 0,5m em cada extremidade da subunidade foram eliminadas e efetuou-se o corte das 6 linhas centrais. As plantas foram espalhadas em local protegido que permitiu a secagem dos grãos até a realização da debulha mecânica com trilhadeira. Posteriormente os grãos foram secos ao ambiente natural protegido da luz e chuva. Depois de secos, a massa de grãos foi submetida ao fluxo de ar corrente para retirada das impurezas e em seguida foi realizada a pesagem dos grãos colhidos de cada subparcela com a determinação da umidade no equipamento Universal Moisture Tester, corrigindo a massa de grãos para 13% de umidade. A produtividade final foi estimada para um hectare a partir da massa de grãos da área útil de $4,05\text{m}^2$ da subunidade.

O rendimento industrial foi determinado a partir de uma amostra de 100g de arroz em casca e submetida ao engenho de prova Suzuki, modelo MT 81, por 1 minuto. Em seguida os grãos foram brunidos e colocados em um “trieur”, para o processo de separação por 30 segundos. Os grãos que permaneceram no “trieur” foram pesados e o valor obtido correspondeu aos grãos inteiros.

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) foi determinada através do método do poço seco acima do lençol freático, descrito em Ferreira (1987), diretamente no campo. De acordo com Ferreira (1987), a escolha da equação para o

cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado pelo método do poço seco, depende de duas condições:

1ª condição: distância vertical entre o nível de água no poço e a camada impermeável (Tu) é maior ou igual à 3 vezes a altura da coluna de água (h) no poço ($Tu \geq 3h$), nesse caso, a equação para o cálculo da condutividade hidráulica passa a ser a seguinte:

$$K_o = \frac{\left[\ln \left(\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r} \right)^2 - 1} \right) - 1 \right]}{2\pi h^2} \times Q \quad (1)$$

Em que K_o é a condutividade hidráulica do solo saturado (cm h^{-1}); h é a altura da coluna de água no poço (cm); r é o raio do poço (cm); Q é a vazão após a infiltração se estabilizar ($\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}$); Tu é a distância vertical entre o nível de água no poço e a camada impermeável (cm).

2ª condição: distância vertical entre o nível de água no poço e a camada impermeável (Tu), é menor que 3 vezes a altura da coluna de água (h) no poço e maior ou igual a coluna de água no poço (h), ($3h > Tu \geq h$), nesse caso, a equação para o cálculo da condutividade hidráulica passa a ser a seguinte:

$$K_o = \frac{3 \ln \left(\frac{h}{r} \right)}{\pi h (h + 2Tu)} \times Q \quad (2)$$

Em que K_o é a condutividade hidráulica do solo saturado (cm h^{-1}); h é a altura da coluna de água no poço (cm); r é o raio do poço (cm); Q é a vazão após a infiltração se estabilizar ($\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}$); Tu é a distância vertical entre o nível de água no poço e a camada impermeável (cm).

Para uma maior precisão dos resultados é importante que, a coluna de água no poço (h) seja maior ou igual a 10 vezes o raio do poço ($h \geq 10r$) (FERREIRA, 1987).

O procedimento para realização da K_o pelo método do poço seco, seguiu as seguintes etapas nas parcelas:

1ª. Foi efetuada a limpeza da superfície do solo e em seguida foram definidos três locais para perfuração de três poços, afastados entre si 200cm. No entorno do poço, num raio de 30cm foi removido o solo até a profundidade aproximada de 35cm, desse modo, facilitou os trabalhos e acumulação da água para saturação do solo (Figura 2);



Figura 2 – Aspecto dos poços prontos para o alagamento para permitir a saturação do solo.

2ª. Terminada a etapa anterior na parcela, foi realizada a perfuração do poço com auxílio de um trado tipo caneco de 3 polegadas (Figura 3), até a profundidade de 100cm com diâmetro de 10cm. Em seguida foi passada uma escova de aço na parede do poço para desfazer qualquer alisamento ou compactação que possa ter ocorrido e o nivelamento do fundo com a remoção do restante de solo depositado;

3ª. Após a 2ª etapa, os poços foram cobertos com telas de nylon para impedir a entrada de impurezas e foi aplicada a água na parcela, alagando os três poços e todo o seu entorno, aproximadamente por 36h, para permitir a saturação do solo. A água foi aplicada por meio de uma mangueira de uma polegada conectada a uma bomba, e sempre que o nível da água diminuía foi efetuada a reposição;

4ª. Decorridas as 36h, após baixar o nível de água, novamente foi removido o solo do fundo do poço e sempre que necessário, foi passada a escova de aço na parede do poço. Em seguida novamente foi colocado água no poço por meio de um funil inserido no tubo de pvc apoiado no interior de uma latinha no fundo do poço,

para evitar o choque da água com o fundo do poço, mantendo-a até a superfície superior para restabelecer o equilíbrio, após 1h e 30min foi iniciado o procedimento de determinação da K_0 do solo. Previamente foi definida a altura da coluna de água (h) no poço, atendendo ao requisito do método, maior ou igual a $10r$ (r =raio do poço). A altura da coluna de água (h) foi igual ou superior a 50cm e sempre mantida constante durante a determinação da K_0 ;



Figura 3 – Aspecto do perfil de solo e do trado tipo caneco usado na perfuração dos poços na profundidade de 100cm.

5ª. A determinação da K_0 contou com o auxílio do aparato confeccionado pelo próprio autor para realização das medições de campo, conforme a figura 4a. O aparato para a determinação da K_0 apresenta uma mangueira transparente e no seu interior uma trena de 100cm, ambos fixados por dois parafusos a uma barra de metal, que é fixada por meio de parafusos no aparato. No interior da mangueira

transparente fixada na barra de metal, uma haste presa a uma boia se deslocava livremente para cima ou para baixo, conforme o nível de água no poço. O poço era completo com água até o nível aproximado pré-definido e o aparato era colocado e nivelado ao lado do poço, seguido da colocação da haste no interior da mangueira graduada e a boia fixada na base da haste foi colocado no poço. Com a altura da coluna de água pré-definida, foi definido o valor da altura na mangueira graduada onde permanecia a ponta da haste durante todo o tempo de avaliação. Em seguida foi acionado o cronômetro e iniciada a adição de água ao poço por meio de uma mangueira de soro de hospital, que permitia maior ou menor abertura, conectada a uma proveta de 1000ml graduada e nivelada (Figura 4b). A proveta foi completada com água limpa até a marca de 1000mL e a cada decida da coluna de água o equivalente á 200mL, era registrado o tempo e o volume. A proveta novamente era completada com água e repetida as leituras até que se observou a estabilidade do tempo nos intervalos de 200mL de descida da coluna de água na proveta. Com os valores do tempo e o volume de água consumida, durante a avaliação, obteve-se os intervalos de tempo (Δt) e a variação de volume de água neste intervalo (ΔV). A vazão (Q) foi obtida pela razão entre a variação do volume (ΔV) de água e o intervalo de tempo (Δt) correspondente. Foram utilizadas as médias das vazões em que o fluxo foi constante. Segue a equação:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3)$$

Em que Q é a vazão de água ($\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}$); ΔV é a variação de volume de água gasto (cm^3); Δt é o intervalo de tempo gasto durante a avaliação (hora).

6ª. A altura exata da coluna de água (h) no poço foi calculada por meio das equações 4, 5 e 6, a partir das seguintes medições e anotações à campo através do uso do aparato: topo da barra graduada do aparato com marca de 100cm já definido; valor registrado na barra graduada em que permaneceu a ponta da haste ($b1$) durante a determinação da K_o ; diferença entre a ponta da haste até o topo da barra graduada ($haste1$); comprimento da haste fixada na boia era conhecido ($haste$); altura entre a superfície da coluna de água até o topo da mangueira graduada ($h1$); altura entre o fundo do poço até o topo da barra graduada (H).

$$haste1 = 100 - b1 \quad (4)$$

$$h1 = haste1 + haste \quad (5)$$

$$h = H - h1 \quad (6)$$

Em que $haste1$ é a diferença entre a ponta da haste até o topo da barra graduada (cm); 100 é o valor exato no topo da barra graduada do aparato (cm); $b1$ é valor registrado na barra graduada em que permaneceu a ponta da haste durante a determinação da K_o (cm); $h1$ é a altura entre a superfície da coluna de água até o topo da barra graduada (cm); $haste$ é o valor já conhecido do comprimento da haste fixada na boia (cm); h é a altura da coluna de água no poço (cm); H é a altura entre o fundo do poço até o topo da barra graduada (cm);

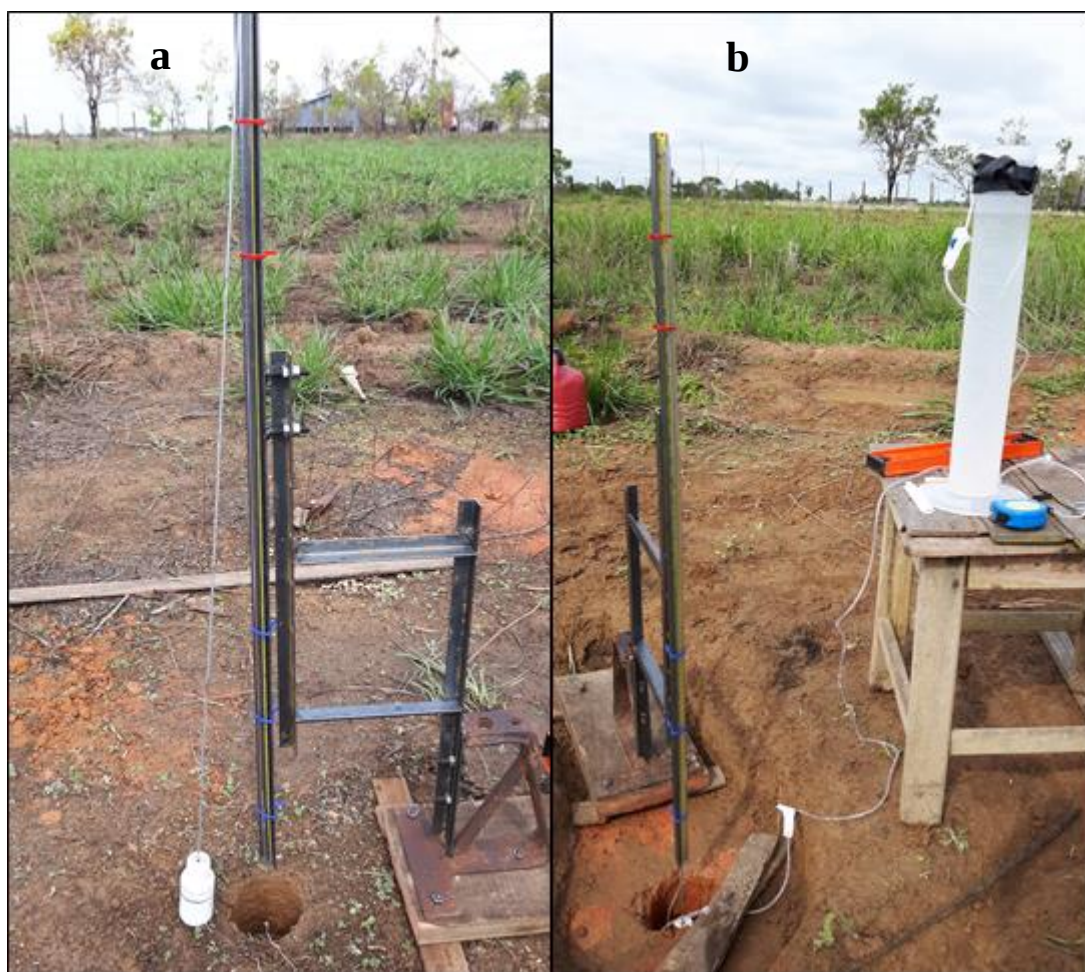


Figura 4 - Aparato utilizado na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (a) com uma proveta de 1000mL e mangueira de soro (b).

Fonte: o autor.

7ª. Para a determinação do valor da distância vertical entre o nível de água no poço e a camada impermeável (T_u), foi aberto uma trincheira com profundidade de 240cm (Figura 5), seguido da abertura de um furo com trado caneco por mais 130cm, totalizando, 370cm de profundidade, onde o solo apresentou um aumento

mais brusco na sua consistência úmida, a mudança de horizonte, nesse caso, considerado a camada impermeável (CI). Nesse sentido, considerando a profundidade até a camada impermeável de 340cm (CI), poço de 100cm (D), coluna de água no poço sempre em torno de 55cm (h), o valor de Tu correspondeu a 295cm, calculado pela seguinte equação:

$$Tu = CI - D + h \quad (7)$$

Em que Tu é a distância vertical entre o nível de água no poço e a camada impermeável (cm); CI é a distância até a camada impermeável ou mudança de horizonte (cm); D é a profundidade do poço (cm); h é a altura da coluna de água no poço (cm).

8ª. A equação 1 foi escolhida para o cálculo da K_0 nas parcelas, pois atendeu a 1ª condição ($Tu \geq 3h$) de Ferreira (1987), em que $295 \geq 165$.

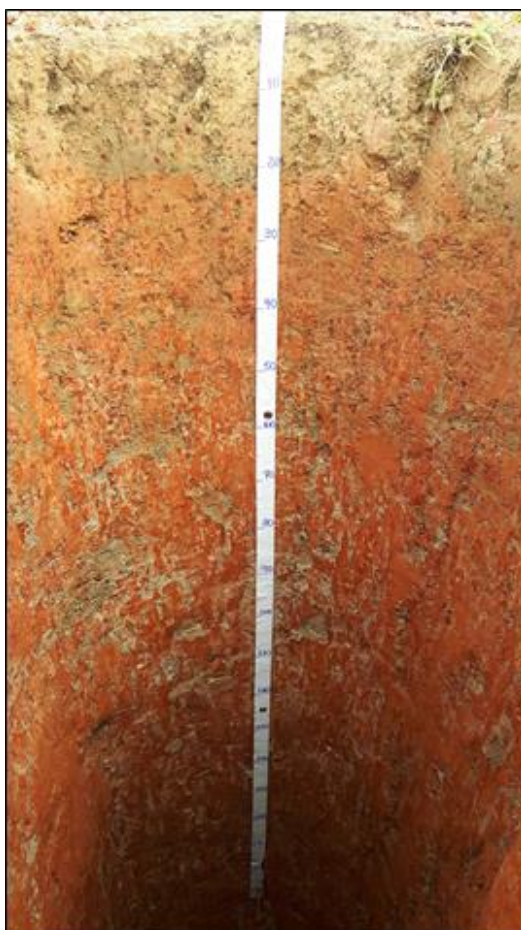


Figura 5 - Aspecto do perfil do solo de estudo com profundidade de 240cm.

A condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada nas 4 parcelas dos manejos alagado e saturado, sempre com 3 repetições em cada parcela, totalizando 12 resultados de K_o em cada manejo de água.

Para o cálculo da perda de água por fluxo lateral (FL), foi determinado a condutividade hidráulica do solo saturado nas taipas, semelhante ao da K_o realizada nas parcelas, assim, seguem as etapas do procedimento de realização da K_o pelo método do poço seco nas taipas:

1ª. Na taipa foi efetuado a limpeza da superfície do solo e em seguida foram definidos 4 locais para perfuração dos poços nas 4 laterais da parcela. Perpendicular a taipa num raio de 50cm e paralelo a taipa num comprimento de 70cm, foi realizado um pequeno dique para a acumulação de água, para facilitar o saturação do solo;

2ª. Terminado a etapa anterior foi realizada a perfuração do poço no centro da taipa com auxílio de um trado tipo caneco de 3 polegadas, a uma profundidade variável sem ultrapassar o horizonte A, com diâmetro de 10cm. Em seguida foi passado uma escova de aço na parede do poço para desfazer qualquer alisamento ou compactação que possa ter ocorrido e o nivelamento do fundo com a remoção do restante de solo depositado no fundo;

3ª. Após a 2ª etapa, foi realizada a aplicação de água durante 24h para a saturação do solo. No poço, a aplicação foi efetuada por meio de um funil inserido no tubo de pvc apoiado no interior de uma latinha no fundo do poço, para evitar o choque da água com o fundo do poço. No entorno do poço na parte interna do dique, a aplicação de água foi efetuada por meio de uma mangueira de uma polegada ligada a uma bomba (Figura 6a);

4ª. Decorridas as 24h, após baixar o nível de água, novamente foi removido o solo do fundo do poço e sempre que necessário foi passado a escova de aço na parede do poço. Em seguida foi colocado água no poço mantendo-a até a superfície superior para restabelecer o equilíbrio, após 1h e 30min foi iniciado o procedimento de determinação da K_o do solo (Figura 6b). Previamente foi definido, a altura da coluna de água (h) no poço, para isso considerou-se a altura da lâmina de água durante o cultivo de arroz e a altura do horizonte A. Nesse caso, não foi possível atender ao requisito do método, que determina a altura da coluna de água no poço maior ou igual a $10r$ (r =raio do poço), por considerar somente a altura da lâmina de água e mais a altura do horizonte A, que variava entre 10 e 25cm. Nesse sentido, a

altura da coluna de água (h) entre os poços variava entre 18 e 33cm, porém sempre mantida constante durante a determinação da K_0 ;



Figura 6 – Dique ao lado da taipa com lâmina de água e a aplicação de água no poço para saturação do solo (a); realização da condutividade hidráulica na taipa após a saturação do solo (b).

5^a. A determinação da K_0 na taipa contou com o auxílio do mesmo aparato utilizado nas parcelas, conforme a figura 6b. O poço era completado com água até o nível aproximado pré-definido e o aparato era colocado e nivelado ao lado do poço, seguido da colocação da haste no interior da mangueira graduada e a boia fixada na base da haste foi colocada no poço. Com a altura da coluna de água pré-definida, foi definido o valor da altura na mangueira graduada onde permanecia a ponta da haste durante todo o tempo de avaliação. Em seguida foi acionado o cronômetro e iniciado a adição de água ao poço por meio de uma mangueira de soro de hospital, que permitia maior ou menor abertura, conectada a uma proveta de 1000ml graduada e nivelada. A proveta foi completada com água limpa até a marca de 1000mL e a cada

decida da coluna de água o equivalente a 200mL, era registrado o tempo e o volume. A proveta novamente era completada com água e repetida as leituras até que se observou a estabilidade do tempo nos intervalos de 200mL de descida da coluna de água na proveta. Com os valores do tempo e o volume de água consumida durante a avaliação, obteve-se os intervalos de tempo (Δt) e a variação de volume de água neste intervalo (ΔV). A vazão (Q) foi obtida pela razão entre a variação do volume (ΔV) de água e o intervalo de tempo (Δt) correspondente, conforme a equação 3.

6ª. A altura exata da coluna de água (h) no poço foi calculada a partir da realização de medições e anotações a campo através do uso do aparato pelas equações 4, 5 e 6.

7ª. A determinação do valor da distância vertical entre o nível de água no poço e a camada impermeável (T_u) foi calculada para cada poço, onde foi considerado a profundidade do poço na taipa ao longo de todo o horizonte A, que era variável entre as taipas. Nesse sentido, considerando a profundidade do horizonte A de 60cm (CI), poço de 55cm (D), coluna de água no poço de 30cm (h), o valor de T_u correspondeu a 35cm, calculado pela equação 7.

8ª. A equação 2 foi escolhida para o cálculo da K_o nas taipas, pois atendeu a 2ª condição ($3h > T_u \geq h$) de Ferreira (1987), em que $90 > 35 \geq 30$.

A condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada nas taipas das 4 parcelas dos manejos alagado e saturado, sempre com 4 repetições, totalizando 16 valores de K_o em cada manejo de água e 32 valores de K_o em ambos os manejos.

Foi calculado a média e o coeficiente de variação da K_o para cada manejo de água nas parcelas e nas taipas.

O cálculo da perda de água por fluxo (FL) foi obtido através da condutividade hidráulica do solo saturado, do gradiente hidráulico, do fluxo lateral de água no solo e a secção da área por onde a água era perdida. Foi calculado o FL para cada taipa de 7m de comprimento.

O gradiente hidráulico (i) foi calculado para cada taipa de 7m, considerando a largura da taipa de 60cm para a condição de solo saturado no manejo de água saturado e altura de lâmina de água de 4 e 8cm para o manejo de água alagado. Conforme a Lei de Darcy, o gradiente hidráulico foi calculado através da seguinte equação:

$$i = \frac{\Delta\Psi_t}{L} = \frac{\Psi_{t2}-\Psi_{t1}}{L} \quad (8)$$

Em que i é o gradiente hidráulico (adimensional); Ψ_{t2} é o potencial total no ponto 2; Ψ_{t1} é o potencial total no ponto 1; L é a largura da taipa.

O fluxo lateral de água no solo foi calculado através da seguinte equação:

$$q = -K_o \cdot i \quad (9)$$

Em que q é o fluxo lateral de água no solo ($L \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); K_o é a condutividade hidráulica do solo saturado (cm h^{-1}), lembrando que $1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ corresponde a $10 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

A área da secção por onde ocorreu o fluxo lateral foi calculado considerando o produto do comprimento da taipa e a altura da lâmina de água em contato com a taipa mais a altura do horizonte A, pela seguinte equação:

$$A = (CT \cdot (ALT + AhA)) \quad (10)$$

Em que A é a área da secção (m^2); CT é o comprimento da taipa (m); ALT é a altura da lâmina de água em contato com a taipa (m); AhA é altura do horizonte A (m).

O volume de água perdido por fluxo lateral de cada taipa foi calculado através da seguinte equação:

$$FLt = \frac{q \cdot A \cdot T}{2} \quad (11)$$

Em que FLt é o volume de água perdido por fluxo lateral na taipa ao longo de 7m de comprimento ($L \text{ taipa}^{-1} \text{ h}^{-1}$); q é o fluxo lateral de água no solo ($L \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); A é a secção da área por onde a água é perdida; T é o tempo (h). Do valor calculado foi considerado apenas a metade, pois na determinação da K_o na taipa pelo método do poço seco, a água deslocou-se para a parte interna e externa da parcela, e que no momento em que ocorreu o cultivo do arroz, a água perdida por fluxo lateral foi deslocada apenas para a parte externa da parcela através da taipa. Com o volume de FLt determinado, calculou-se a perda de água por metro linear de taipa, através da seguinte equação:

$$FLm = \frac{FLt \cdot 24}{CT} \quad (12)$$

Em que FLm é o volume de água perdido por fluxo lateral em um metro linear de taipa ($L \text{ m}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); FLt é o volume de água perdido por fluxo lateral da taipa ao longo de 7m de comprimento ($L \text{ taipa}^{-1} \text{ h}^{-1}$); 24h por dia; CT é o comprimento da taipa (m).

A perda de água por evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida através da determinação da evapotranspiração de referência (ETo) pelo método de Penman-Monteith-FAO parametrizado pela Food and Agriculture Organization (FAO) (ALLEN et al., 1998) e multiplicado pelo valor do coeficiente de cultura (Kc) obtido em Allen et al. (2006). Para a ETo foram utilizados os dados de temperatura do ar, velocidade do vento a 2m de altura, umidade relativa do ar e do saldo da radiação, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os resultados da ETo foram diários em milímetros de água por dia (mm dia⁻¹), durante todo o ciclo do arroz.

A evapotranspiração da cultura foi calculada considerando a ETo diária e o Kc de cada subperíodo de desenvolvimento do arroz. Os valores de Kc utilizados para a cultura do arroz no subperíodo vegetativo foram 1,05, no subperíodo reprodutivo 1,2 e no subperíodo de maturação 0,9, conforme em Allen et al. (2006). A ETc foi calculada pela seguinte equação:

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (13)$$

Em que ETc é a Evapotranspiração da cultura (mm d⁻¹); ETo é a Evapotranspiração de referência (mm d⁻¹); Kc é o coeficiente de cultura do arroz (adimensional).

A determinação do volume de água aplicada nos manejos alagado e saturado foram diários, obtidos a partir da diferença entre a leitura do volume registrado no hidrômetro às 8h20min (V1) e do volume registrado às 8h20min do dia seguinte (V2), subtraído o volume de perda por fluxo lateral diário. A relação entre o volume calculado e da área útil da parcela foi multiplicado por 10 para conversão em m³ ha⁻¹. Segue a equação abaixo:

$$Aplic = \frac{(V2 - V1) - Fl}{Ap} \cdot 10 \quad (14)$$

Em que Aplic é o volume de água aplicada diariamente na parcela (m³ ha⁻¹); V2 é o valor do volume registrado no segundo dia pela manhã (L); V1 é o volume de água registrado no primeiro dia pela manhã (L); Fl é a perda de água por fluxo lateral diário (L); Ap é a área útil alagada da parcela (m²). Do volume calculado foi subtraído o volume diário de água perdido por fluxo lateral, resultando no volume de água aplicada diariamente (Aplic), que foi contabilizado no balanço de água nos manejos alagado e saturado. O volume perdido por fluxo lateral não foi considerado no balanço de água, por considerar que no experimento, a relação do perímetro com a

área alagada é muito superior, quando comparado a relação do perímetro com a área alagada de uma lavoura de arroz em escala normal, o que pode estar superestimando o valor de perda de água por fluxo lateral. Nesse sentido, foi apresentado o valor de perda de água por fluxo lateral por metro linear diário, que pode ser extrapolado para uma lavoura comercial de arroz.

O volume de água da precipitação pluviométrica (INMET) foi convertido para $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Lembrando que 1mm corresponde a 1L m^{-2} de área. Segue a equação:

$$Prec = \left(\frac{Pp \cdot Apc}{Apu} \right) \cdot 10 \quad (15)$$

Em que Prec é o volume de água oriundo da precipitação pluviométrica ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Pp é a precipitação pluviométrica (mm); Apc é a área útil de captação da água da chuva (m^2); Apu é a área útil alagada da parcela (m^2).

O volume total de água consumida nos manejos de água alagado e saturado foram calculados pelo somatório do volume de água aplicada (Aplic) e do volume de água oriundo da precipitação pluvial. Segue a equação abaixo. O volume total de água consumida no manejo aeróbio foi apenas a água oriunda da precipitação pluvial.

$$Volume\ total\ consumido = Aplic + Prec \quad (16)$$

Em que volume total de água consumida ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Aplic é o volume total de água aplicada ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Prec é o volume de água oriundo da precipitação pluviométrica ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

O volume de água consumida para saturar o solo e formar lâmina de água foi calculada a partir do valor de volume observado no hidrômetro antes da aplicação de água (V_i) e após a aplicação da água (V_f), aproximadamente entre 2 e 3 dias, quando o solo permaneceu saturado no manejo saturado e com lâmina de água no manejo alagado. A diferença entre o valor de V_2 e V_1 foi dividido pela área útil da parcela, multiplicado por 10, conforme a equação a seguir:

$$Volume\ para\ saturação\ e\ lâmina = \frac{V_f - V_i}{Ap} \cdot 10 \quad (17)$$

Em que volume para saturação e lâmina ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); V_f é o valor do volume no hidrômetro após a aplicação de água (L); V_i é o valor do volume no hidrômetro antes da aplicação de água (L); Ap é a área útil da parcela (m^2).

A determinação do volume de água perdido por percolação foi obtida pela diferença entre o volume total de entrada no sistema e de saída, através dos componentes de ETc e do volume de saturação e lâmina. Segue a equação:

$$Perc = \text{Volume total entrada} - ETc - \text{Volume para saturação e lâmina} \quad (18)$$

Em que Perc é o volume de água perdido por percolação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); volume total de entrada de água ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); ETc é a evapotranspiração de cultura ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); volume para saturação e lâmina ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Para a determinação da eficiência no uso da água (EUA), foi utilizado a produtividade de arroz e relacionado com o volume total de água consumida (incluído a precipitação pluviométrica) e com o volume de água aplicada (sem a precipitação pluviométrica), considerado o período entre a emergência e a supressão da água, pela seguinte equação:

$$EUA = \frac{Pa}{\text{volume total de água consumida}} \quad (19)$$

$$EUA = \frac{Pa}{\text{volume de água aplicada}} \quad (20)$$

Em que EUA é a Eficiência no uso da água ($\text{kg ha}^{-1} \text{ m}^{-3}$); Pa é a produtividade de arroz (kg ha^{-1}); volume total de água consumida ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e o volume de água aplicada ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Os dados da solução do solo determinados ao longo do tempo foram avaliados através da análise de medidas repetidas. As unidades experimentais corresponderam aos níveis de manejo de água alagado e saturado na cultivar BRS Tropical, que foram aleatoriamente distribuídos na instalação do experimento; enquanto os dias de coleta da solução do solo corresponderam as avaliações no tempo, que foram alocadas nas subunidades. Como dia de coleta não pode ser alocado aleatoriamente às subunidades (FREITAS et al., 2011) e há uma dependência temporal nos erros, a análise recomendada foi de medidas repetidas. O procedimento utilizado na análise estatística foi o modelo misto (MIXED) do software SAS (SAS INSTITUTE, 2003). A seleção da matriz mais adequada aos dados foi a que apresentou o menor valor de AIC (Akaike's Information Criterion) e BIC (Bayesian Information Criterion) (YAFFEE, 2004). Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação das médias duas a duas por meio do teste t ao nível de 5% de significância.

Os resultados referentes ao tecido das plantas, componentes de rendimento e produtividade do arroz seguiram os procedimentos de análise para parcelas divididas. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e quando não apresentaram normalidade estes foram transformados para realização da análise. A análise de variância foi realizada por meio do teste F ao nível de 5% de significância e a comparação das médias por meio do teste Tukey ao nível de 5% de significância. A análise dos dados foi realizada com auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2012).

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Valores do potencial de oxirredução (Eh), pH e teores de Mn, Fe, Ca, Mg, P, K e Zn na solução do solo.

Houve interação entre os níveis dos fatores manejo de água e no tempo, para os valores do Eh, pH, teores de Mn, Fe, Ca e Mg na solução do solo (Apêndice F).

Os valores do Eh em ambos os manejos (ALA e SAT) foram decrescentes ao longo do período de avaliação até pelo menos 29 dias após o início do manejo de água (DAM), com posterior estabilização (Figura 7a). O Eh diminuiu de forma mais acentuada no manejo alagado, apresentando valores menores do que o manejo saturado entre 8 e 64 dias após o início do manejo de água. O Eh estabilizou em valores mais baixos no manejo alagado (135mV) comparativamente no manejo saturado (346mV).

A diminuição do valor do Eh ocorreu em decorrência da redução dos compostos oxidados pelos microrganismos anaeróbios em solo alagado (PONNAMPERUMA, 1972; SOUSA et al., 2002). Por outro lado, os maiores valores do Eh no manejo SAT foram atribuídos à menor redução de compostos oxidados, em função das alternâncias de anaerobiose e aerobiose no manejo SAT, causadas pela difusão de oxigênio do ar em contato com a superfície do solo.

Os valores do pH da solução do solo foram inferiores entre 1 e 8 DAM e superiores entre 22 e 57 DAM no manejo ALA, comparado ao manejo SAT (Figura 7b). O aumento do pH no manejo ALA é explicado pela redução de compostos oxidados, principalmente pela redução do ferro, pois à medida que os compostos férricos (Fe^{3+}) são reduzidos a óxidos ferrosos (Fe^{2+}), íons hidrogênio (H^+) são consumidos e hidroxilas (OH^-) são liberadas para a solução do solo e o pH aumenta, fenômeno conhecido como “autocalagem” (VAHL & SOUSA, 2004). No manejo SAT, o valor inicial superior do pH de 5,83 em 1 DAM, praticamente permaneceu estável ao longo das avaliações (Figura 10b). Já as pequenas oscilações foram atribuídas ao próprio manejo SAT, pois as alternâncias de anaerobiose e aerobiose resultaram na menor redução de compostos oxidados, que contribuiu para manter o pH da solução estável.

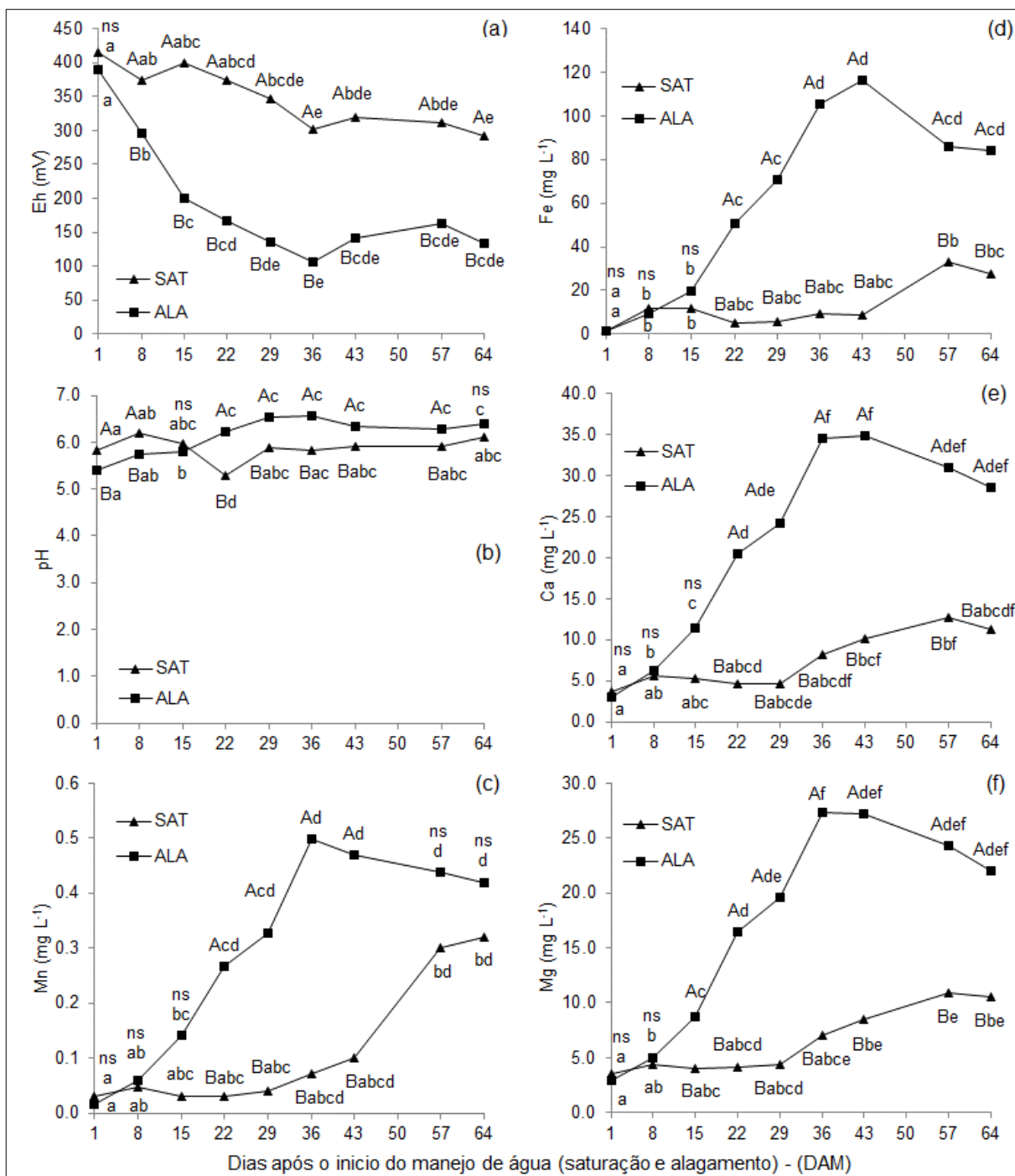


Figura 7 - Valores do potencial de oxirredução (a), pH (b), manganês (c), ferro (d), cálcio (e) e magnésio (f) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ns não significativo entre manejos ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por raiz quadrada para Mn, Fe, Ca; por Log para Mg.

Os teores de manganês (Mn) na solução do solo foram superior no manejo ALA entre 22 e 43 DAM, comparado ao manejo SAT (Figura 7c). Ao longo do tempo, o manejo ALA proporcionou aumentos nos teores de Mn até 36 dias, mantendo-se

estável a partir desse período até o fim do experimento. O manejo SAT mostrou valores estáveis de Mn na maior parte do período, apresentando um aumento somente nas últimas duas avaliações. O aumento dos teores de Mn no manejo ALA foi atribuído a intensa atividade microbiana proporcionada pelo alagamento.

Os teores de ferro (Fe) foram superiores no manejo ALA em relação ao manejo SAT entre 22 e 64 DAM (Figura 7d). No tempo, os teores de Fe aumentaram até 36 DAM e depois decresceram no manejo ALA, enquanto que no manejo SAT, os teores foram baixos com pequenas variações ao longo do tempo. O aumento nos teores de Fe na solução foi atribuído a redução de óxidos férricos (Fe^{3+}) a óxidos ferrosos (Fe^{2+}) pelos microrganismos anaeróbios no manejo ALA, de acordo com os autores Sousa et al. (2004); Ponnamperuma (1972). Já o menor teor de Fe no manejo SAT pode ser explicado pelas alternâncias das condições de oxidação e redução que ocorreram devido a difusão de oxigênio no solo saturado.

Os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram superiores no manejo ALA a partir de 22 e 15 DAM, respectivamente, comparado ao manejo SAT, até o final do período de avaliação (Figura 7e e 7f). No tempo, o Ca e o Mg apresentaram comportamento semelhante em cada manejo. No manejo SAT, a partir de 29 DAM, ocorreu o incremento dos teores de Ca e Mg, porém não expressivo. No manejo ALA, um aumento expressivo nos teores de Ca e Mg ocorreu até 36 DAM e tendendo a decrescer posteriormente. Os maiores teores de Ca e Mg em solução do solo observados no manejo ALA, conforme em Sousa et al. (2010) foram atribuídos ao deslocamento proporcionado pelo Manganês e principalmente pelo ferro, que ocupa parte significativa da capacidade de troca de cátions (CTC) em função de sua alta concentração (SOUSA et al., 2010), o que pode ser confirmado pelo elevado teor de Fe na solução do solo (Figura 7d). Os menores teores de Ca e Mg no manejo SAT ocorreram em decorrência da menor redução de manganês e ferro, conforme já discutido anteriormente.

Houve interação entre os níveis dos fatores manejo de água e tempo, para os valores de P e efeito principal no tempo para os valores de K (Apêndice G). Os teores de fósforo (P), de modo geral foram muito baixos (Figura 8a). Diferenças significativas nos teores foram observados em apenas dois momentos, em 1 e 15 DAM, onde o manejo SAT apresentou valores mais altos de P em relação ao manejo ALA. No tempo, os teores de P decresceram até 15 e 22 DAM nos manejos ALA e SAT respectivamente, e permaneceram praticamente estáveis nos demais dias.

Segundo Sousa et al. (2010), à medida que o P foi sendo liberado, ligado a compostos de ferro à medida que estes eram reduzidos, em seguida foi readsorvido, diminuindo seu valor na solução do solo desde o início do alagamento.

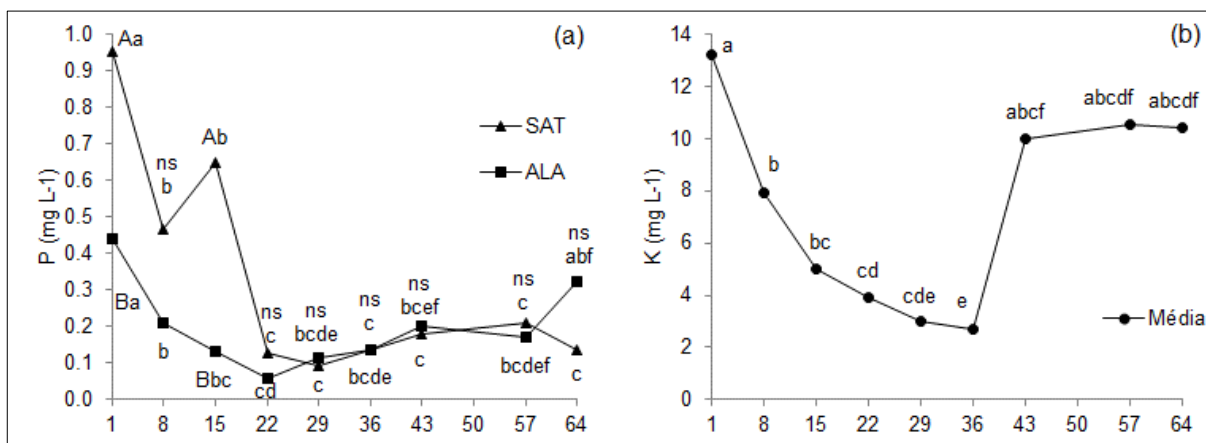


Figura 8 - Teores de fósforo (a) e potássio (b) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ns não significativo entre manejos pelo teste t ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por raiz quadrada para P e por Log para K.

Quanto aos teores de potássio (K) na solução do solo, não foram observadas diferenças entre os manejos de água ao longo de todo o período de avaliação (Figura 8b). Os teores decresceram inicialmente e tenderam a estabilidade, seguido por um aumento provocado pela adubação com cloreto de potássio realizado em cobertura e mantiveram-se em níveis mais elevados.

Houve interação entre manejo de água e tempo para o zinco (Zn) (Apêndice G). Os teores de zinco Zn diferiram entre os manejos de água apenas em dois momentos (Figura 9). O manejo ALA apresentou teor inferior em 1 DAM e superior em 15 DAM em relação ao manejo SAT. A avaliação no tempo, o manejo ALA apresentou teor de Zn superior apenas em 15 DAM, permanecendo iguais nos demais dias. No manejo SAT, o decréscimo ocorreu até 15 DAM e posteriormente não houve variação. Os teores de Zn na solução do solo foram baixos e o seu teor diminuiu com o aumento do pH e absorção pelas plantas.

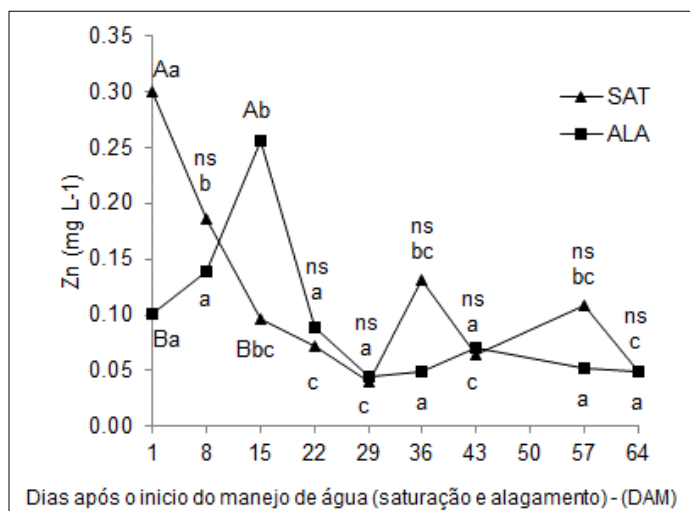


Figura 9 - Teores de zinco na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ns não significativo entre manejos ($p > 0,05$). 1Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$).

4.3.2 Massa seca da parte aérea (MSPA) e teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz das cultivares Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.

Na Tabela 2 são apresentadas as médias de massa seca da parte aérea e teores de macronutrientes no tecido das plantas de arroz. Houve interação dos fatores manejo de água e cultivar apenas para massa seca da parte aérea (MSPA) e teor de Ca. Para os nutrientes N, K e Mg houve efeito principal significativo para os fatores manejo de água e cultivar e para os teores de P apenas para o fator manejo de água (Apêndice H).

As médias de MSPA em relação ao manejo de água foram superiores nos tratamentos aeróbio e alagado em comparação ao saturado, para a cultivar BRS Tropical (Tabela 2). A cultivar IRGA 417 apresentou maior produção de MSPA no alagado em relação ao saturado, mas que não diferiu do aeróbio, que por sua vez, não diferiu do saturado. Dessa forma, o manejo aeróbio e o manejo alagado contribuíram para a maior produção de MSPA nas cultivares de arroz BRS Tropical e IRGA 417.

Tabela 2 - Valores médios da massa seca da parte aérea (MSPA) e dos teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz, da interação dos fatores manejo de água e cultivar.

Manejo de água	Cultivar			Média
	Roraima	BRS Tropical	IRGA 417	
-----MSPA (g m ⁻²)-----				
Aeróbio	690,88 b A	846,56 a A	810,16 ab AB	782,52
Saturado	596,16 a A	626,36 a B	711,16 a B	664,20
Alagado	588,56 b A	747,24 a A	840,08 a A	725,28
Média	644,80	740,08	787,12	
----- N (g kg ⁻¹)-----				
Aeróbio	18,21	17,97	16,54	17,57 A
Saturado	17,41	13,77	13,98	15,05 B
Alagado	16,87	14,45	14,62	15,31 B
Média	17,50 a	15,40 b	15,05 b	
----- P (g kg ⁻¹) -----				
Aeróbio	1,47	1,59	1,40	1,49 B
Saturado	2,01	2,00	2,00	2,00 A
Alagado	2,35	2,51	2,11	2,32 A
Média	1,94 a	2,04 a	1,84 a	
----- K (g kg ⁻¹) -----				
Aeróbio	20,64	18,40	20,20	19,75 B
Saturado	21,87	18,98	22,86	21,24 AB
Alagado	22,42	20,86	21,64	21,64 A
Média	21,64 a	19,41 b	21,57 a	
----- Ca (g kg ⁻¹) -----				
Aeróbio	3,39 a AB	2,99 ab A	2,97 b B	3,12
Saturado	3,55 a A	2,65 b A	3,20 a AB	3,13
Alagado	3,09 ab B	2,78 b A	3,48 a A	3,12
Média	3,34	2,80	3,22	
----- Mg (g kg ⁻¹) -----				
Aeróbio	2,79	2,78	3,26	2,94 A
Saturado	2,12	1,86	2,21	2,07 B
Alagado	1,88	1,71	1,94	1,84 B
Média	2,27 ab	2,12 b	2,47 a	

¹Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

A média de MSPA sob o aspecto de cultivar foi superior na cultivar BRS Tropical em relação a Roraima, mas que não diferiu da IRGA 417, que por sua vez, não diferiu da Roraima, no manejo aeróbio (Tabela 2). As cultivares IRGA 417 e BRS Tropical apresentaram maior produção de MSPA em comparação a cultivar Roraima, no manejo alagado. A menor produção de MSPA na Roraima foi atribuída ao menor número e altura de plantas por área (Tabela 7). Portanto, as cultivares IRGA 417 e BRS Tropical apresentaram a maior produção de MSPA nos manejos aeróbio e alagado.

Quanto à suficiência de nutrientes no tecido das plantas, os teores de K, Ca e Mg estão adequados, segundo critérios de interpretação descritos em Fageria (1989). Os teores de P foram adequados em todos os tratamentos conforme em Reuter & Robinson (1997). Acredita-se que os teores de N no tecido da parte aérea foram adequados, semelhantes aos observados no trabalho de Silva et al. (2012). Os mesmos autores observaram que na avaliação da última folha expandida coletada na época da floração, os teores eram adequados, a exceção de uma cultivar, portanto, acreditavam que os teores de N da parte aérea também eram adequados. Conforme citado em Silva et al. (2012), os teores de N no tecido da parte aérea diminuem ao longo do ciclo, devido a presença de colmos e folhas senescentes, diluindo o teor de N.

O teor médio de N no tecido (Tabela 2) em relação ao efeito principal do manejo de água foi superior no tratamento aeróbio comparado ao saturado e alagado. O elevado índice pluviométrico pode ter contribuído para incorporar o N ao solo e minimizar as perdas no manejo aeróbio, conseqüentemente, aumentando o N disponível no solo e seu teor no tecido. Em relação ao efeito principal de cultivar, a maior média foi observada na cultivar Roraima. Possivelmente a menor produção de MSPA tenha contribuído para aumentar a concentração de N no tecido da cultivar Roraima em relação às outras duas cultivares. Assim, o maior teor de N no tecido, em relação ao manejo foi proporcionado pelo manejo aeróbio e quanto cultivar, pela Roraima.

O efeito principal do fator manejo de água revelou teores médios de P no tecido superior no manejo alagado e saturado em comparação ao aeróbio (Tabela 2). O maior teor de P no tecido pode ser explicado pelo teor de P na solução, semelhante em ambos os manejos alagado e saturado. O menor teor no tecido, talvez possa ser atribuído a um provável teor de P menor na solução no manejo aeróbio (não medido).

O teor médio de K no tecido (Tabela 2) foi superior no manejo alagado em relação ao aeróbio, mas não diferiu do saturado. O teor de K na solução do solo foi semelhante em ambos os manejos alagado e saturado, o que pode ajudar a explicar o maior teor no tecido. Em relação ao efeito principal de cultivar, os maiores teores médios de K foram observados nas cultivares Roraima e IRGA 417.

Conforme já mencionado, houve interação entre os fatores manejo de água e cultivar para o Ca no tecido (Tabela 2). O maior teor de Ca foi observado no

tratamento saturado em relação ao alagado, mas que não diferiu do aeróbio, que por sua vez, não diferiu do alagado, para a cultivar Roraima. Já para a cultivar IRGA 417, o maior teor de Ca ocorreu no alagado em relação ao aeróbio, mas que não diferiu do saturado, que por sua vez não diferiu do aeróbio. O excesso de Fe^{2+} na solução do solo pode ter contribuído para inibir a absorção de Ca pela Roraima no manejo alagado e de forma menos intensa, no manejo saturado (SOUSA et al., 2010). Já para a cultivar IRGA 417, o excesso de Fe^{2+} na solução do solo no manejo alagado não impediu os maiores valores de Ca no tecido. Quanto a cultivar, a Roraima apresentou maior teor de Ca em relação a IRGA 417, mas que não diferiu da BRS Tropical, que por sua vez não diferiu da IRGA 417, no manejo aeróbio. No manejo saturado, as cultivares Roraima e IRGA 417 apresentaram os maiores teores de Ca no tecido. No manejo alagado, o maior teor de Ca foi observado na cultivar IRGA 417 em relação a BRS Tropical, mas que não diferiu da Roraima, que por sua vez, não diferiu da BRS Tropical.

O efeito principal do fator manejo de água revelou teores médios de Mg no tecido (Tabela 2), superior no aeróbio em comparação ao saturado e alagado. De forma negativa, o excesso de Fe^{2+} na solução do solo pode ter contribuído para inibir a absorção de Mg no manejo alagado e de forma menos intensa, no manejo saturado (SOUSA et al., 2010). Quanto ao efeito principal de cultivar, o maior teor de Mg ocorreu na IRGA 417 em relação a BRS Tropical, mas que não diferiu da Roraima, que por sua vez, não diferiu da BRS Tropical.

As cultivares diferem-se entre si quanto aos teores de nutrientes no tecido, com exceção para o P. Segundo Fageria et al. (1995), o uso eficiente de nutrientes em alguns genótipos é atribuído à mudança nas características morfológicas e fisiológicas das planta.

4.3.3 Teores de Fe, Mn, Zn e Cu no tecido em plantas de arroz das cultivares Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.

Na tabela 3 são apresentados os teores de micronutrientes no tecido do arroz. Não houve efeito de interação dos fatores. Houve efeito do fator manejo de água para as variáveis Mn, Fe, Zn e Cu e efeito do fator cultivar para as variáveis Fe e Cu.

Os teores de micronutrientes no tecido foram superiores à faixa ótima estabelecida para o arroz, à exceção do teor de Mn no manejo alagado, enquadrado na faixa ótima, segundo critérios de avaliação em Dobermann & Fairhurst (2000).

Tabela 3 - Teores médios de Mn, Fe, Zn e Cu no tecido do arroz do fator manejo de água (M) nos níveis aeróbio, saturado e alagado e do fator cultivar (C) nos níveis IRGA 417, BRS Tropical e Roraima.

Nível	Mn	Fe	Zn	Cu
	----- (mg kg ⁻¹) -----			
Manejo de água (M)				
Aeróbio	302,44 a	136,57 b	72,43 a	10,67 b
Saturado	194,25 b	217,59 a	60,37 b	12,20 a
Alagado	104,45 c	253,41 a	59,84 b	10,40 b
Cultivar (C)				
IRGA 417	202,29 ^{ns}	252,79 a	63,95 ^{ns}	12,10 a
BRS Tropical	184,43	195,56 b	64,17	11,28 ab
Roraima	214,41	159,21 b	64,53	9,89 b
² p valor				
M	0,001***	0,001***	0,002**	0,014*
C	0,125	0,001***	0,985	0,005**
M x C	0,120	0,069	0,266	0,202
³ CV Manejo de água (%)	19,83	19,71	8,40	10,43
³ CV Cultivar (%)	17,05	19,93	13,09	12,99

¹Médias dos níveis dentro de cada fator seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. ²Probabilidade “p” associada à estatística F calculada na ANOVA. * significativo a 5%, ** significativo a 1%, ***significativo a 0,1%. ³Coefficiente de variação. ^{ns} Não significativo.

O teor médio de Mn no tecido sob o efeito principal manejo de água foi superior no aeróbio comparado ao saturado, este por sua vez, superior ao alagado (Tabela 3). Os teores de Mn na solução do solo foram baixos (Figura 7c). A absorção do Mn pela planta pode ter sofrido efeito de competição da absorção de Fe, pois os teores foram inversamente proporcionais (Tabela 3).

Passando para a avaliação do teor de Fe no tecido sob o aspecto do manejo de água, este foi superior nos manejos alagado e saturado comparado ao aeróbio (Tabela 3). O menor teor de Fe no tecido no manejo aeróbio foi atribuído aos baixos teores na solução do solo em função da menor solubilidade de Fe nesse ambiente. Quanto ao aspecto do fator cultivar, o maior teor de Fe foi encontrado na cultivar IRGA 417, diferindo das demais. A cultivar IRGA 417 apresenta reação de suscetibilidade à toxidez por ferro (SOSBAI, 2014), ao contrário da cultivar Roraima, que é considerada tolerante (CORDEIRO, 2009).

O teor de Zn no tecido em relação ao manejo de água foi superior no aeróbio em comparação ao saturado e alagado (Tabela 3). Os teores de Zn na solução do solo foram baixos (Figura 9). A absorção do Zn pela planta pode ter sofrido efeito de competição da absorção de Fe, pois os teores foram inversamente proporcionais (Tabela 3).

O manejo saturado apresentou maior teor de Cu em relação ao aeróbio e o alagado (Tabela 3). Relacionado a cultivares, o maior teor de Cu foi observado na IRGA 417 em relação a Roraima, mas que não diferiu da BRS Tropical, que por sua vez, não diferiu da Roraima.

4.3.4 Avaliação visual de toxidez por ferro nas cultivares de arroz Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água saturado e alagado.

Na tabela 4 são apresentados os valores da avaliação visual da intensidade dos sintomas de toxidez por ferro nas cultivares de arroz ao longo do tempo, nos manejos de água saturado e alagado. Os sintomas visuais de toxidez por ferro foram observados em todas as cultivares em ambos os manejos, saturado e alagado (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios de toxidez por ferro nas folhas medido no tempo, nas cultivares de arroz irrigado Roraima, BRS Tropical e IRGA 417, submetidos aos manejos de água saturado e alagado no município de Humaitá-AM.

Manejo de água	Cultivar	Dias após o início do manejo de água saturado e alagado do solo (DAM)						
		24	31	38	45	52	59	66
Saturado ²	Roraima ¹	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	BRS Tropical ¹	1,0	1,5	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	IRGA 417 ¹	1,0	1,0	1,0	2,5	4,0	3,0	3,2
Alagado ²	Roraima ¹	1,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,2	2,7
	BRS Tropical ¹	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	IRGA 417 ¹	1,0	1,5	1,5	4,0	3,5	3,7	3,7

¹Médias de cultivares dentro de cada manejo. ²Médias de cada cultivar entre manejos. ³Escala de notas de 1 a 9 conforme IRRI (1996): 1–crescimento e perfilhamento normal; 2–sintomas na ponta das folhas mais velhas; 3–sintomas nas folhas mais velhas; 5–crescimento e perfilhamento retardado, muitas folhas descoloridas; 7–crescimento e perfilhamento paralisado, maioria das folhas descoloridas ou mortas; 9 – quase todas as plantas mortas ou morrendo.

A cultivar IRGA 417 no manejo saturado apresentou sintomas mais pronunciados de toxidez por ferro a partir de 45 DAM e que permaneceram até o final das avaliações (Tabela 4). As cultivares Roraima e BRS Tropical apresentaram sintomas menos pronunciados e estáveis a partir de 45 DAM. No manejo alagado, os sintomas mais pronunciados de toxidez por ferro também foram observados na cultivar IRGA 417 a partir dos 45 DAM. Nas cultivares Roraima e BRS Tropical, os sintomas menos pronunciados já iniciaram mais cedo e ocorreram desde 31 até 66 DAM. O valor 3 significou sintomas nas folhas mais velhas, enquanto que o valor 2 correspondeu aos sintomas na ponta das folhas velhas. Os sintomas de toxidez por ferro observados coincidiram com o aumento do teor de Fe na solução do solo (Figura 7d). A avaliação visual dos sintomas de toxidez por ferro também está de acordo com os teores médios de Fe no tecido, superior na cultivar IRGA 417 em relação às cultivares Roraima e BRS Tropical (Tabela 3). A cultivar de arroz Roraima é resistente a toxidez por ferro (CORDEIRO, 2009), o que explica o menor valor em relação a cultivar IRGA 417, considerada suscetível (SOSBAI, 2014). Não se tem informações da cultivar BRS Tropical quanto à reação a toxidez por ferro.

Os sintomas de toxidez por ferro na ponta das folhas velhas (valor 2) ao longo do tempo no manejo saturado foram observados nas cultivares Roraima e BRS Tropical a partir de 45 DAM e permaneceram estáveis (Tabela 4). Enquanto que a cultivar IRGA 417 apresentou sintomas nas folhas mais velhas (valor 3) a partir de 52 DAM. Os sintomas de toxidez por ferro observado nas folhas coincidiram com o aumento do teor de Fe na solução do solo do manejo saturado entre 43 e 57 DAM (Figura 7d). A estabilização da toxidez por ferro aos 45 DAM na Roraima e BRS Tropical e aos 52 DAM na IRGA 417, ocorreu após a aplicação da segunda dose de potássio realizada aos 40 DAM, que pode ser um indício da contribuição do potássio na diminuição da absorção de Fe pelas plantas. O aumento mais pronunciado dos sintomas de toxidez na cultivar IRGA 417 aos 52 DAM, demonstrou ser mais susceptível, ao contrário da Roraima e BRS Tropical.

No manejo alagado, as cultivares Roraima e BRS Tropical apresentaram sintomas de toxidez próximos ao valor 2,0 aos 31 DAM, permanecendo estáveis até o final da avaliação. A cultivar IRGA 417 apresentou aumentos mais pronunciados de sintomas de toxidez a partir de 45 DAM e permaneceu estável com valores próximos de 3,0. Os maiores teores de Fe na solução do solo no manejo alagado (Figura 7d) anteciparam os maiores valores de toxidez por Fe na planta. A

estabilização dos sintomas aos 31 DAM nas cultivares Roraima e BRS Tropical, pode ser um indício da contribuição do potássio aplicado aos 17 DAM e posteriormente aos 40 DAM, além do próprio mecanismo de defesa das plantas. A estabilização da toxidez na cultivar IRGA 417 aos 45 DAM logo após a segunda dose de potássio aos 40 DAM, também pode ser um indício da contribuição do potássio na diminuição da absorção de Fe pelas plantas. Portanto, o manejo alagado promoveu valores mais pronunciados de toxidez por Fe duas semanas anterior ao manejo saturado. Tanaka & Tadano (1972) observaram um efeito negativo do potássio na absorção do ferro. Vahl (1982) observou que o teor de ferro no tecido das plantas de arroz foi menor em solos que receberam adubação de K em relação aos solos não adubados com K.

A toxidez por ferro em relação ao manejo de água em cada cultivar revelou sintomas na ponta das folhas mais velhas no alagado e nenhum sintoma no saturado, para as cultivares Roraima aos 31 DAM e BRS Tropical aos 31 e 38 DAM (Tabela 4). A cultivar IRGA 417 apresentou valor superior no alagado em relação ao saturado aos 45 DAM. O maior valor observado nessas cultivares é atribuído aos maiores teores de Fe na solução do solo no manejo alagado (Figura 7d). Entretanto, nos demais dias maiores valores visuais eram esperados devido o maior teor de Fe na solução do solo nesse manejo, o que não aconteceu, pois, os teores de Fe no tecido foram semelhantes em ambos os manejos (Tabela 3). Acredita-se que, o mecanismo de defesa de cada cultivar pode ter contribuído para limitar a absorção de Fe e o potássio aplicado em cobertura, pois os teores no tecido em ambos os manejos não diferiram.

4.3.5 Avaliação visual de severidade de brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha parda (*Bipolaris oryzae*) nas folhas das cultivares de arroz Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.

Na tabela 5 são apresentados os valores de severidade de brusone na folha (*Pyricularia grisea*). Os sintomas visuais de severidade da brusone na folha (BF) foram observados em todas as cultivares nos três manejos de água.

A avaliação de cultivar em cada combinação de níveis do manejo de água e no tempo revelou que, no manejo aeróbio a cultivar BRS Tropical apresentou

maiores valores visuais de BF (Tabela 5). No manejo saturado, os valores de BF foram semelhantes para todas as cultivares entre 17 e 38 DAM. No manejo alagado os sintomas de BF foram abaixo de 1% para as cultivares avaliadas entre 17 e 38 DAM, a exceção da cultivar Roraima aos 31 e 38 DAM, que não apresentou sintomas.

Tabela 5 - Valores médios da severidade de brusone nas folhas medido no tempo, nas cultivares de arroz irrigado Roraima, BRS Tropical e IRGA 417, submetidos aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado no município de Humaitá-AM.

Manejo de água	Cultivares	Dias após o início do manejo de água saturado e alagado do solo (DAM)				
		17	24	31	38	45
Aeróbio ²	Roraima ¹	0,7	0,2	0,2	0,2	0
	BRS Tropical ¹	1,5	2,0	1,5	2,0	0
	IRGA 417 ¹	0,7	0,2	0,5	0,7	0
Saturado ²	Roraima ¹	0,7	0,5	0,5	0,5	0
	BRS Tropical ¹	1,0	1,5	1,0	0,7	0
	IRGA 417 ¹	0,5	0,5	0,5	0,7	0
Alagado ²	Roraima ¹	0,5	0,2	0	0	0
	BRS Tropical ¹	1,0	1,0	0,5	0,5	0,2
	IRGA 417 ¹	0,7	0,2	0,2	0,2	0

¹Médias de cultivares dentro de cada manejo. ²Médias de cada cultivar entre manejos. ³Escala de notas de 0 a 9 conforme em IRRI (1996): 0—ausência de lesões; 1—abaixo de 1% da área foliar/tecido doente; 3—de 1 a 5% da área foliar/tecido doente; 5—de 6 a 25% da área foliar/tecido doente; 7—de 26 a 50% da área foliar/tecido doente e 9—acima de 50% da área foliar/tecido doente.

A BRS Tropical apresenta moderada resistência à brusone na folha (CORDEIRO, 2010) e a Roraima é considerada moderadamente suscetível a brusone (CORDEIRO & MEDEIROS 2008) e a IRGA 417, considerada suscetível (SOSBAI, 2014). As aplicações de fungicidas contribuíram no controle da BF nas cultivares.

Os valores de brusone na folha ao longo do tempo em cada combinação de níveis do manejo de água e cultivar mantiveram-se constantes e diminuíram na última avaliação (Tabela 5).

Quanto ao comportamento da BF em relação ao manejo de água em cada combinação de níveis de cultivar e tempo, foram observados valores superiores na cultivar BRS Tropical no manejo aeróbio, comparado aos manejos saturado e

alagado (Tabela 5). Na presença de lâmina de água irregular, a deposição de orvalho é maior em áreas não inundadas, constituindo uma fonte de inóculo para disseminação do fungo para outras partes da lavoura (PRABHU & FILIPPI, 2006). As plantas sob estresse hídrico são potencialmente mais susceptíveis à brusone, dessa forma, na presença da lâmina de água, há enorme probabilidade de não ocorrer esse estresse hídrico (BONMAN, 1992). Os maiores teores de N no tecido das plantas no manejo aeróbio (Tabela 2) podem ter contribuído para o avanço da brusone, que segundo Prabhu & Filippi (2006), o elevado teor de N torna o tecido foliar mais susceptível a brusone. Na avaliação de manejos de água em diferentes genótipos de arroz no estado de Roraima, Cordeiro et al. (2010) verificaram que a incidência de brusone na folha foi menor no sistema de irrigação por inundação contínua e semeadura em linhas em relação ao sistema de irrigação intermitente.

Na tabela 6 são apresentados os valores dos sintomas visuais de severidade de mancha parda (*Bipolaris oryzae*) na folha (MPF). Os sintomas visuais de severidade de MPF foram observados em todas as cultivares e nos três manejos de água.

Tabela 6 - Valores médios de severidade de mancha parda (*Bipolaris oryzae*) nas folhas medido no tempo, nas cultivares de arroz irrigado Roraima, BRS Tropical e IRGA 417, submetidos aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado no município de Humaitá-AM.

Manejo de água	Cultivar	Dias após o início do manejo de água saturado e alagado do solo (DAM)								
		17	24	31	38	45	52	59	66	73
Aeróbio ²										
	Roraima ¹	0	0,5	2,0	1,7	4,5	5,5	6,0	7,0	6,5
	BRS Tropical ¹	0	0,2	2,5	2,5	5,0	5,5	5,5	5,5	5,5
	IRGA417 ¹	0	0,5	2,0	1,7	6,5	7,0	7,5	7,0	7,0
Saturado ²										
	Roraima ¹	0	0,7	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	5,0	5,0
	BRS Tropical ¹	0	0	1,5	1,5	2,0	3,0	3,0	3,5	3,5
	IRGA417 ¹	0	1,0	1,2	2,0	3,5	3,0	5,0	5,0	5,0
Alagado ²										
	Roraima ¹	0,2	0,7	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	4,0	4,0
	BRS Tropical ¹	0	0,2	2,5	2,0	3,0	2,0	3,0	3,5	3,5
	IRGA417 ¹	0,7	0,7	1,5	1,0	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5

¹Médias de cultivares dentro de cada manejo. ²Médias de cada cultivar entre manejos. ³Escala de notas de 0 a 9 conforme em IRRI (1996): 0—ausência de lesões; 1—abaixo de 1% da área foliar/tecido doente; 3—de 1 a 5% da área foliar/tecido doente; 5—de 6 a 25% da área foliar/tecido doente; 7—de 26 a 50% da área foliar/tecido doente e 9—acima de 50% da área foliar/tecido doente.

A MPF em relação a cultivar na combinação do manejo aeróbio e tempo (Tabela 6) revelou valores maiores de severidade de mancha parda na folha nas cultivares Roraima e IRGA 417 em relação a BRS Tropical nas três últimas avaliações. No manejo saturado, nas primeiras avaliações os valores de MPF foram semelhantes nas cultivares Roraima, BRS Tropical e IRGA 417. Nas três últimas avaliações, os valores de MPF foram superiores nas cultivares Roraima e IRGA 417 em relação à BRS Tropical. No manejo alagado, os valores de MPF foram semelhantes nas cultivares Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 com exceção da primeira avaliação.

Os valores de mancha parda na folha ao longo do tempo em cada combinação de níveis do manejo de água e cultivar (Tabela 6), no aeróbio aumentaram em todas as cultivares, que estabilizaram em torno do valor 7,0 na Roraima e IRGA 417 e de valores próximos à 5, na BRS Tropical. No manejo saturado, o aumento nos valores de MPF ao longo do tempo foram observados em todas as cultivares, que estabilizaram no valor 5,0 na Roraima e IRGA 417 e próximo ao valor 3,0 na BRS Tropical. O manejo alagado revelou aumentos nos valores de MPF ao longo do tempo em todas as cultivares, que estabilizaram próximo aos valores da faixa 3. Assim, os aumentos de MPF no tempo foram mais pronunciados e alcançaram maiores valores no manejo aeróbio e menos pronunciados com menores valores no manejo alagado.

O menor valor de severidade de MPF na cultivar BRS Tropical pode ser atribuído a sua reação à doenças, considerada moderada resistência à mancha parda na folha. A classificação da cultivar IRGA 417 como médio suscetível (SOSBAI, 2014) contribuiu para os maiores valores de MPF. Não se tem informações quanto a reação de MPF da cultivar Roraima, pois apresentou elevados valores.

Os valores de mancha parda na folha em relação ao manejo de água em cada combinação de níveis de cultivar e no tempo são apresentados na tabela 6. O manejo aeróbio proporcionou maior valor de MPF em relação ao manejo saturado, que por sua vez proporcionou maior valor em relação ao manejo alagado, nas cultivares Roraima e IRGA 417. Na cultivar BRS Tropical, o manejo aeróbio proporcionou maior valor de MPF em relação aos manejos saturado e alagado. Portanto, os manejos saturado e alagado proporcionaram um efeito positivo no

controle da severidade de mancha parda na folha nas cultivares Roraima, BRS Tropical e IRGA 417.

A deposição de orvalho é maior em áreas não inundadas, constituindo um foco de inóculo para disseminação do fungo para outras partes da lavoura (PRABHU & FILIPPI, 2006). A MPF pode ter sido favorecida pelos maiores teores de N no tecido das plantas no manejo aeróbio (Tabela 2), que segundo Prabhu & Filippi (2006), o elevado teor de N torna o tecido foliar mais susceptível a instalação do fungo. Cordeiro et al. (2010) verificaram que a incidência de mancha de grãos foi menor no sistema de irrigação por inundação contínua e semeadura em linhas em relação ao sistema de irrigação intermitente, atribuindo o efeito a presença da lâmina de água.

4.3.6 Ciclo e componentes de rendimento das cultivares de arroz Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.

O ciclo entre a emergência e a maturação no ponto de colheita para as cultivares BRS Tropical, IRGA 417 e Roraima foram 107, 106 e 96 dias, respectivamente. Somente a cultivar Roraima apresentou ciclo menor de 91 dias no manejo alagado. Não houve acamamento de plantas de nenhuma cultivar e em nenhum manejo de água.

Na tabela 7 são apresentados os componentes de rendimento das cultivares de arroz. Não houve efeito de interação dos fatores manejo de água e cultivar. Houve efeito principal do fator manejo de água para a variável grãos por panícula e altura de plantas. Houve efeito principal do fator cultivar, para as variáveis número de plantas, altura de plantas, comprimento de panícula, número de grãos por panícula, esterilidade de grãos, massa de mil grãos, grãos inteiros e produtividade de grãos.

O efeito do fator manejo de água para a variável grãos por panícula revelou maiores valores nos manejos saturado e alagado em comparação ao aeróbio (Tabela 7). O número menor de grãos por panícula no manejo aeróbio, possivelmente foi compensado pelo maior número de panículas por área, mesmo não apresentando diferença estatística, contribuindo, dessa forma para manter a semelhança de rendimentos nos tratamentos de manejos.

A semelhança nos rendimentos entre os manejos (Tabela 7) foi atribuída à ausência de estresse hídrico e ao elevado número de panículas por área no manejo aeróbico, que compensou o número menor de grãos por panícula. O índice elevado de precipitação pluviométrica (753,5mm para as cultivares IRGA 417 e BRS Tropical; 680,3mm para cultivar Roraima. Fonte: INMET) e a elevação do lençol freático até próximo a superfície, observados no período de cultivo impediram os efeitos negativos causados pelo estresse hídrico no manejo aeróbico. Ao contrário do estudo, Corderio et al. (2010) observaram interação significativa entre manejos de água e genótipos/cultivares, das quais as cultivares IRGA 417 e Roraima apresentaram rendimento de 9590kg ha⁻¹ e 8795kg ha⁻¹ respectivamente, no sistema de irrigação por inundação contínua, superior ao sistema de irrigação intermitente, de 8298kg ha⁻¹ e 7332kg ha⁻¹, respectivamente. Segundo os autores, a irrigação intermitente pode ter favorecido uma maior competição do arroz com as ervas daninhas e proporcionado maior ocorrência de doenças.

Tabela 7 - Comparações das médias dos níveis dos fatores manejo de água (M) e cultivares (C) para as variáveis número de plantas em um metro quadrado (Planta); número de panículas em um metro quadrado (Panícula); comprimento de panícula (Comp. de paníc.); número de grãos por panícula (Grãos paníc.); esterilidade de grãos (Esterilidade); massa de mil grãos (Mil grãos); grãos inteiros (Grãos inteiros); Produtividade de grãos (Produtividade).

Efeito	Planta (n m ⁻²)	Altura de planta m	Paní- cula (n m ⁻²)	Comp. de paníc. (cm)	Grãos paníc. (n pa ⁻²)	Esteri- lidade (%)	Mil grãos (g)	Grãos Inteiros (%)	Produtivi- dade (Kg ha ⁻¹)
Manejo de água (M)									
Aeróbico	411 ^{ns}	0,89b	509 ^{ns}	22,5 ^{ns}	85,3b	8,7 ^{ns}	28,5 ^{ns}	52,8 ^{ns}	8494 ^{ns}
Saturado	392	0,89b	466	23,0	102,9a	8,4	28,9	54,4	8480
Alagado	416	0,94a	458	23,2	103,9a	9,5	28,8	55,8	8468
Cultivar (C)									
IRGA 417	387b	0,92a	482 ^{ns}	23,9a	97,2ab	7,6b	30,2a	52,9b	8150b
BRSTropical	461a	0,94a	483	21,9b	88,7b	11,6a	29,9a	44,6c	8619a
Roraima	371b	0,86b	467	22,8ab	106,1a	7,5b	26,2b	65,6a	8674a
² p valor									
M	0,057	0,001**	0,058	0,072	0,015*	0,597	0,514	0,077	0,989
C	0,002**	<.001***	0,806	0,003**	0,018*	0,002**	<.001***	<.001***	0,032*
M x C	0,980	0,245	0,309	0,212	0,617	0,820	0,465	0,681	0,743
CV (M) (%)	4,77	2,43	9,20	2,80	12,29	29,89	2,98	4,75	4,88
CV (C) (%)	13,98	3,72	13,49	5,15	13,79	29,97	2,92	9,32	5,74

¹Médias dos níveis dentro de cada fator seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ²Probabilidade “p” associada à estatística F calculada na ANOVA. * significativo a 5%, ** significativo a 1%, *** significativo a 0,1%.

O manejo de água influenciou a altura de plantas, os maiores valores foram observados no manejo alagado em relação aos manejos saturado e aeróbico (Tabela

7). Cordeiro et al. (2010) também observaram altura maior das plantas no manejo inundado em relação ao intermitente.

Em relação ao efeito principal do fator cultivar, verificou-se que o número de plantas foi maior na cultivar BRS Tropical em relação às outras duas cultivares (Tabela 7). Entretanto, o número de panículas não diferiu entre as cultivares avaliadas, não podendo explicar a menor produtividade de grãos da cultivar IRGA 417.

Quanto ao comprimento de panícula, o maior valor foi observado na cultivar IRGA 417 em relação à BRS Tropical, mas que não diferiu da Roraima, que por sua vez, não diferiu da BRS Tropical (Tabela 7). O comprimento de panícula é uma característica própria da cultivar.

Em relação ao número de grãos por panícula, o maior valor foi observado na cultivar Roraima em relação a cultivar BRS Tropical, mas que não diferiu da cultivar IRGA 417, que por sua vez, não diferiu da cultivar BRS Tropical (Tabela 7). A semelhança dos valores das cultivares Roraima e IRGA 417 se relacionou com a semelhança dos valores de maior comprimento de panícula para as mesmas cultivares, pois se acredita ser a explicação para o maior número de grãos nessas duas cultivares.

A esterilidade de grãos foi superior na cultivar BRS Tropical em relação às cultivares IRGA 417 e Roraima (Tabela 7). A diferença pode ser atribuída a uma característica da cultivar BRS Tropical.

Os valores da massa de mil grãos foram semelhantes nas cultivares IRGA 417 e BRS Tropical mas superior ao da cultivar Roraima (Tabela 7). Os valores observados em cada cultivar foram superior aos valores obtidos nas cultivares do trabalho de Cordeiro (2009), e são característica de cada cultivar.

A produtividade de grãos foi superior nas cultivares BRS Tropical e Roraima em relação a cultivar IRGA 417 (Tabela 7). A manutenção da semelhança de produtividade entre as cultivares BRS Tropical e Roraima mesmo nas diferenças observadas entre alguns dos componentes de rendimento, talvez possa ser atribuído a maior massa de grãos, que compensou o menor número de grãos por panícula e o maior percentual de esterilidade na cultivar BRS Tropical em relação a cultivar Roraima. Já na cultivar Roraima, a menor massa de grãos foi compensada pelo maior número de grãos por panícula. No estudo de Cordeiro et al. (2010), o maior rendimento da cultivar IRGA 417 (8298Kg ha⁻¹) em relação a cultivar Roraima

(7332Kg ha⁻¹) ocorreu na irrigação intermitente, enquanto que na irrigação continua não houve diferenças entre elas em virtude da boa adaptação aos diferentes manejos, segundo os próprios autores. Na avaliação em diferentes ambientes entre as safras 2003/2004 e 2006/2007 realizado por Cordeiro & Medeiros (2010), a produtividade média das cultivares foi maior na BRS Tropical (7860 Kg ha⁻¹) em relação a Roraima (7543Kg ha⁻¹), que por sua vez foi mais produtiva que a IRGA 417 (7330Kg ha⁻¹). Nota-se a necessidade de avaliações por mais de uma safra para as referidas cultivares, entretanto, as produtividades são semelhantes aos resultados obtidos por Cordeiro & Medeiros (2010).

O percentual de grãos inteiros foi superior na cultivar Roraima em relação a cultivar IRGA 417, que por sua vez foi superior a cultivar BRS Tropical (Tabela 7). De acordo com Cordeiro & Medeiros (2010), em condições normais as cultivares Roraima, IRGA 417 e BRS Tropical apresentaram valores de 59, 58 e 62% de grãos inteiros, respectivamente. Teló et al. (2011) observaram diferença entre cultivares de arroz com grau de umidade inferior a 20%. A colheita foi realizada com a umidade dos grãos em torno de 20%, o que pode ser um indício de que para a cultivar BRS Tropical a umidade do grão no momento da colheita deva ser maior do que 20%, para diminuir as quebras no beneficiamento.

4.3.7 Consumo de água e eficiência do uso da água das cultivares de arroz Roraima, BRS Tropical e IRGA 417 submetidas aos manejos de água aeróbio, saturado e alagado.

Na tabela 8 são apresentados os valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) realizado a campo pelo método do poço seco (FERREIRA, 1987). No manejo alagado, o menor e maior valor observado de K_0 foram 0,37 e 2,58cm h⁻¹, respectivamente, com valor médio de 1,16cm h⁻¹. No manejo saturado, o menor e maior valor observado de K_0 foram 0,54 e 2,88 cm h⁻¹, respectivamente, com valor médio de 1,52cm h⁻¹.

De acordo com as classes de condutividade hidráulica saturada apresentados em modificado de Cauduro & Dorfman (1986) e Oosterbaan & Nijland (1994), 8,33, 83,33 e 8,33% dos valores de K_0 no manejo alagado enquadraram-se nas classe lenta, moderadamente lenta e moderada respectivamente. No manejo saturado, 66,66 e 33,34% dos valores de K_0 foram enquadrados nas classes moderadamente

lenta e moderada respectivamente. Os mesmos autores relacionam a classe de K_o com a textura do solo, em que, as classes lenta, moderadamente lenta e moderada, se relacionam com solos de textura argila, argila siltosa e silte, respectivamente. Observa-se que maior parte dos valores de K_o enquadraram-se na classe moderadamente lenta, seguido da classe moderada, o que está de acordo com o solo estudado, que apresenta textura franco argilo-siltosa.

Tabela 8 – Condutividade hidráulica do solo saturado nas parcelas dos níveis de manejo de água alagado e saturado, entre 40 e 100cm de profundidade no solo pelo método do poço seco.

Manejo de água	Parcela	Condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) na parcela		
		-----(cm h^{-1})-----		
Alagado	1	2,58	0,81	0,79
	2	1,58	1,58	0,99
	3	1,26	0,90	0,98
	4	1,28	0,37	0,77
Média		1,16		
CV ¹ (%)		49		
Saturado	1	1,62	2,28	2,88
	2	2,33	1,12	1,03
	3	0,81	2,81	1,23
	4	0,63	0,54	0,96
Média		1,52		
CV ¹ (%)		55		

CV¹: coeficiente de variação.

Na tabela 9 são apresentados os resultados de condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) das taipas e a perda de água por fluxo lateral (FL).

No manejo alagado, a média de K_o foi de $5,04 \text{ cm h}^{-1}$, que apresentou um coeficiente de variação (CV) de 50% (Tabela 9). Possivelmente, partes da taipa menos compactadas e a presença de matéria orgânica, proporcionaram maior porosidade no solo, o que contribuiu para o aumento da K_o , que resultou na perda expressiva de água por FL na taipa e na camada subsuperficial da taipa. Com a altura da lâmina de água de 4cm, a perda de água por FL na taipa foi em média de $33,96 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-1}$, aumentando expressivamente para $48,10 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-1}$ com a lâmina de 8cm. Esse aumento na perda foi atribuído ao aumento do gradiente hidráulico e da secção da área por onde a água é perdida por FL.

No manejo saturado, o valor da K_0 foi menor, com média de $2,84 \text{ cm h}^{-1}$ e o CV de 35% (Tabela 9). A perda de água por FL na taipa foi em média de $6,27 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-1}$. A diminuição do fluxo de água pela taipa num primeiro momento foi atribuída ao menor valor de K_0 e a diminuição do gradiente hidráulico. Na ausência da lâmina de água a pressão total diminuiu, conseqüentemente, diminuiu o valor do gradiente hidráulico. Ainda em função da ausência da lâmina de água, a secção da área por onde a água foi perdida também diminuiu. Então, o menor fluxo de água e a menor secção da área respondem por um menor volume de água perdida por FL.

Tabela 9 – Condutividade hidráulica do solo saturado nas taipas incluindo o horizonte A, nos níveis de manejo de água alagado e saturado pelo método do poço seco.

Manejo de água	Parcela	Condutividade hidráulica do solo saturado (K ₀) na taipa				Fluxo lateral	
						Altura 4cm	lâmina 8cm
		----- (cm h ⁻¹) -----				---- (L dia ⁻¹ m ⁻¹) ----	
Alagado	1	1,27	9,17	7,90	7,89	49,51	67,30
	2	2,10	3,75	7,06	2,10	27,57	29,56
	3	8,10	6,35	6,72	4,25	38,55	64,68
	4	5,26	2,76	3,27	2,74	20,21	30,85
Média		5,04				33,96	48,10
CV ¹ (%)		50					
		----- (cm h ⁻¹) -----				Sem lâmina ---- (L dia ⁻¹ m ⁻¹) ----	
Saturado	1	4,55	2,50	2,52	2,52	7,14	
	2	3,18	1,73	4,05	2,15	6,07	
	3	2,56	1,64	1,53	1,91	5,91	
	4	3,60	2,76	3,68	4,61	5,94	
Média		2,84				6,27	
CV ¹ (%)		35					

CV¹: coeficiente de variação.

Na Ásia, perdas de água por FL foram em média de 15 e $20 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (WICKHAM & SINGH, 1978). Perdas por FL no valor de 19% do consumo total foram observadas no Brasil (EBERHARDT, 1993).

Na figura 10 estão apresentados os volumes diários da precipitação pluviométrica representados por cada coluna (mm) e a temperatura média do ar diário ($^{\circ}\text{C}$), representado pela linha contínua. A precipitação pluviométrica total compreendido entre o período de plantio e colheita (15 de dezembro a 5 de abril) foi

de 870,70mm (INMET, 2016). Entretanto, na determinação do volume de água captado em cada manejo, foi considerado a precipitação do período entre o plantio e a supressão da irrigação, ou seja, até 10 dias antes da colheita.

A temperatura média no período foi de 25,7°C, sendo que, a menor e maior média no dia foi de 23,3 e 27,6°C, em 17 de fevereiro e 5 de abril, respectivamente (Figura 10).

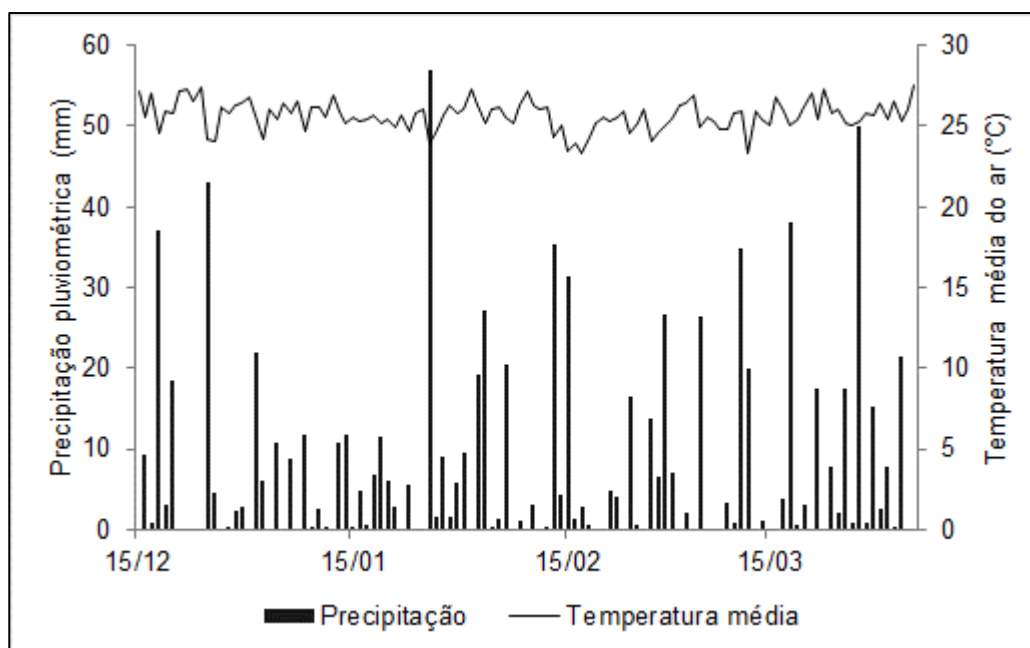


Figura 10 – Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar compreendido entre a semeadura e colheita do arroz, no período de 15 de dezembro a 5 de abril, no município de Humaitá-AM.

Fonte: INMET, 2016.

Na tabela 10 são apresentados os resultados de evapotranspiração de cultura para cada subperíodo de desenvolvimento das cultivares de arroz IRGA 417 e BRS Tropical de mesmo ciclo e da cultivar Roraima, que apresentou ciclo menor.

As cultivares IRGA 417 e BRS Tropical apresentaram uma evapotranspiração de cultura (ETc) total de 334,67mm em 96 dias, sendo que o maior percentual de ETc ocorreu no subperíodo vegetativo, atribuído ao maior número de dias (Tabela 10). No estudo realizado por Suárez & Román (2016) no estado de São Paulo, também com a cultivar de arroz IRGA 417, os valores de ETc foram maiores, com valor total de 553,93mm, sendo 197,44mm (35,64%) no subperíodo vegetativo, 255,43mm (46,11%) no subperíodo reprodutivo e 101,06mm (18,25%) no

subperíodo de maturação, num ciclo de 119 dias e ETc média diária de 4,69mm dia⁻¹. As diferenças observadas nos dois trabalhos deve-se a diminuição do ciclo da cultivar IRGA 417 e a ETc média diária inferior no período chuvoso, o que proporcionou menor ETc em cada subperíodo comparado ao estudo de Suárez & Román (2016). Segundo De Datta (1981) apud Gomes et al. (1999), em regiões tropicais, a ETc média diária para o arroz no período chuvoso, varia de 4 a 5mm dia⁻¹, e entre 5 e 6mm dia⁻¹, na época da seca.

Tabela 10 – Evapotranspiração de cultura (ETc) calculada a partir da evapotranspiração de referência (ETr) obtida pelo método Penman-Monteith parametrizado pela Food and Agriculture Organization-FAO e o coeficiente de cultura (Kc) do arroz nos diferentes subperíodos de desenvolvimento das cultivares IRGA 417, BRS Tropical e Roraima.

Subperíodo de desenvolvimento	DAE ¹	(Kc) ²	ETc			
			Total subpe- ríodo (mm)	Porcentagem no subperíodo (%)	Média diária (mm dia ⁻¹)	Total em volume (m ³ ha ⁻¹)
-----IRGA 417 e BRS Tropical-----						
Vegetativo	50	1,05	172,04	51,41	3,44	1720,46
Reprodutivo	74	1,20	92,76	27,72	3,86	927,60
Reprodutivo-maturação ³	96	0,90	69,87	20,88	3,17	698,70
Total	96		334,67	100	3,48	3346,76
-----Roraima-----						
Vegetativo	40	1,05	134,04	45,18	3,34	1340,48
Reprodutivo	64	1,20	94,67	31,91	3,94	946,79
Reprodutivo-maturação ³	86	0,90	67,96	22,91	3,09	679,69
Total	86		296,69	100	3,44	2966,96

¹DAE: Dias após a emergência até a supressão do fornecimento de água. ²Kc: coeficiente de cultura para o arroz. ³Relacionado somente à maturação, que faz parte do subperíodo reprodutivo.

A cultivar de arroz Roraima apresentou uma ETc total de 296,69mm em 86 dias, menor em relação às cultivares IRGA 417 e BRS Tropical, por apresentar um ciclo menor (Tabela 10). O maior valor de ETc ocorreu no subperíodo vegetativo, devido o maior número de dias.

Na tabela 11 são apresentados os dados de volume de água aplicada (Aplic) a partir de 9 dias após a emergência (DAE) e de precipitação pluviométrica (Prec) registrado a partir da data de semeadura em cada subperíodo de desenvolvimento das cultivares de arroz IRGA 417 e BRS Tropical. O maior volume de água aplicado ocorreu no subperíodo vegetativo nos manejos alagado e saturado, atribuído aos aspectos de maior número de dias desse subperíodo e a necessidade de água para

saturar o solo e formar lâmina de água na altura de 4cm. No manejo alagado, o volume de água aplicado no subperíodo vegetativo representou 48,93% do total, enquanto no manejo saturado, 66,76%. Comparando os dois manejos nesse subperíodo, a água aplicada no manejo saturado representou 35% do volume aplicado no manejo alagado, enquanto no manejo aeróbio, somente foi utilizada a água da precipitação pluvial.

Durante o subperíodo reprodutivo, aos 61 DAE, a altura da lâmina de água foi aumentada para 8cm no manejo alagado, enquanto que, os manejos saturado e aeróbio permaneceram nas condições em que foram submetidas (Tabela 11). O volume de água aplicada nos manejos alagado e saturado equivalente à 33,16% e 14,42% do total, respectivamente, diminuiu nesse subperíodo (Tabela 11), entretanto, o volume diário aplicado no manejo alagado aumentou, em função do aumento da ETc média diária (Tabela 10) e o aumentou da perda por percolação em função do aumento da altura da lâmina de água para 8cm.

Tabela 11 – Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) no manejo de água alagado, saturado e aeróbio, nas cultivares de arroz IRGA 417 e BRS Tropical.

Subperíodo de desenvolvimento	DAE ¹	Manejo de água					
		Alagado		Saturado		Aeróbio	
		Prec	Aplic	Prec	Aplic	Prec	Aplic
(m ³ ha ⁻¹)							
------(%)-----							
Vegetativo	50	3449,16 (54,93)	5180,62 (48,93)	2891,82 (59,47)	1814,44 (66,76)	4160,00 (55,21)	-
Reprodutivo	74	1345,67 (21,43)	3511,46 (33,16)	1045,98 (21,51)	391,95 (14,42)	1678,00 (22,27)	-
Reprodutivo-maturação ²	96	1484,39 (23,64)	1896,96 (17,92)	925,16 (19,02)	511,59 (18,82)	1697,00 (22,52)	-
Total da Prec e Aplic		6279,22 (100)	10588,62 (100)	4862,96 (100)	2717,99 (100)	7535,00 (100)	-
Total consumido (Prec+Aplic)		16868		7581		7535	

¹DAE: Dias após a emergência até a supressão do fornecimento de água. ²Relacionado somente à maturação, que faz parte do subperíodo reprodutivo.

No subperíodo reprodutivo-maturação, o volume de água aplicada correspondeu à 17,92% e 18,82% nos manejos alagado e saturado, respectivamente (Tabela 11). O manejo alagado apresentou redução no volume total e diário nesse subperíodo, atribuído a diminuição da ETc média e a diminuição da

perda por percolação em função da elevação do lençol freático. O manejo saturado apresentou um leve aumento no volume aplicado (18,82%), devido a diminuição do volume da precipitação pluviométrica.

O volume de água aplicado, o volume de água proveniente da precipitação pluviométrica, somados representam o volume total de água consumida durante o cultivo do arroz IRGA417 e BRS Tropical, que variaram conforme o manejo de água (Tabela 11). Os manejos saturado e aeróbio proporcionaram uma economia de aproximadamente 74 e 100% de água aplicada, respectivamente, comparado ao volume de água aplicada no manejo alagado. Esse fato foi atribuído ao elevado índice de precipitação pluviométrica no local, resultando em elevado índice de aproveitamento da precipitação em cada manejo de água. No estudo de Martini (2010), os manejos de irrigação intermitente e por banhos apresentaram uma economia de aproximadamente 23 e 43% no volume de água aplicada, em relação ao volume de $6583\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$ no manejo de irrigação por inundação contínua.

Em relação ao volume de água proveniente da precipitação pluviométrica, o índice de precipitação registrado no período entre a semeadura e a supressão da irrigação no cultivo do arroz foi de 753,50mm (INMET, 2016), sendo que o volume de água nos manejos alagado, saturado e aeróbio foi de 627,92mm ($6279.22\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$), 486,29mm ($4862.96\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$) e 753,50mm ($7535.00\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$), respectivamente (Tabela 11). O percentual de aproveitamento da precipitação pluviométrica no manejo alagado foi de aproximadamente 83%, isso foi possível em função da supressão da aplicação de água durante o evento da precipitação. Além disso, as reposições de água nos manejos eram diárias, entre essas reposições a altura da lâmina diminuía entre 1 e 2cm, o que permitiu maior armazenamento de água da chuva. No manejo saturado, o aproveitamento foi menor, aproximadamente 65%. Nesse manejo, durante o evento da precipitação, a aplicação de água também era suspensa. Entretanto, assim que o solo saturava, o excesso de água escoava pelos canos instalados nas taipas acima da superfície do solo, contribuindo para a perda de um volume maior. No manejo aeróbio foi considerado todo o volume de precipitação pluviométrica, porém, não significa que o aproveitamento foi de 100%, pois no entorno da parcela não havia taipas instaladas e um volume expressivo foi perdido por escoamento superficial, não contabilizado no estudo.

De acordo com Martini (2010), através dos sistemas de irrigação por banho, intermitente e inundação contínua, foi possível um aproveitamento de captação de

água da chuva de 96%, 58% e 11,31%, respectivamente. Nota-se que no presente estudo, o aproveitamento da água da chuva no manejo alagado foi de 83,33%, superior em relação ao estudo de Martini (2010) no sistema de irrigação contínua, de apenas 11,31%. O menor aproveitamento da água da chuva o autor atribuiu a maior perda de água por escoamento superficial em função da menor borda livre no sistema de irrigação contínua.

Em relação ao volume total de água consumida, o maior valor foi registrado no manejo alagado, totalizando $16868\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$, seguido por valores menores e semelhantes dos manejos saturado e aeróbio de $7581\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$ e $7535\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 11). Os manejos saturado e aeróbio representaram uma economia aproximada de 55% de água consumida em relação ao manejo alagado.

Na tabela 12 são apresentados os dados de volume de água aplicada a partir de 9 DAE e de precipitação pluviométrica a partir da data de semeadura até a supressão da irrigação, em cada subperíodo de desenvolvimento da cultivar de arroz Roraima. A cultivar Roraima apresenta um ciclo mais curto em relação as cultivares IRGA 417 e BRS Tropical, nesse sentido, serão discutidos apenas os resultados totais da tabela 12.

Tabela 12 – Volume de água aplicada e de precipitação pluviométrica nos manejos de água alagado, saturado e aeróbio, durante o ciclo da cultivar de arroz Roraima.

Subperíodo de desenvolvimento	DAE ¹	Manejo de água					
		Alagado		Saturado		Aeróbio	
		Prec	Aplic	Prec	Aplic	Prec	Aplic
$\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$							
------(%)-----							
Vegetativo	40	2836,83 (50,36)	4598,64 (47,44)	2349,25 (52,62)	1605,95 (67,61)	3308,00 (48,63)	-
Reprodutivo	64	1238,57 (21,99)	2974,52 (30,69)	1018,01 (22,80)	508,96 (21,43)	1792,00 (26,34)	-
Reprodutivo-maturação ²	86	1557,51 (27,65)	2119,96 (21,87)	1097,44 (24,58)	260,51 (10,97)	1703,00 (25,03)	-
Total da Prec e Aplic		5632,91 (100)	9693,12 (100)	4464,70 (100)	2375,42 (100)	6803,00 (100)	-
Total consumido (Prec+Aplic)		15326,03		6840,12		6803,00	

¹DAE: Dias após a emergência até a supressão do fornecimento de água. ²Relacionado somente à maturação, que faz parte do subperíodo reprodutivo.

O volume de água aplicada, o volume de água proveniente da precipitação pluviométrica, somados representam o volume total de água consumida durante o cultivo da cultivar de arroz Roraima, que variou conforme o manejo de água (Tabela 12). Para essa cultivar, os manejos saturado e aeróbio proporcionaram uma economia aproximada de 75 e 100% de água aplicada, respectivamente, comparado ao volume de água aplicada no manejo alagado.

Em relação ao volume de água proveniente da precipitação pluviométrica, o índice de precipitação registrado para a cultivar Roraima foi de 680,30mm (INMET, 2016), sendo que o volume de água captado nos manejos alagado, saturado e aeróbio foi de 563,29mm ($5632.91\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), 446,47mm ($4464.70\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e 680,3mm ($6803\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), respectivamente (Tabela 12). O percentual de aproveitamento da precipitação pluviométrica nos manejos alagado, saturado e aeróbio foi de aproximadamente 83, 66 e 100%, respectivamente. Os resultados são semelhantes ao das cultivares IRGA 417 e BRS Tropical.

Em relação ao volume total de água consumida, o maior valor foi registrado no manejo alagado, totalizando $15326\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, seguido por valores semelhantes entre os manejos saturado e aeróbio de $6840\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $6803\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 12). Os manejos saturado e aeróbio representaram uma economia aproximada de 55% de água em relação ao manejo alagado, respectivamente.

Na tabela 13 são apresentados os componentes de entrada de água (Prec e Aplic), saída de água (ETc e Perc) e da saturação do solo e formação de lâmina de água. O total de entrada de água em cada manejo, já foi abordado nas tabelas 11 e 12. Em relação a cada componente de entrada de água, a precipitação pluvial teve uma importante contribuição em cada manejo de água. Nas cultivares de arroz IRGA 417 e BRS Tropical do manejo alagado, o volume de água da precipitação representou, aproximadamente 37% do total de água consumida, que significou uma economia aproximada de 37% de água aplicada. No manejo saturado, o volume da precipitação representou 64% do total de água consumida, que significou uma economia de 64% de água aplicada. No manejo aeróbio, somente foi consumido a água da precipitação, que significou uma economia de 100% de água aplicada. Para a cultivar Roraima (Tabela 13) nos manejos alagado, saturado e aeróbio, a precipitação representou uma economia aproximada de 37, 65 e 100% do volume de água aplicada, respectivamente.

Quanto aos componentes de saída de água e formação de lâmina para as cultivares IRGA 417 e BRS Tropical no manejo alagado, a saturação do solo com formação de lâmina de água, ETc e a percolação, representaram aproximadamente 13, 20 e 67% do volume de entrada de água, respectivamente (Tabela 13). No manejo saturado, esses mesmos componentes representaram aproximadamente 8, 44 e 48% do volume de entrada de água, respectivamente. No manejo aeróbio, a ETc representou 44% do volume de entrada de água, sendo que os demais 56%, foram representados pelo volume de água para a saturação do solo, perdas por percolação e escoamento superficial (não medido).

Tabela 13 – Volume de água dos componentes de entrada e saída de água, saturação do solo e formação de lâmina durante o cultivo do arroz IRGA 417, BRS Tropical e Roraima submetidas aos manejos de água alagado, saturado e aeróbio.

Manejo de água	Entrada de água			Saída de água			Saturação do solo e formação de lâmina
	Prec	Aplic	Total	ETc	Perc	Total	
	-----IRGA 417 e BRS Tropical (Volume m³ ha⁻¹)-----						
Alagado	6279	10589	16868	3347	11266	14612	2255
Saturado	4863	2718	7581	3347	3599	6946	635
Aeróbio	7535	-	7535	3347	-	3347	-
	-----Roraima (Volume m³ ha⁻¹)-----						
Alagado	5633	9693	15326	2967	10104	13071	2255
Saturado	4465	2375	6840	2967	3238	6205	635
Aeróbio	6803	-	6803	2967	-	2967	-

Na cultivar de arroz Roraima, os percentuais calculados foram semelhantes aos das cultivares IRGA 417 e BRS Tropical (Tabela 13). No manejo alagado, a saturação do solo com formação de lâmina de água, ETc e a percolação, representaram aproximadamente 15, 19 e 66% do volume de entrada de água, respectivamente. No manejo saturado, esses mesmos componentes representaram aproximadamente 9, 44 e 47% do volume de entrada de água, respectivamente. No manejo aeróbio, a ETc representou aproximadamente 44% do volume de entrada de água, sendo que os demais 56% foram representados pelo volume de água para a saturação do solo, perdas por percolação e escoamento superficial (não medido).

O menor volume de água exigido para saturar o solo e formar lâmina de água, foi atribuído à elevação do lençol freático nesse período de cultivo (Tabela 13). No estudo de Rosolen (2000) em condições de solo e clima semelhantes, na mesma

região do estudo, o lençol freático situa-se próximo a superfície do solo nas partes altas do terreno e acima da superfície, nas partes mais baixas do terreno. Desse modo, o lençol freático contribuiu para diminuir o volume necessário para saturar o solo e formar lâmina, e contribuiu para diminuir as perdas por percolação em todos os manejos estudados. No manejo saturado, a menor perda de água por percolação foi atribuída a menor pressão total por não haver lâmina de água em superfície. A perda de água por ETc nos manejos foi a mesma, variando para as cultivares, entretanto, o percentual variou em função da variação do total de água consumida em cada manejo.

Na tabela 14 são apresentados os resultados de eficiência de uso da água (EUA) com e sem precipitação pluvial, das cultivares de arroz IRGA 417, BRS Tropical e Roraima nos manejos de água alagado, saturado e aeróbio. É importante ressaltar que no manejo aeróbio a EUA com precipitação pluviométrica foi calculada baseada somente no volume de água oriundo da precipitação, pois não houve água aplicada. Para a cultivar IRGA 417 considerando a precipitação pluviométrica, houve um aumento na eficiência do uso da água de aproximadamente 116% e 118% para os manejos saturado e aeróbio, respectivamente, em comparação com o manejo alagado. Na ausência da precipitação pluviométrica, o aumento na EUA foi de aproximadamente 278% no manejo saturado em comparação com o manejo alagado.

Para a cultivar BRS Tropical considerando a precipitação pluviométrica, houve um aumento na eficiência do uso da água de aproximadamente 127% e 123% para os manejos saturado e aeróbio, respectivamente, na comparação com o manejo alagado (Tabela 14). Na ausência da precipitação pluviométrica, o aumento na EUA foi de aproximadamente 304% no manejo saturado em comparação com o manejo alagado.

Para a cultivar Roraima, na comparação com o manejo alagado, houve um aumento na eficiência do uso da água com precipitação pluviométrica de aproximadamente 129 e 135% para os manejos saturado e aeróbio, respectivamente (Tabela 14). Na ausência da precipitação pluviométrica, o aumento na EUA foi de aproximadamente 314% no manejo saturado em comparação com o manejo alagado.

Martini (2010) avaliou a EUA com a cultivar IRGA 422 CL e o volume de água aplicada, submetida aos manejos de irrigação contínua, intermitente e por banhos,

obteve os valores de EUA de 1,58, 1,82 e 2,22, respectivamente, que representaram um aumento na EUA de 15 e 40% nos manejos de irrigação intermitente e por banhos, respectivamente, em comparação com o manejo de irrigação contínua. Suárez & Román (2016) obtiveram uma EUA de 0,37 no sistema convencional de irrigação, considerando o total de volume de água consumida (precipitação + lâmina de irrigação aplicada).

Tabela 14 – Volume médio de água consumida (Prec+Aplic), volume médio de água aplicada (Aplic), produtividade de grãos e eficiência no uso de água com e sem precipitação pluviométrica das cultivares de arroz IRGA 417, BRS Tropical e Roraima submetidas aos manejos de água alagado, saturado e aeróbio.

Manejo de água	Dias de irrigação (Dias)	Volume de água consumida (Prec+ Aplic) (m³ ha⁻¹)	Volume de água aplicado (Aplic) (m³ ha⁻¹)	Produtividade de grãos¹ ---(kg ha⁻¹)---	EUA	
					Com precipitação pluviométrica	Sem precipitação pluviométrica
					------(kg m⁻³)-----	
-----IRGA 417-----						
Alagado	88	16868	10589	8317 a	0,49	0,78
Saturado	88	7581	2718	8026 a	1,06	2,95
Aeróbio²	-	7535	-	8107 a	1,07	-
-----BRS Tropical-----						
Alagado	88	16868	10589	8523 a	0,51	0,80
Saturado	88	7581	2718	8777 a	1,16	3,23
Aeróbio²	0	7535	-	8556 a	1,14	-
-----Roraima-----						
Alagado	78	15326	9693	8565 a	0,55	0,88
Saturado	78	6840	2375	8638 a	1,26	3,64
Aeróbio²	-	6803	-	8817 a	1,29	-

¹Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ²O manejo aeróbio contou apenas com a água da precipitação pluviométrica, que foi o volume usado para o cálculo da EUA.

Não houve diferença estatística para produtividade de grãos entre os manejos de água nas cultivares de arroz. Considerando que o manejo aeróbio apresentou a maior EUA com precipitação pluviométrica, é considerado o manejo mais eficiente por não haver o uso de aplicação de água. O elevado índice de precipitação pluviométrica e a elevação do lençol freático próximo a superfície, mantiveram o solo na sua maioria próximo a saturação, o que permitiu o excelente desenvolvimento das cultivares de arroz sem prejuízos à produtividade no manejo aeróbio.

4.4 Conclusões

Os manejos de água alagado, saturado e aeróbio proporcionam produtividades semelhantes em solo com níveis adequados de nutrientes, e em condições de elevada precipitação pluvial.

As cultivares BRS Tropical e Roraima apresentam produtividade superior em relação a IRGA 417. As cultivares de arroz apresentam diferenças nos teores médios de N, K e Mg no tecido, independente do manejo de água, e nos teores de Ca e produção de MSPA, variável em cada manejo de água.

As cultivares de arroz irrigado avaliadas apresentam produtividade superior à média normalmente observada no estado, proveniente do cultivo de arroz de terras altas.

O solo alagado apresenta condições mais reduzidas, caracterizado por maiores valores de pH, Fe, Mn, Ca e Mg na solução do solo, comparativamente ao solo saturado.

Os manejos de água proporcionam teores de nutrientes variáveis no tecido do arroz, porém todos em níveis adequados ou superior. A produção de MSPA não difere nos manejos alagado e aeróbio em condições de elevada precipitação pluvial.

O manejo alagado promove a menor severidade de mancha parda na folha do arroz, seguido pelo manejo saturado, nas cultivares Roraima e IRGA 417. Os manejos de água alagado e saturado promovem a menor severidade de mancha parda na folha, em comparação ao manejo aeróbio, na cultivar BRS Tropical.

O manejo aeróbio dispensa a aplicação de água em condições de elevada precipitação pluvial e elevação natural do lençol freático em solo dos campos naturais. Os manejos saturado e aeróbio propiciam o menor volume total de água consumida no cultivo do arroz e maior eficiência do uso da água.

5 Capítulo 3 – Avaliação agronômica e nutricional de cultivares de arroz em relação ao manejo de água no período seco.

5.1 Introdução

Na região sul do estado do Amazonas, o cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas é realizado no período chuvoso. Entretanto, a produtividade média do arroz no estado do Amazonas é de 2.290 kg ha⁻¹, inferior à do arroz de terras altas do estado de Rondônia (3.423 kg ha⁻¹), e inferior à do arroz irrigado por alagamento contínuo cultivado em outras regiões do país, a exemplo do estado de Roraima (7.023 kg ha⁻¹), safra 2015/16 (CONAB, 2016). Neste sentido, atributos relacionados à região como: temperaturas elevadas o ano todo, período seco e chuvoso bem definido, elevação do lençol freático no período chuvoso, baixa condutividade hidráulica dos solos e áreas planas evidenciam o potencial agrícola para o cultivo de arroz na região.

A precipitação pluviométrica média anual de 2.361mm é distribuída em dois períodos distintos: o primeiro chuvoso, com nove meses de duração, somando uma precipitação média de 2.224mm e o segundo período considerado mais seco, apresentando uma média de 137mm (BRAUN & RAMOS, 1959). O período seco, que ocorre nos meses de junho, julho e agosto, e o início do período chuvoso, marcado pelos meses de setembro e outubro, o lençol freático encontra-se em maior profundidade, o que pode levar a necessidade de aplicação de um elevado volume de água, mesmo em solo com baixa condutividade hidráulica (BRAUN & RAMOS, 1959). No entanto, a utilização de sistemas de irrigação que permitam economia no uso de água e aumento da produtividade do arroz, podem ser alternativas viáveis para o cultivo do arroz irrigado. Dentre os sistemas, destacam-se os manejos de água com lâmina de água contínua, solo saturado e umidade do solo na capacidade de campo em cultivares de arroz irrigado.

O solo saturado promove alternância das condições de oxidação e redução diminuindo a anaerobiose, por conseguinte, a redução de compostos oxidados (BORIN et al., 2016). No cultivo do manejo de água capacidade de campo, a alternância da umidade no solo entre a capacidade de campo e saturado, deverá promover a oxidação e redução de forma mais pronunciada, diminuindo ainda mais as condições de anaerobiose, comparado ao manejo saturado. Possivelmente, isso vai refletir em menor disponibilidade de nutrientes no solo, consequentemente, diminuir os teores no tecido das plantas de arroz no manejo saturado, e de forma mais pronunciada, no manejo de água capacidade de campo. Além do mais, as plantas sob estresse hídrico provocado pelo déficit hídrico mesmo bem nutridas, podem apresentar produtividades menores, que segundo Stone (2005) podem ocorrer quando o conteúdo de água no solo for menor que a saturação. O alagamento apresenta efeito no controle das plantas invasoras e a tolerância às doenças (SOSBAI, 2014). O manejo de água e as condições climáticas têm relação com a qualidade industrial do grão de arroz. A absorção e/ou perda de água, em função do gradiente de umidade formado entre o grão e o ambiente no período de maturação, promove o aparecimento de fissuras, que diminuem a resistência física dos grãos durante o processo de pós-colheita (CANELLAS et al., 1997).

Embora exista a possibilidade de diminuir a produtividade, os manejos de água proporcionam economia e eficiência do uso da água. Em seu estudo, Martini (2010) observou que, os manejos da irrigação intermitente e por banhos na cultura do arroz apresentaram economia de 23 e 43% de água, e aumento em 15 e 40% na eficiência do uso da água. Ainda no mesmo estudo, o autor observou que a produtividade foi semelhante entre os manejos de irrigação contínuo e intermitente, porém menor no manejo por banhos.

As hipóteses do trabalho são: o manejo de água interfere na nutrição das plantas de arroz, na severidade de doenças, nos componentes de rendimento e produtividade do arroz no período seco; as cultivares de arroz apresentam desempenho diferenciado em relação às condições de cultivo no município de Humaitá; as cultivares de arroz irrigado apresentam variação nos teores de nutrientes no tecido, MSPA e produtividade; o consumo de água é extremamente elevado no manejo alagado; a maior economia no uso da água ocorre no manejo capacidade de campo; o manejo capacidade de campo apresenta a maior eficiência do uso da água (EUA).

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do manejo de água na dinâmica da redução do solo, na nutrição de plantas, na severidade de doenças, nos componentes de rendimento, na produtividade, no volume de água consumida, no volume de água aplicada e na eficiência do uso da água de cultivares de arroz irrigado num Gleissolo Háptico alítico típico dos campos naturais do município de Humaitá, Amazonas, no período seco.

5.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em área de campo natural da escola agrícola de Humaitá-AM, localizada no km 05 da BR 230, nas coordenadas geográficas 7° 33' 6,39" S e 63° 4' 25,08" W, no período seco e estendendo-se no período chuvoso, entre os meses de agosto e dezembro. O solo do local é um Gleissolo Háplico alítico típico (SANTOS et al., 2012) com 84,92, 638,58 e 276,50g kg⁻¹ de areia, silte e argila respectivamente, enquadrado na textura franco-argilo-siltosa. A análise química do solo segue apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área de estudo.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T ¹	V ²	m ³	MO	Fe	Zn	Mn	Cu
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmol _c kg ⁻¹ -----						%	%	g kg ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----			
5,44	1	0,1	1,2	1,0	1,6	3,3	5,6	41	40	17	242	0,6	1,7	0,5

¹T: CTC a pH 7; ²V: saturação por bases; ³m: saturação por alumínio. FONTE: laboratório de análises de solo Plante Certo Ltda, Várzea Grande-MT. ⁴Métodos de extração: para P, K, Zn, Cu, Fe e Mn por Mehlich I; para Ca, Mg e Al por cloreto de potássio 0,1M; para H+Al por acetato de cálcio 0,5M, pH 7,0; para MO por dicromato de sódio.

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados, num esquema fatorial em parcelas divididas 3x4 com quatro repetições. Para as unidades experimentais (parcela) e subunidades experimentais (subparcela) foram atribuídos os níveis dos fatores manejo de água e cultivares, respectivamente, totalizando 12 parcelas e 48 subparcelas.

Foram testados os seguintes fatores:

Fator A - Manejo de água (parcelas):

Solo alagado (Figura 1a);

Solo saturado (Figura 1b);

Solo na capacidade de campo com irrigação por aspersão (Figura 1c).

Fator B - Cultivares de arroz irrigado (subparcelas):

BRSMG Ouro Minas;

BRS Tropical;

Roraima;

IRGA 417.

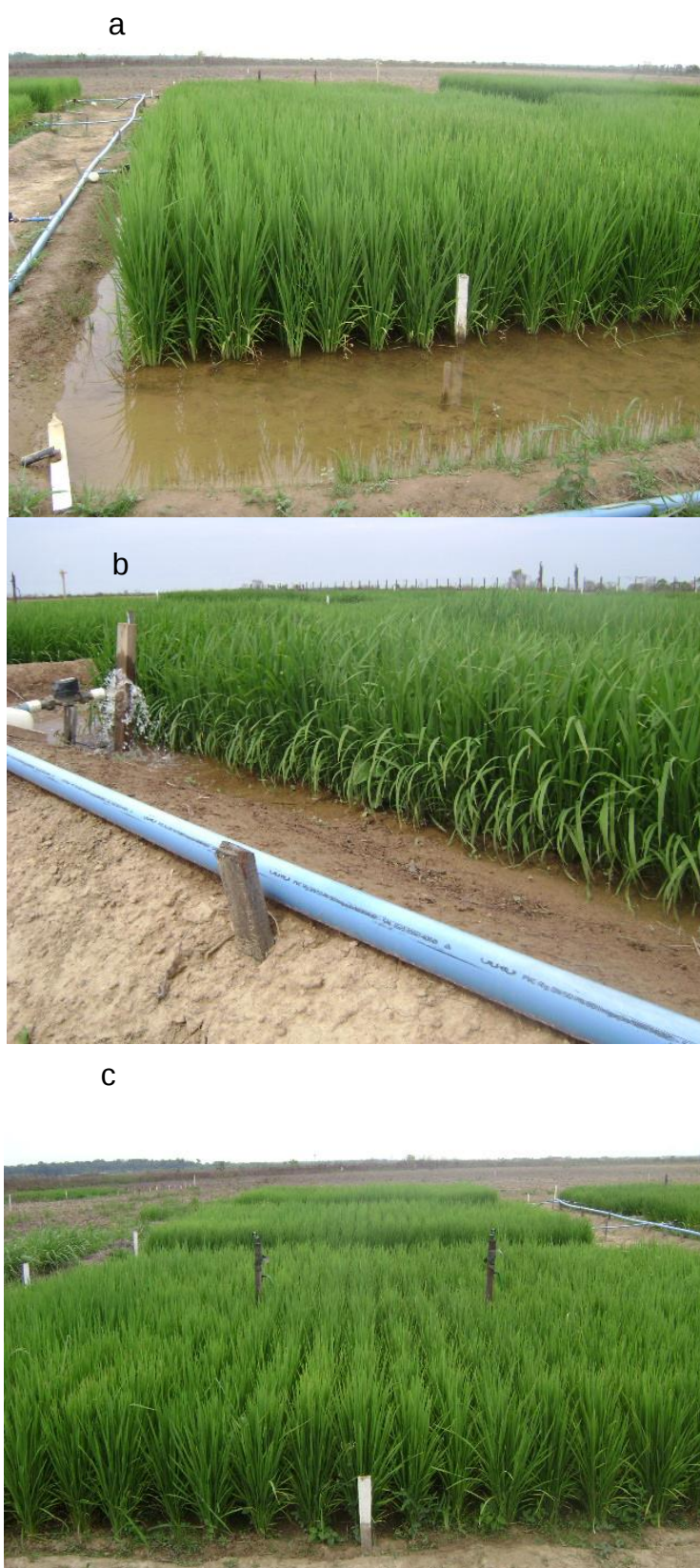


Figura 1. Manejos de água alagado (a), saturado (b) e capacidade de campo (c).

A escolha das cultivares de arroz irrigado BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, IRGA 417 e Roraima se deu em função de serem cultivadas e recomendadas para as regiões de clima quente, a exemplo do estado de Roraima. Algumas das características das cultivares a seguir descritas são relacionados aos cultivos nas várzeas do estado de Roraima, a exceção da cultivar BRSMG Ouro Minas. A cultivar BRS Tropical apresenta ciclo de 113 dias e floração aos 78 dias, grão classificado em longo-fino (CORDEIRO & MEDEIROS, 2010a). A cultivar IRGA 417 apresenta altura em torno de 90cm, ciclo médio de 105 a 110 dias da emergência à maturação, grão de classe longo fino, considerada suscetível à brusone, mancha de grãos e a toxidez por ferro. A cultivar Roraima apresenta altura em torno de 90cm, ciclo médio de 100 a 105 dias da emergência à maturação, grão de classe longo fino, considerada moderadamente suscetível à brusone e resistente à toxidez por ferro e ao acamamento (CORDEIRO, 2009). A BRSMG Ouro Minas apresenta altura média de 90cm; floração média de 100-105 dias; maturação média de 135-140 dias; resistente ao acamamento; perfilhamento ótimo; comprimento da panícula de 24cm; grão longo-fino; peso de 1000 grãos 27,2g; rendimento de grãos inteiros acima de 55% (SOARES et al., 2002).

O experimento foi realizado na mesma área do primeiro experimento executado no período chuvoso. Antes da implantação do primeiro experimento, foram incorporados ao solo a dose de 1,24 ton ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT=84%), calculado através do critério de saturação por bases prevendo uma saturação de 60%. Naquele momento, uma complementação com calcário dolomítico foi realizada na superfície do solo após a sistematização, na dose de 300kg ha⁻¹.

O preparo do solo da área experimental consistiu de uma roçagem com roçadeira manual e após a emergência das invasoras, foi realizada a aplicação de herbicida na dose de 1,44kg ha⁻¹ de ingrediente ativo glifosato. As taipas passaram por manutenção e novamente compactadas manualmente para evitar a passagem de água.

A definição do nível de manejo de água em cada unidade experimental e nível de cultivares em cada subunidade experimental foi aleatório. A unidade experimental (nível de manejo) apresentou a dimensão de 7,0m x 7,0m de área útil. A subunidade (nível de cultivar) apresentou a dimensão de 5,0m x 1,60m, que representou cada

cultivar com 8 linhas de semeadura medindo 5m de comprimento e espaçadas 0,20m entre si.

A água utilizada na irrigação foi captada de uma barragem através do sistema de bombeamento e conduzida ao longo de 600m por tubos de 50mm até uma caixa de água com capacidade de 5500 litros, a uma altura de 4m em relação ao nível do solo. A saída de água da caixa foi conduzida por gravidade até o experimento, distante 5m. Os tubos de irrigação foram distribuídos ao longo dos blocos com entrada individual para cada unidade experimental. Na saída do tubo de irrigação para cada unidade foram instalados registros e hidrômetros para medir o volume de água aplicada. No manejo alagado foram instaladas boias de plástico para regular a entrada de água. No manejo de água capacidade de campo, a irrigação foi realizada por aspersão por meio de dois micro aspersores, e a medição da umidade no solo através de tensiômetro com vacuômetro na profundidade de 20cm, um em cada unidade experimental. Foram instalados em cada unidade experimental, dois tubos nas taipas com altura pré-estabelecida sobre a lâmina de água e do solo nos manejos alagado e saturado, respectivamente, para permitir o escoamento do excesso de água da chuva.

A semeadura foi realizada manualmente no dia 20 de agosto. Iniciou-se com a abertura dos sulcos seguido da aplicação da dose de adubo, que foi misturado ao solo com posterior colocação da semente de arroz. A densidade de semeadura consistiu de 80 sementes viáveis por metro linear, previamente tratadas com inseticida na dose de 50 g por 100 Kg de semente do ingrediente ativo fipronil. Após a semeadura foi aplicado o herbicida na dose de 1,25 Kg ha⁻¹ do ingrediente ativo pendimetalina. A correção do solo e adubação da cultura do arroz irrigado foi baseada na recomendação para o cerrado (SOUSA & LOBATO, 2004). A adubação de base NPK do formulado 06-30-15 + FTE BR12 foram compostas das misturas de uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e FTE BR12, que correspondeu à 27 kg ha⁻¹ de N, 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 67,5 kg ha⁻¹ de K₂O e 50 Kg ha⁻¹ de FTE BR-12 (9% de Zn, 1,8% de B, 0,8% de Cu, 2% de Mn, 3,0% de Fe e 0,1% de Mo).

A irrigação nas unidades experimentais iniciou em 21 de agosto, um dia após a semeadura. A emergência das plântulas das cultivares BRSMG Ouro Minas, Roraima e IRGA 417 ocorreu em 26 de agosto, e da cultivar BRS Tropical em 27 de agosto. Em seguida foram instalados extratores de solução do solo, semelhantes aos desenvolvidos por Sousa et al. (2002), na entre linha das plantas à 0,10m de

profundidade no solo. A adubação de cobertura foi realizada com a aplicação de N e K₂O. A dose de nitrogênio (136,5Kg ha⁻¹ de N na forma de ureia) foi parcelada em três aplicações. A primeira dose foi aplicada por ocasião do início do perfilhamento (V3 e V4) na dose de 45,5Kg ha⁻¹ de N, dezesseis dias após foi realizada a segunda aplicação de 22,75Kg ha⁻¹ de N e no estágio de iniciação da panícula (R₀) foi efetuada a terceira aplicação na dose de 68,25Kg ha⁻¹ de N. A dose de cloreto de potássio (KCl) em cobertura (30 + 60Kg ha⁻¹ de K₂O) foi adicionada junto com a segunda e terceira aplicação de ureia.

Para o controle da lagarta-militar (*Spodoptera frugiperda*) foram utilizados os inseticidas novalurom (7,5g ha⁻¹ i.a.), permetrina (2,5g ha⁻¹ i.a.) e deltametrina (2,5g ha⁻¹ i.a.), em aplicações intercaladas. Para o controle do percevejo do colmo (*Tibraca limbariventris*) e percevejo do arroz (*Oebalus poecilus*) foi utilizado o inseticida de ingrediente ativo tiametoxam + lambda-cialotrina na dose de 28,2g ha⁻¹ + 21,2g ha⁻¹, respectivamente.

O controle da brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha parda (*Bipolaris oryzae*) na folha foi realizado com uma aplicação do fungicida de ingrediente ativo tebuconazol na dose de 150g ha⁻¹ aos 49 dias após o início do manejo de água (DAM), a exceção da cultivar Roraima.

O início da irrigação ocorreu 1 dia após a semeadura (DAS) para manter a umidade por igual em todos os manejos durante 31 dias. A partir de 32 DAS (subperíodo vegetativo pós) foi dado o início da saturação do solo e formação de lâmina para a avaliação dos manejos de água. No manejo alagado foi mantida uma altura média de lâmina de 0,04m até 55 DAS. Após, a altura da lâmina foi aumentada para a média de 0,08m, a qual foi mantida até a colheita. No manejo saturado o solo permaneceu saturado a partir de 32 DAS até a colheita. Nesse manejo, a reposição de água foi diária, pela manhã e à tarde, com exceção nos dias em que a precipitação pluvial foi o suficiente para manter o solo saturado. No manejo de água capacidade de campo, a reposição de água era diária, pela manhã e à tarde. Sempre que os tensiómetros registravam teor de umidade na capacidade de campo (-10KPa), os micro aspersores eram acionados para novamente saturar o solo. Diariamente foram registradas as leituras nos hidrômetros e da precipitação pluviométrica. A precipitação pluviométrica foi registrada através de pluviômetro e dados foram obtidos da estação meteorológica do INMET, localizada a 200m do experimento. Entre os dias 13 de setembro e 24 de outubro, a estação

meteorológica não efetuou o registro da precipitação e temperatura do ar, nesse caso, para a precipitação, foram utilizados os dados coletados a partir do pluviômetro instalado na área experimental, e para a temperatura do ar foram consideradas as temperaturas do mesmo período no ano anterior.

Um dia após o início do manejo de água (DAM) em que foram aplicados os níveis alagado e saturado, ou seja, aos 33 DAS, foi efetuada a 1ª coleta de solução do solo a partir dos extratores instalados com auxílio de seringa de 50 ml. As coletas posteriores foram realizadas em intervalos semanais. A determinação do pH e potencial de oxirredução (Eh) da solução do solo foram realizadas à campo imediatamente após a coleta da solução, utilizando-se eletrodos combinados específicos, ligado a um potenciômetro e previamente instalado em uma célula eletrométrica, construída em vidro, semelhante à utilizada por Sousa et al. (2002). A célula permaneceu cheia de solução durante as leituras, para minimizar o contato desta com o oxigênio molecular, diminuindo os riscos de alteração das suas características eletroquímicas. Após as determinações do pH e Eh, as amostras foram filtradas em filtro millipore de 0,45mm e 30mL de seu conteúdo foi transferido para frascos de vidro, contendo 1mL de HCl 3mol L⁻¹, resultando na concentração final de HCl da amostra em torno de 0,1mol L⁻¹, que possibilitou, desta maneira, a análise da composição química das amostras em laboratório. Nas amostras da solução do solo foram avaliados ainda os teores de ferro, manganês, zinco, cobre, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, segundo metodologia descrita em Sousa et al. (2002).

A coleta da parte aérea do arroz foi realizada no início do florescimento, que consistiu do corte das plantas rente ao solo, num total de 3 amostras de 0,25m² em cada subunidade (cultivar), e o material foi seco em estufa à temperatura de 60°C até peso constante. Foi determinado o peso de massa seca das amostras e destas foram retiradas 15 plantas para determinação dos teores de macronutrientes e micronutrientes do tecido, seguindo a metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). A partir dos teores do nutriente determinado nas 3 amostras em cada subunidade (cultivar), calculou-se a média para a subunidade em questão, que representou uma repetição.

O ciclo foi determinado pela contagem dos dias entre a emergência das plântulas de arroz e a completa maturação. A floração correspondeu ao número de dias entre a emergência e a floração de 50% das plantas. A medida da estatura de

plantas foi realizada momentos antes da colheita através da escolha aleatória de 10 plantas em cada subparcela, medido a sua altura entre o nível do solo e o ápice da panícula.

O acamamento foi obtido por meio de observações visuais no subperíodo de maturação, determinando o percentual de plantas acamadas e atribuindo-se valores de escala segundo a metodologia de Embrapa (1997).

A avaliação visual de severidade de brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha parda (*Bipolaris oryzae*) nas folhas foi realizado através da análise visual de acordo com a escala de notas de 0 a 9, proposto pelo International Rice Research Institute (IRRI, 1996). Conforme a análise visual do tecido foliar afetado, as notas foram: 0 – ausência de lesões; 1 – abaixo de 1% da área foliar/tecido doente; 3 – de 1 a 5% da área foliar/tecido doente; 5 – de 6 a 25% da área foliar/tecido doente; 7 - de 26 a 50% da área foliar/tecido doente e 9 – acima de 50% da área foliar/tecido doente. A quantificação da severidade de doenças foliares foi realizada semanalmente diretamente no campo, sempre pelo mesmo avaliador.

O número de plantas em cada subunidade foi determinado através da escolha aleatória de uma linha de plantio e efetuou-se a contagem do número de plântulas ao longo de 4,0m. Na mesma linha de plantio determinou-se o número de panículas, no momento da colheita do arroz.

Momentos antes da colheita do arroz foram retiradas aleatoriamente, 10 panículas de cada subparcela e posteriormente em laboratório, determinou-se o comprimento de panícula, contagem do número de grãos, espiguetas estéreis e grãos por panícula. A partir dos grãos de arroz das 10 panículas determinou-se a massa de 1000 grãos com a umidade corrigida para 13%.

A colheita do arroz foi realizada com o corte das plantas quando os grãos apresentavam umidade em torno de 20%. Efetuou-se o corte das plantas de arroz nas 6 linhas centrais, desprezando-se uma fileira lateral em ambos os lados e 0,5m de cada extremidade da subunidade. As plantas foram espalhadas em local protegido que permitiu a secagem dos grãos até a realização da debulha mecânica com trilhadeira. Posteriormente os grãos foram secos ao ambiente natural protegido da luz e chuva. A massa de grãos foi submetida ao fluxo de ar corrente para retirada das impurezas e em seguida foi realizada a pesagem dos grãos colhidos em cada subparcela com a determinação da umidade no equipamento Universal Moisture Tester, corrigindo a massa de grãos para 13 % de umidade. A produtividade final foi

estimada para um hectare a partir da massa de grãos da área útil de $4,05\text{m}^{-2}$ das subunidades.

O rendimento industrial foi realizado a partir de uma amostra de 100 g de arroz em casca e submetida ao engenho de prova Suzuki, modelo MT 81, por 1 minuto. Em seguida os grãos foram brunidos e colocados em um “trieur”, para o processo de separação por 30 segundos. Os grãos que permaneceram no “trieur” foram pesados e o valor obtido correspondeu aos grãos inteiros.

A perda de água por evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida através da determinação da evapotranspiração de referência (ETo) pelo método de Penman-Monteith-FAO, parametrizado pela Food and Agriculture Organization (FAO) (ALLEN et al., 1998) e multiplicado pelo valor do coeficiente de cultura (Kc), obtido em Allen et al. (2006). Para a ETo foram utilizados os dados de temperatura do ar, velocidade do vento a 2m de altura, umidade relativa do ar e do saldo da radiação, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os resultados da ETo foram diários em milímetros de água por dia (mm dia^{-1}), durante todo o ciclo do arroz.

A evapotranspiração da cultura foi calculada considerando a ETo diária e o Kc de cada subperíodo de desenvolvimento do arroz. Os valores de Kc utilizados para a cultura do arroz no subperíodo vegetativo foram 1,05, no subperíodo reprodutivo 1,2 e no subperíodo reprodutivo relacionado à maturação 0,9, conforme em Allen et al. (2006). A ETc foi calculada pela seguinte equação:

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (1)$$

Em que ETc é a evapotranspiração da cultura (mm d^{-1}); ETo é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); Kc é o coeficiente de cultura do arroz (adimensional).

O volume de água aplicada nos manejos de água foram diários, obtidos pela diferença entre a leitura do volume registrado no hidrômetro às 8h20min (V1) e o volume registrado às 8h20min do dia seguinte (V2), subtraído a perda de água por fluxo lateral, com exceção para o manejo capacidade de campo. A relação entre o volume calculado e da área útil da parcela foi multiplicado por 10 para conversão em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$. Segue a equação abaixo:

$$Aplc = \frac{(V2 - V1) - Fl}{Ap} \cdot 10 \quad (2)$$

Em que $Aplic$ é o volume de água aplicado diariamente na parcela ($m^3 ha^{-1}$); $V2$ é o volume de água registrado no hidrômetro no segundo dia pela manhã (L); $V1$ é o volume de água registrado no hidrômetro no primeiro dia pela manhã (L); Fl é o volume de água perdido por fluxo lateral (L); Ap é a área útil alagada da parcela (m^2). O manejo de água capacidade de campo, não tinha taipas no entorno das unidades experimentais, assim não foi considerado a perda de água por fluxo lateral (Fl), excluído da equação 2. A perda de água por fluxo lateral nos manejos alagado e saturado foi determinada pela condutividade hidráulica do solo saturado nas taipas e os resultados utilizados foram apresentados no capítulo 2.

O volume de água da precipitação pluviométrica (INMET) foi convertido para $m^3 ha^{-1}$. Lembrando que 1mm corresponde a $1L m^{-2}$ de área. Segue a equação:

$$Prec = \left(\frac{Pp \cdot Apc}{Apu} \right) \cdot 10 \quad (3)$$

Em que $Prec$ é o volume de água oriundo da precipitação pluviométrica ($m^3 ha^{-1}$); Pp é a precipitação pluviométrica (mm); Apc é a área útil de captação da água da chuva (m^2); Apu é a área útil alagada da parcela (m^2).

O volume total de água consumida nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo correspondeu ao somatório do volume aplicado ($Aplic$) e o volume da precipitação pluviométrica. Segue a equação abaixo.

$$Volume\ total\ consumido = Aplic + Prec \quad (4)$$

Em que volume total de água consumida ($m^3 ha^{-1}$); $Aplic$ é o volume total de água aplicada ($m^3 ha^{-1}$); $Prec$ é o volume de água oriundo da precipitação pluviométrica ($m^3 ha^{-1}$).

O volume de água usado para saturar o solo e formar lâmina de água foi calculado a partir do valor observado no hidrômetro antes do início da saturação e formação de lâmina (Vi) e após a saturação e formação de lâmina (Vf), momento em que o solo permaneceu saturado no manejo saturado e com lâmina de água no manejo alagado. Para maior precisão do resultado, observou-se a condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) e a profundidade em que se encontrava o lençol freático. A diferença entre o valor de $V2$ e $V1$ foi dividido pela área útil da parcela, multiplicado por 10, conforme a equação a seguir:

$$Volume\ para\ saturação\ e\ lâmina = \frac{Vf - Vi}{Ap} \cdot 10 \quad (5)$$

Em que volume para saturação e formação de lâmina de água ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); V_f é o valor no hidrômetro após a aplicação de água (L); V_i é o valor no hidrômetro antes da aplicação de água (L); A_p é a área útil da parcela (m^2).

O volume de água perdida por percolação foi obtido pela diferença entre o volume total consumido (entrada) e de saída de água do sistema, representado pelos componentes de ET_c e do volume para saturação e formação de lâmina. Segue a equação:

$$Perc = \text{volume total consumido} - ET_c - \text{volume para saturação e lâmina} \quad (6)$$

Em que $Perc$ é o volume de água perdida por percolação ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); volume total de água consumida ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); ET_c é a evapotranspiração de cultura ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); volume para saturação e lâmina ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

A determinação da eficiência do uso da água (EUA) foi obtida entre a relação de produtividade do arroz com o volume total de água consumida (incluído a precipitação pluviométrica), e com o volume de água aplicada (sem a precipitação pluviométrica). Para a determinação do volume de água, considerou-se o período entre a emergência das plântulas e a supressão da água. Seguem as equações:

$$EUA = \frac{Pa}{\text{volume total consumido}} \quad (7)$$

$$EUA = \frac{Pa}{\text{volume de água aplicada}} \quad (8)$$

Em que EUA é a eficiência do uso da água ($\text{kg ha}^{-1} \text{m}^{-3}$); Pa é a produtividade de arroz (kg ha^{-1}); volume total consumido ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e o volume de água aplicada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

Os dados da solução do solo determinados ao longo do tempo foram avaliados através da análise de medidas repetidas. As unidades experimentais corresponderam aos níveis de manejo de água alagado e saturado sob a cultivar BRS Tropical, que foram aleatoriamente distribuídos na instalação do experimento; enquanto os dias de coleta da solução do solo corresponderam as avaliações no tempo, que foram alocadas nas subunidades. Como dia de coleta não pode ser alocado aleatoriamente às subunidades (FREITAS et al., 2011) e há uma dependência temporal nos erros, a análise recomendada foi de medidas repetidas. O procedimento utilizado na análise estatística foi o modelo misto (MIXED) do software SAS (SAS INSTITUTE, 2003). A seleção da matriz mais adequada aos dados foi a que apresentou o menor valor de AIC (Akaike's Information Criterion) e

BIC (Bayesian Information Criterion) (YAFFEE, 2004). Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação das médias duas a duas por meio do teste t ao nível de 5% de significância.

Os resultados referentes ao tecido das plantas, componentes de rendimento, produtividade do arroz, volume de água consumida, volume de água aplicada e EUA, seguiram os procedimentos de análise para parcelas divididas. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e quando não apresentaram normalidade, estes foram transformados para realização da análise. A análise de variância foi realizada por meio do teste F ao nível de 5% de significância e a comparação das médias por meio do teste Tukey ao nível de 5% de significância. A análise dos dados foi realizada com auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2012).

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Valores do potencial de oxirredução (Eh), pH e teores de Fe, Mn, Ca, Mg, P, K, Zn e Cu na solução do solo.

Houve interação entre os níveis dos fatores manejo de água e tempo para o Eh e Fe, e efeito principal do fator tempo para o pH da solução do solo. O Mn não apresentou diferença entre os fatores estudados (Apêndice I).

Os valores do potencial de oxirredução (Eh) foram superiores no manejo saturado (SAT) em relação ao manejo alagado (ALA) entre 8 e 64 dias após o início do manejo de água (DAM) (Figura 2a), revelando que o solo do manejo alagado foi mais reduzido comparado ao manejo SAT, a exceção de 1 DAM.

O Eh no manejo SAT ao longo do tempo, manteve-se estável até 57 DAM, diferindo apenas aos 64 DAM com valor menor (Figura 2a). No manejo ALA ao longo do tempo, os valores do Eh decresceram até 27 DAM, permaneceram estáveis até 57 DAM e aumentaram aos 64 DAM. O Eh estabilizou em valor médio de 188mV no manejo alagado, que foi menor que o valor de estabilização do manejo saturado de 388mV.

A redução do solo representado pelo menor valor do Eh ocorreu em decorrência da redução dos compostos oxidados pelos microrganismos anaeróbios em solo alagado (PONNAMPERUMA, 1972; SOUSA et al., 2002). Por outro lado, os maiores valores do Eh no manejo SAT foram atribuídos a menor redução de compostos oxidados, devido as alternâncias de anaerobiose e aerobiose no manejo SAT, proporcionadas pela difusão de oxigênio do ar em contato com a superfície do solo.

O pH da solução não diferiu entre os manejos de água (Figura 2c). Ao longo do tempo, o pH médio aumentou até 36 DAM, permaneceu estável até 50 DAM e apresentou uma diminuição, mas novamente voltou ao patamar estável aos 64 DAM. Apesar de não ter havido diferença entre os manejos, o aumento do pH com o tempo teve a contribuição das reações de oxirredução que ocorreram com o consumo de íons H^+ (VAHL e SOUSA, 2004).

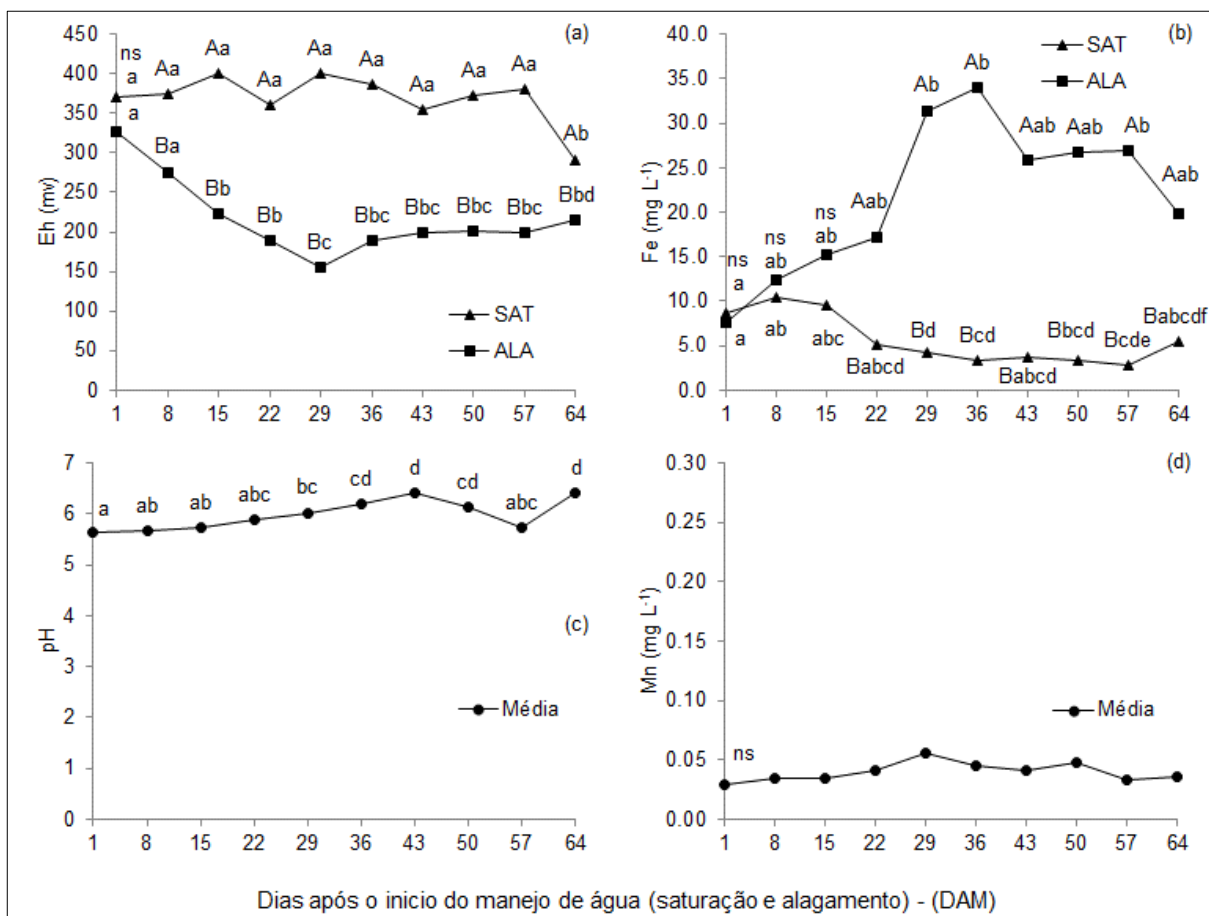


Figura 2 – Valores do potencial de oxirredução (a), ferro (b), pH (c) e manganês (d) da solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ^{ns} não significativo ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por Log para Fe.

Os teores de ferro (Fe) foram superiores no manejo ALA em relação ao manejo SAT entre 22 e 64 DAM (Figura 2b). Ao longo do tempo, no manejo ALA os teores de Fe aumentaram até 36 DAM, posteriormente os valores decresceram, porém não diferiram estatisticamente. Enquanto que no manejo SAT, os teores foram baixos com pequenas variações ao longo do tempo. O aumento nos teores de Fe na solução foram atribuídos a redução de óxidos férricos (Fe^{3+}) a óxidos ferrosos (Fe^{2+}) pelos microrganismos anaeróbios no manejo ALA, de acordo com os autores Sousa et al. (2004); Ponnamperuma (1972). Já o menor teor de Fe no manejo SAT, pode ser explicado pelas alternâncias de oxidações e reduções que ocorreram devido a difusão de oxigênio no solo saturado.

Houve interação entre os níveis dos fatores manejo de água e tempo para os teores de Ca e Mg na solução do solo (Apêndice I).

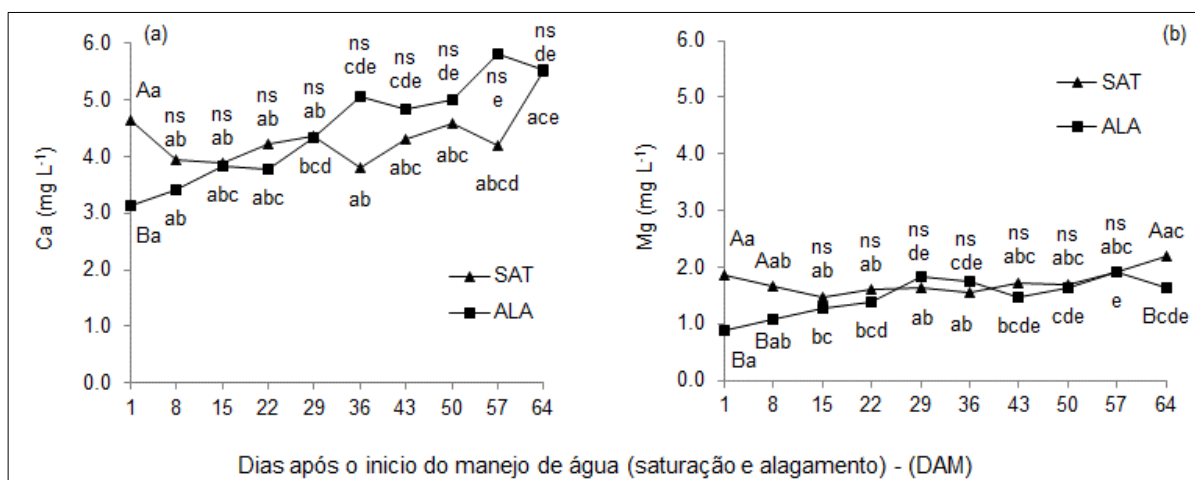


Figura 3 – Teores de cálcio (a) e magnésio (b) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ^{ns} não significativo entre manejos ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por Log para Ca e por raiz quadrada para Mg.

O teor de cálcio (Ca) foi superior no manejo SAT em relação ao manejo ALA em 1 DAM (Figura 3a). Ao longo do tempo, os teores de Ca no manejo ALA aumentaram até 36 DAM e permaneceram estáveis. No manejo SAT, os teores de Ca praticamente permaneceram estáveis, e apresentaram um aumento aos 64 DAM.

Os teores de magnésio (Mg) foram superiores no manejo SAT em relação ao manejo ALA em 1, 8 e 64 DAM (Figura 3b). Ao longo do tempo, os teores de Mg aumentaram até 29 DAM e permaneceram estáveis no manejo ALA. No manejo SAT, os teores de Mg foram estáveis na maioria das avaliações.

Houve efeito principal de manejo de água para fósforo (P) e potássio (K), e efeito principal de tempo para K (Apêndice J). Apesar do efeito principal de manejo de água para P e K, em quatro coletas os teores de P e K não diferiram (Figura 4), possivelmente devido à maior variação dos valores no manejo SAT. Os teores de P foram superiores no manejo SAT em relação ao manejo ALA em 1, 22, 29, 36, 43, 50 e 64 DAM (Figura 4a). Ao longo do tempo, os teores de P decresceram entre 1 e 8 DAM no manejo SAT, seguido de leve aumento que tendeu a estabilidade. No manejo ALA, os teores de P foram estáveis do começo ao fim das avaliações.

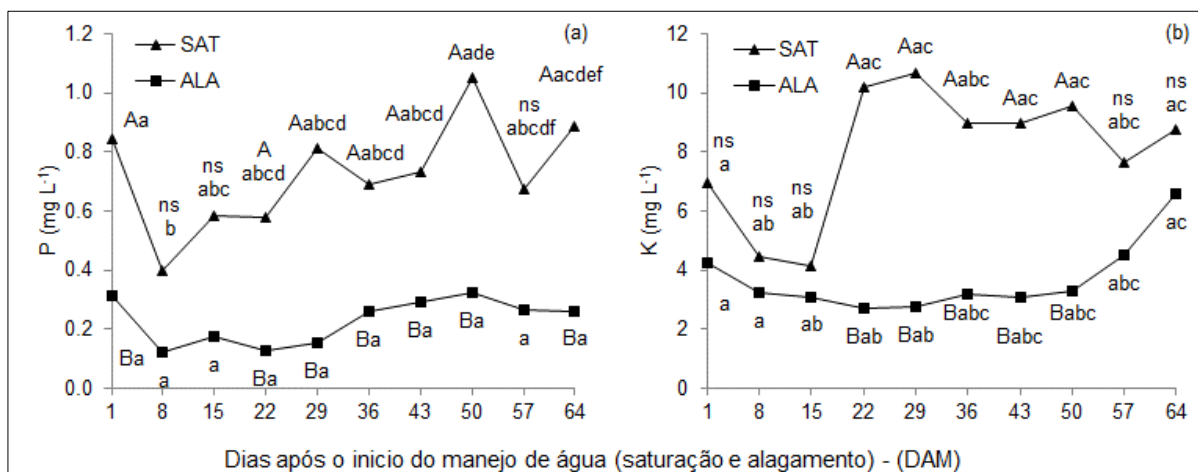


Figura 4 – Teores de fósforo (a) e potássio (b) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ^{ns} não significativo entre manejos pelo teste t ($p > 0,05$). ¹Letras distintas maiúsculas entre manejos em cada data e minúsculas entre datas no manejo, diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$). ²Dados transformados para análise estatística por raiz quadrada para P e K.

Quanto aos teores de K na solução do solo, os maiores valores foram observados no manejo SAT em relação ao ALA, aos 22, 29, 36, 43 e 50 DAM (Figura 4b). Ao longo do tempo no manejo SAT, os teores de K foram menores e estáveis entre 1 e 15 DAM, seguido por um aumento provocado pela adubação com cloreto de potássio realizado em cobertura aos 22 DAM e permaneceram estáveis até o final das avaliações. No manejo ALA, os teores de K permaneceram praticamente estáveis ao longo das avaliações.

Os menores teores de P e K no manejo ALA, talvez possam ser atribuídas as perdas por lixiviação em função do elevado volume de água perdido por percolação.

Houve efeito principal do fator tempo para os teores de zinco (Zn) e cobre (Cu) da solução do solo (Apêndice J). Os teores médios de Zn no tempo decresceram até 15 DAM e permaneceram estáveis até o final das avaliações (Figura 5a). Os teores médios de Cu decresceram até 36 DAM e permaneceram estáveis até a última avaliação (Figura 5b). Os menores teores de Zn e Cu ocorrem devido ao aumento do pH, formando complexos de esfera-interna com óxidos de alumínio e ferro (MEURER et al., 2010).

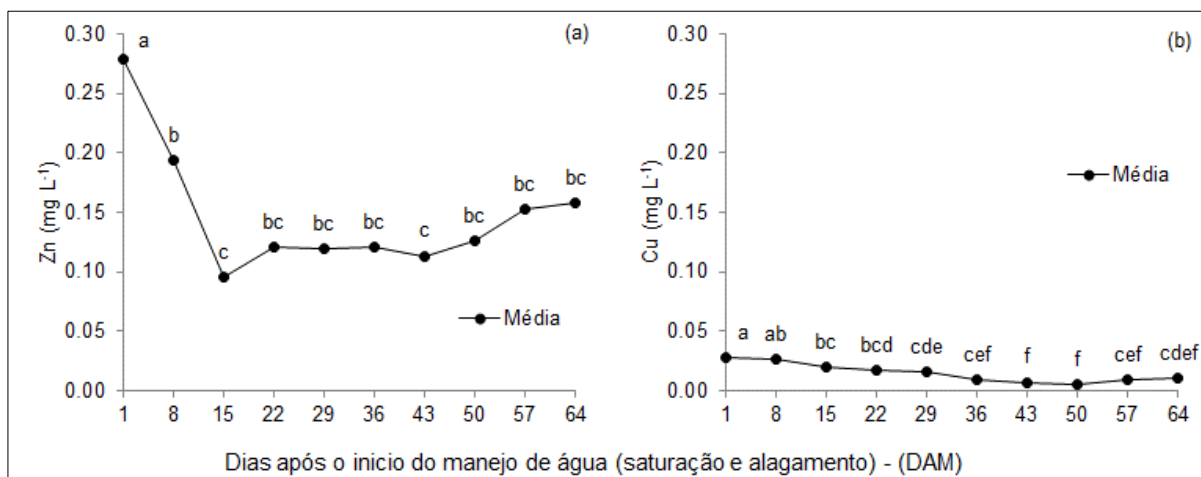


Figura 5 – Teores médios de zinco (a) e cobre (b) na solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical, medidos ao longo do tempo. ¹Letras distintas minúsculas entre datas diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$).

5.3.2 Massa seca da parte aérea e teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido em plantas de arroz das cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.

Na Tabela 2 são apresentadas as médias de massa seca da parte aérea (MSPA) e teores de macronutrientes no tecido das plantas de arroz. Houve efeito principal do fator manejo de água para MSPA, teores de K e Mg e, efeito principal do fator cultivar para MSPA, teores de N, P, K, Ca e Mg.

A média de MSPA em relação ao manejo de água foi superior no alagado em relação ao manejo capacidade de campo, mas que não diferiu do saturado, que por sua vez, não diferiu do manejo capacidade de campo (Tabela 2). Quanto ao fator cultivar, a maior média de MSPA ocorreu na cultivar BRS Tropical em relação as demais. Essa cultivar apresentou plantas maiores em relação as demais cultivares (Tabela 6), o que é uma característica dessa cultivar.

A análise nutricional do tecido das plantas revelou que, os teores de K e Mg foram adequados em todos os tratamentos. Já os teores de Ca na cultivar Roraima foram críticos e nas demais cultivares deficientes, segundo critérios de interpretação descritos em Fageria (1989). Os teores de P foram adequados em todos os tratamentos conforme em Reuter & Robinson (1997). Quanto a interpretação dos níveis de N, não foi possível obter uma referência ideal, pois os teores apresentados

são da parte aérea da planta amostrada no estágio inicial de floração. Entretanto, acredita-se que os teores de N no tecido da parte aérea foram adequados, de acordo com os resultados observados no trabalho de Silva et al. (2012).

Tabela 2 – Valores médios de massa seca da parte aérea (MSPA) e dos teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido do arroz do fator manejo de água (M) nos níveis capacidade de campo (cap. de campo), saturado e alagado e do fator cultivar (C) nos níveis BRSMG Ouro Minas (BRSMG Minas), BRS Tropical, Roraima e IRGA 417.

Nível	MSPA - (g m ⁻²) -	N -----	P -----	K (g kg ⁻¹) -----	Ca -----	Mg -----
Manejo de água (M)						
Cap. de campo	223,08b	13,91 ^{ns}	1,97 ^{ns}	19,78b	1,41 ^{ns}	2,11a
Saturado	239,39ab	13,08	1,82	19,86b	1,68	2,14a
Alagado	268,29a	14,04	2,13	24,32a	1,87	1,86b
Cultivar (C)						
BRSMG Minas	242,22b	11,66c	2,17a	21,75a	1,51b	2,14a
BRS Tropical	272,68a	13,85b	1,83b	20,30b	1,55b	1,92b
Roraima	219,71b	15,28a	1,96ab	22,11a	2,03a	2,10a
IRGA 417	239,73b	13,92ab	1,92ab	21,12ab	1,52b	1,99ab
² p valor						
M	0,027*	0,108	0,087	<,001***	0,311	0,024*
C	<,001***	<,001***	0,036*	0,0035**	<,001***	0,004**
M x C	0,709	0,380	0,790	0,730	0,490	0,627
³ CV de M (%)	14,27	8,40	16,28	7,21	46,23	11,06
³ CV de C (%)	8,58	8,90	13,75	5,39	14,46	7,37

¹Médias dos níveis dentro de cada fator seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. ²Probabilidade "p" associada à estatística F calculada na ANOVA. * significativo a 5%, ** significativo a 1%, ***significativo a 0,1%. ³Coeficiente de variação. ^{ns} Não significativo.

O teor de N no tecido (Tabela 2) foi superior na Roraima em relação à BRS Tropical, mas que não diferiu da IRGA 417, que por sua vez, não diferiu da BRS Tropical. O menor teor de N ocorreu na cultivar BRSMG Ouro Minas, possivelmente ocorreu uma diluição do N total, por apresentar ciclo maior, plantas maiores e maior número de panículas, o que representou maior perfilhamento (Tabela 6). Segundo SILVA et al. (2012), cultivares de arroz de ciclo mais longo apresentam crescimento maior, o que leva a uma maior diluição do teor de N total.

O efeito principal do fator cultivar revelou teores de P superior na cultivar BRSMG Ouro Minas em relação a BRS Tropical, mas que não diferiu das cultivares Roraima e IRGA 417, que por sua vez não diferiram da BRS Tropical (Tabela 2).

O teor de K no tecido (Tabela 2) foi superior no manejo alagado em relação aos manejos saturado e capacidade de campo. Em relação ao efeito principal de cultivar, o maior teor de K foi observado na Roraima em relação a BRS Tropical, mas que não diferiu das cultivares BRSMG Ouro Minas e IRGA 417, sendo que a IRGA 417 não diferiu da BRS Tropical.

O fator principal cultivar revelou maior teor de Ca no tecido (Tabela 2) na Roraima em relação as demais cultivares.

O efeito principal do fator manejo de água revelou teores de Mg no tecido superiores nos manejos capacidade de campo e saturado em comparação ao alagado (Tabela 2). De forma negativa, o excesso de Fe^{2+} na solução do solo pode ter contribuído para inibir a absorção de Mg no manejo alagado (SOUSA et al., 2010). Quanto ao efeito principal de cultivar, o maior teor de Mg ocorreu na BRSMG Ouro Minas em relação a BRS Tropical, mas que não diferiu da Roraima e IRGA 417, sendo que a IRGA 417 não diferiu da BRS Tropical.

De modo geral, as cultivares diferiram entre si quanto aos teores de nutrientes no tecido. A cultivar Roraima na maioria das vezes revelou o maior teor de nutrientes no tecido, porém, o menor valor de MSPA, estatisticamente inferior a BRS Tropical e igual as demais cultivares. Nesse sentido, o menor acúmulo de MSPA contribuiu para a maior concentração de nutrientes no tecido da cultivar Roraima.

5.3.3 Teores de Fe, Mn, Zn e Cu no tecido em plantas de arroz das cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.

Na tabela 3 são apresentados os teores de micronutrientes no tecido do arroz. Houve efeito principal dos fatores manejo de água e cultivar para as variáveis Fe, Zn e Cu e efeito principal do fator manejo de água para a variável Mn.

A interpretação dos micronutrientes quanto aos níveis de suficiência foram avaliados segundo critérios estabelecidos em Dobermann & Fairhurst (2000). Os teores de Zn e Fe no tecido enquadraram-se na faixa ótima e superior. Os teores de Fe ficaram abaixo dos níveis considerados tóxicos. Os teores de Cu e Mn enquadraram-se na faixa ótima.

O teor de Mn no tecido foi superior no manejo saturado comparado ao manejo alagado, este por sua vez, superior ao manejo capacidade de campo (Tabela 3).

Tabela 3 – Teores médios de Mn, Fe, Zn e Cu no tecido do arroz do fator manejo de água (M) nos níveis capacidade de campo (Cap. de campo), saturado e alagado e do fator cultivar (C) nos níveis BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417.

Nível	Mn ⁴	Fe	Zn	Cu ⁵
	----- (mg kg ⁻¹) -----			
Manejo de água (M)				
Cap. de campo	77,89c	140,59c	56,01b	9,36b
Saturado	269,40a	170,07b	63,68a	10,87a
Alagado	122,17b	236,83a	46,74c	10,99a
Cultivar (C)				
BRSMG Ouro Minas	144,20 ^{ns}	195,8a	54,28bc	12,92a
BRS Tropical	150,67	203,55a	47,95c	9,01b
Roraima	175,66	174,20ab	58,72ab	9,60b
IRGA 417	155,41	156,43b	61,01a	10,11b
² p valor				
M	0,0001***	0,0004***	0,0001***	0,0019**
C	0,065	0,0034**	0,0005***	0,0004***
M x C	0,280	0,245	0,094	0,809
³ CV Manejo de água (%)	36,36	11,99	8,28	8,19
³ CV Cultivar (%)	18,71	16,84	10,69	10,29

¹Médias dos níveis dentro de cada fator seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. ²Probabilidade “p” associada à estatística F calculada na ANOVA. * significativo a 5%, ** significativo a 1%, ***significativo a 0,1%. ³Coeficiente de variação. ^{ns} Não significativo. ⁴A ANOVA e teste de médias realizada com dados transformados por Log. ⁵A ANOVA e teste de médias realizada com dados transformados por raiz quadrada.

O teor de Fe no tecido do arroz sob o aspecto do manejo de água, foi superior no manejo alagado em comparação ao manejo saturado, que por sua vez foi superior ao manejo capacidade de campo (Tabela 3). O maior teor de Fe no manejo alagado seguido do saturado, segue a mesma sequência dos teores na solução do solo (Figura 2b). Acredita-se que no manejo capacidade de campo os teores de ferro na solução do solo foram baixos (não medido) em função da menor solubilidade de Fe pelos microrganismos anaeróbios, prejudicados com a constante oxidação e redução alternada nesse ambiente, o que resultou em menor teor de Fe no tecido. Quanto ao aspecto do fator cultivar, o maior teor de Fe ocorreu na cultivar BRS Tropical em relação a IRGA 417, mas que não diferiu da BRSMG Ouro Minas e Roraima, sendo que a Roraima não diferiu da IRGA 417. A cultivar IRGA 417 apresenta reação de suscetibilidade à toxidez por ferro (SOSBAI, 2014), ao contrário da cultivar Roraima, que é considerada tolerante (CORDEIRO, 2009).

O teor de Zn no tecido em relação ao manejo de água foi superior no saturado em comparação ao manejo capacidade de campo e este por sua vez, superior ao alagado (Tabela 3). Apesar de não ter havido diferença estatística do teor de Zn na solução do solo entre os manejos, os valores tenderam a ser superior no saturado, o que pode ter contribuído para maiores teores no tecido desse manejo. Quanto ao fator cultivar, o maior teor de Zn foi observado na IRGA 417 em relação a BRSMG Ouro Minas e BRS Tropical, mas não diferiu da Roraima, que por sua vez não diferiu da BRSMG Ouro Minas e que por sua vez, não diferiu da BRS Tropical.

Os manejos alagado e saturado apresentaram o maior teor de Cu em relação ao manejo capacidade de campo. Relacionado a cultivares, o maior teor de Cu foi observado na cultivar BRSMG Ouro Minas em relação as demais cultivares.

5.3.4 Avaliação visual de severidade de brusone (*Pyricularia grisea*) e mancha parda (*Bipolaris oryzae*) nas folhas das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.

Na tabela 4 são apresentados os valores de severidade de brusone na folha (*Pyricularia grisea*). Os sintomas visuais de severidade de brusone na folha (BF) foram observados em todas as cultivares nos três manejos de água.

A severidade de brusone na folha em cultivares na combinação do nível capacidade de campo e no tempo foram superiores na cultivar BRS Tropical em relação as cultivares BRSMG Ouro Minas, Roraima e IRGA 417 aos 20, 27, 34 e 48 DAM (Tabela 4). Aos 55 DAM, as cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical e Roraima apresentaram valores maiores de BF em relação a cultivar IRGA 417. Aos 66 DAM, a cultivar BRSMG Ouro Minas apresentou valor superior de BF em relação as cultivares BRS Tropical e IRGA 417.

No manejo saturado, a cultivar BRS Tropical apresentou valores superiores de BF em relação as cultivares BRSMG Ouro Minas, Roraima e IRGA 417, aos 13, 20, 27 e 34 DAM (Tabela 4). Aos 41 e 48 DAM, as cultivares BRS Tropical e BRSMG Ouro Minas apresentaram valores de BF superiores em relação as cultivares Roraima e IRGA 417. Aos 55 DAM, a cultivar BRS Tropical apresentou valor superior em relação as cultivares BRSMG Ouro Minas, Roraima e IRGA 417.

Aos 66 DAM, o valor de BF foi superior na cultivar BRSMG Ouro Minas em comparação as cultivares BRS Tropical e IRGA 417.

Tabela 4 - Valores médios de severidade de brusone (*Pyricularia grisea*) nas folhas ao longo do tempo, nas cultivares de arroz irrigado BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417, submetidas aos manejos de água capacidade de campo (Cap. de campo), saturado e alagado, no município de Humaitá-AM.

Manejo de Água / Cultivar	Dias anterior ao início do manejo de água (DM)*		Dias após o início do manejo de água saturado e alagado do solo (DAM)									
	8*	1*										
	6	13	20	27	34	41	48	55	66			
Cap. de campo ²												
BRSMG Ouro Minas ¹	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,5	2,5	
BRS Tropical ¹	1,0	1,0	1,0	2,0	2,5	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	1,5	
Roraima ¹	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	-	
IRGA417 ¹	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	
Saturado ²												
BRSMG Ouro Minas ¹	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	2,5	3,0	3,0	3,5	
BRS Tropical ¹	1,0	1,5	1,5	2,5	2,5	3,0	3,0	4,0	5,0	5,0	1,5	
Roraima ¹	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	3,0	-	
IRGA 417 ¹	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,5	2,0	3,0	2,0	
Alagado ²												
BRSMG Ouro Minas ¹	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,5	1,5	
BRS Tropical ¹	1,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,5	2,5	1,0	2,5	4,5	1,0	
Roraima ¹	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,5	3,0	-	
IRGA 417 ¹	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	

¹Médias de cultivares dentro de cada manejo. ²Médias de cada cultivar entre manejos. ³Escala de notas de 0 a 9 conforme em IRRI (1996): 0—ausência de lesões; 1—abaixo de 1% da área foliar/tecido doente; 3—de 1 a 5% da área foliar/tecido doente; 5—de 6 a 25% da área foliar/tecido doente; 7—de 26 a 50% da área foliar/tecido doente e 9—acima de 50% da área foliar/tecido doente.

No manejo alagado, os maiores valores de BF foram observados na cultivar BRS Tropical em relação as cultivares BRSMG Ouro Minas, Roraima e IRGA 417 aos 27 e 34 DAM (Tabela 4). Aos 48 DAM, os maiores valores de BF ocorreram nas cultivares BRS Tropical e Roraima em relação as cultivares BRSMG Ouro Minas e IRGA 417. A cultivar BRS Tropical apresentou valor superior de BF em relação as cultivares BRSMG Ouro Minas e Roraima, que por sua vez apresentaram valor superior à cultivar IRGA 417, aos 55 DAM.

A cultivar BRS Tropical apresentou os maiores valores de sintomas de brusone na folha em relação as cultivares BRSMG Ouro Minas, Roraima e IRGA 417 na maior das avaliações nos manejos capacidade de campo, saturado e alagado (Tabela 4).

A moderada resistência à brusone na folha não impediu os maiores valores de severidade observados da BRS Tropical (CORDEIRO, 2010) em relação as cultivares, Roraima, considerada moderadamente suscetível a brusone (CORDEIRO, 2008) e a IRGA 417, considerada suscetível (SOSBAI, 2014). Foi realizada uma única aplicação de fungicida aos 49 DAM, a exceção da cultivar Roraima por apresentar ciclo menor.

A brusone na folha ao longo do tempo em cada combinação de níveis do manejo de água e cultivar revelou aumentos mais pronunciados e em maior período, na cultivar BRS Tropical (Tabela 4). Nas demais cultivares, os aumentos ocorreram em todos os manejos, a exceção da cultivar IRGA 417 nos manejos capacidade de campo e no alagado, onde os valores permaneceram na faixa 1.

No manejo capacidade de campo, nas cultivares BRSMG Ouro Minas e Roraima, a BF permaneceu estável por longo período e aumentou aos 55 DAM, mantendo-se estável (Tabela 4). Na cultivar BRS Tropical, o aumento da BF iniciou em 20 DAM estendendo-se até 55 DAM, a exceção de 41 DAM, com menor valor. Na cultivar IRGA 417, a BF manteve-se estável ao longo do período.

No manejo saturado, a cultivar BRSMG Ouro Minas apresentou aumentos de BF a partir de 41 DAM, que permaneceram estáveis até o final das avaliações (Tabela 4). Na cultivar BRS Tropical, o aumento da BF iniciou em 13 DAM estendendo-se até 41 DAM, posteriormente ocorreu outro aumento no valor para faixa 5 e na última avaliação diminuiu. Na cultivar Roraima e IRGA 417, o aumento da BF ocorreu aos 55 DAM, que posteriormente diminuiu somente na cultivar IRGA 417.

No manejo alagado, as cultivares BRSMG Ouro Minas e Roraima permaneceram com valores estáveis de BF por um longo período, que aumentaram aos 55 DAM e em seguida diminuíram na cultivar BRSMG Ouro Minas (Tabela 4). Na cultivar BRS Tropical, o aumento da BF ocorreu aos 27, 34, 48 e 55 DAM, sendo o maior valor observado aos 55 DAM. Na cultivar IRGA 417, a BF manteve-se estável ao longo do período.

Quanto a brusone na folha em relação ao manejo de água na combinação dos níveis de cultivar e tempo, a cultivar BRS Tropical apresentou valores maiores de BF no manejo saturado em relação aos manejos capacidade de campo e alagado aos 13, 41 e 48 DM (Tabela 4). Aos 20 DAM, a mesma cultivar apresentou valores de BF superiores nos manejos capacidade de campo e saturado em relação ao

alagado. Aos 55 DAM, os valores de BF foram superiores nos manejos saturado e alagado em relação ao manejo capacidade de campo na cultivar BRS Tropical. A cultivar BRSMG Ouro Minas apresentou maior severidade de brusone na folha no manejo saturado em relação aos manejos capacidade de campo e alagado aos 41 e 48 DAM. Já aos 66 DAM, os valores de BF foram superiores nos manejos capacidade de campo e saturado em relação ao alagado. A cultivar Roraima revelou maior valor de BF no manejo alagado em relação aos manejos capacidade de campo e saturado aos 48 DAM. A cultivar IRGA 417 mostrou valor maior de BF no manejo saturado em relação aos manejos capacidade de campo e alagado aos 66 DAM.

Os maiores valores de brusone na folha na maior parte das avaliações foram observadas no manejo saturado nas cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical e IRGA 417. Em cultivos com a presença de lâmina de água irregular, a deposição de orvalho é maior em áreas não inundadas, constituindo um foco de inoculo para disseminação do fungo para outras partes da lavoura (PRABHU & FILIPPI, 2006). Na avaliação de manejos de água em diferentes genótipos de arroz no estado de Roraima, Cordeiro et al. (2010) verificaram que a incidência de brusone na folha foi menor no sistema de irrigação por inundação contínua e semeadura em linhas em relação ao sistema de irrigação intermitente.

Na tabela 5 são apresentados os valores dos sintomas visuais de severidade de mancha parda (*Bipolaris oryzae*) na folha (MPF). Os sintomas visuais de severidade de MPF foram observados em todas as cultivares e nos três manejos de água.

Os valores de mancha parda na folha em relação as cultivares em cada combinação do manejo capacidade de campo e no tempo permaneceram baixos até 55 DAM, posteriormente aumentaram e foram superiores na BRSMG Ouro Minas em relação as cultivares BRS Tropical e IRGA 417 (Tabela 5).

No manejo saturado, a cultivar Roraima apresentou maior valor de MPF em relação as demais cultivares aos 48 DAM (Tabela 5). Aos 55 DAM, os maiores valores de MPF foram observados nas cultivares Roraima e BRSMG Ouro Minas em relação as cultivares BRS Tropical e IRGA 417. Aos 66 DAM, a cultivar BRSMG Ouro Minas apresentou o maior valor de MPF em relação as cultivares BRS Tropical e IRGA 417.

Tabela 5 - Valores médios de severidade de mancha parda (*Bipolaris oryzae*) nas folhas medido no tempo, nas cultivares de arroz irrigado BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417, submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado, no município de Humaitá-AM.

Manejo de água	Cultivar	Dias após o início do manejo de água saturado e alagado do solo (DAM)					
		27	34	41	48	55	66
Capacidade de campo ²							
	BRSMG Ouro Minas ¹	0,0	0,2	1,0	1,0	1,0	7,0
	BRS Tropical ¹	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	5,0
	Roraima ¹	0,0	0,2	1,0	1,5	1,5	-
	IRGA 417 ¹	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	5,5
Saturado ²							
	BRSMG Ouro Minas ¹	0,0	0,0	1,0	2,0	2,5	6,5
	BRS Tropical ¹	0,0	0,0	1,5	1,5	1,5	5,0
	Roraima ¹	0,0	0,5	2,0	3,5	3,5	-
	IRGA 417 ¹	0,0	0,0	1,5	1,5	2,0	6,0
Alagado ²							
	BRSMG Ouro Minas ¹	0,0	0,0	1,0	1,5	1,5	4,0
	BRS Tropical ¹	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	3,5
	Roraima ¹	0,0	0,0	1,0	2,0	2,5	-
	IRGA 417 ¹	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	3,0

¹Médias de cultivares dentro de cada manejo. ²Médias de cada cultivar entre manejos. ³Escala de notas de 0 a 9 conforme em IIRRI (1996): 0—ausência de lesões; 1—abaixo de 1% da área foliar/tecido doente; 3—de 1 a 5% da área foliar/tecido doente; 5—de 6 a 25% da área foliar/tecido doente; 7—de 26 a 50% da área foliar/tecido doente e 9—acima de 50% da área foliar/tecido doente.

No manejo alagado, o maior valor de MPF ocorreu na cultivar Roraima em relação as demais cultivares aos 55 DAM (Tabela 5).

O maior valor de MPF no manejo capacidade de campo ocorreu na cultivar BRSMG Ouro Minas (Tabela 5). No manejo saturado, os maiores valores de MPF foram observados nas cultivares BRSMG Ouro Minas e Roraima e no manejo alagado, na cultivar Roraima. O menor valor de severidade de MPF na cultivar BRS Tropical pode ser atribuído a sua reação à doenças, considerada moderada resistência à mancha parda na folha. A cultivar IRGA 417 considerada como médio suscetível a MPF (SOSBAI, 2014) não diferiu da BRS Tropical.

A mancha parda na folha ao longo do tempo em cada combinação de níveis do manejo de água e cultivar mostrou que, no manejo capacidade de campo e em todas as cultivares ocorreram aumentos pronunciados de MPF aos 66 DAM (Tabela 5).

No manejo saturado, a cultivar Roraima apresentou aumentos de MPF aos 48 DAM e permaneceram estáveis até os 55 DAM (Tabela 5). O aumento da MPF aos

55 DAM e com posterior aumento aos 66 DAM foi observado na cultivar BRSMG Ouro Minas. As cultivares BRS Tropical e IRGA 417 apresentaram valores de MPF na faixa 1 entre 41 e 55 DAM e aumentos mais pronunciados aos 66 DAM.

No manejo alagado, a MPF manteve-se estável desde 41 DAM e na última avaliação ocorreram aumentos em todas as cultivares (Tabela 5).

Os aumentos mais pronunciados de MPF ocorreram aos 66 DAM nas cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical e IRGA 417 em todos os manejos de água (Tabela 5). A cultivar Roraima apresentou aumentos menos pronunciados na última avaliação nos manejos saturado e alagado. Os aumentos de MPF ao final das avaliações coincidem com o final do ciclo das cultivares, que segundo Prabhu & Filippi (2006), é quando a planta está susceptível à doença.

O manejo de água saturado proporcionou maior valor de MPF em relação aos manejos capacidade de campo e alagado na cultivar Roraima aos 48 DAM, e na cultivar BRSMG Ouro Minas aos 55 DAM (Tabela 5). Os manejos saturado e alagado proporcionaram maior valor de MPF na cultivar Roraima em relação ao manejo capacidade de campo aos 55 DAM. Aos 66 DAM, os manejos capacidade de campo e saturado nas cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical e IRGA 417 apresentaram valores superiores de MPF em relação ao manejo alagado.

O manejo alagado proporcionou o menor valor de severidade de mancha parda na folha nas cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical e IRGA 417 (Tabela 5). Na cultivar Roraima o efeito do manejo não ficou bem claro, possivelmente o maior valor de MPF nessa cultivar esteja relacionado à susceptibilidade da cultivar em relação a doença. A deposição de orvalho é maior em áreas não inundadas, constituindo um foco de inóculo para disseminação do fungo para outras partes da lavoura (PRABHU & FILIPPI, 2006).

5.3.5 Ciclo e componentes de rendimento das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.

Na tabela 6 são apresentados os componentes de rendimento das cultivares de arroz. Não houve efeito de interação dos fatores manejo de água e cultivar. Houve efeito principal do fator manejo de água para a variável altura de plantas, comprimento de panícula, número de grãos por panícula, grãos inteiros e

produtividade. Houve efeito principal do fator cultivar, para as variáveis número de plantas, altura de plantas, comprimento de panícula, número de grãos por panícula, esterilidade de grãos e grãos inteiros.

O efeito de cultivar revelou maior número de plantas nas cultivares BRSMG Ouro Minas, Roraima e IRGA417, que não diferiram entre si, em relação a BRS Tropical (Tabela 6). O menor vigor das sementes da cultivar BRS Tropical atrasaram em um dia a emergência das plântulas e contribuíram para o menor número de plantas.

O efeito do fator manejo de água revelou plantas de altura maior no alagado em comparação aos manejos capacidade de campo e saturado (Tabela 6). A maior altura de plantas foi provocada pela presença da lâmina de água, o que pode ter contribuído para a maior MSPA nesse tratamento. A maior altura das plantas proporcionado pela lâmina de água foi observado por Cordeiro et al. (2010) no manejo inundado em relação ao intermitente. Quanto ao efeito do fator cultivar, os maiores valores de altura de plantas ocorreram nas cultivares BRSMG Ouro Minas e BRS Tropical em relação a Roraima e IRGA 417.

O número de panículas variou em relação as cultivares, superior na Roraima em relação à IRGA 417, mas que não diferiu das cultivares BRSMG Ouro Minas e BRS Tropical, que por sua vez não diferiram da Roraima (Tabela 6).

O comprimento de panículas em relação ao manejo de água foi maior no alagado em relação aos manejos capacidade de campo e saturado (Tabela 6). Quanto ao efeito de cultivar, a BRSMG Ouro Minas, Roraima e IRGA 417 não diferiram entre si e foram superiores à BRS Tropical.

O número de grãos por panícula foi superior no manejo alagado em relação aos manejos capacidade de campo e saturado (Tabela 6). O menor número de grãos por panícula foi atribuído ao estresse hídrico sofrido pelas plantas causado pela alternância do teor de umidade no solo dos manejos capacidade de campo e saturado. Stone et al. (1990) perceberam que, no sistema com lâmina de água intermitente no subperíodo vegetativo e lâmina de água contínua no subperíodo reprodutivo, houve elevado número de grãos por panícula e não houve diferença no rendimento comparado ao sistema de inundação contínua. Quanto ao efeito do fator cultivar, o número maior de grãos por panícula ocorreu na Roraima em relação à IRGA 417, que por sua vez foi superior as cultivares BRSMG Ouro Minas e BRS Tropical.

Tabela 6 - Comparações das médias dos níveis dos fatores manejo de água (M) e cultivares (C) para as variáveis número de plantas em um metro quadrado (Planta); altura de planta; número de panículas em um metro quadrado (Panícula); comprimento de panícula (Comp. de paníc.); número de grãos por panícula (Grãos paníc.); esterilidade de grãos (Esterilidade); grãos inteiros (Grãos inteiros); produtividade de grãos (Produtividade).

Efeito	Planta (n m ⁻²)	Altura de planta m	Paní- cula (n m ⁻²)	Comp. de paníc. (cm)	Grãos paníc. (n pa ⁻²)	Esteri- lidade ³ (%)	Grãos Inteiros (%)	Produtivi- dade (Kg ha ⁻¹)
Manejo de água (M)								
Aspersão	454 ^{ns}	0,84 b	500 ^{ns}	22,06 b	67,07 b	13,30 ^{ns}	31,31 b	5904 b
Saturado	446	0,87 b	507	22,03 b	69,28 b	13,52	37,37 ab	6289 b
Alagado	475	1,00 a	555	23,20 a	79,42 a	12,90	50,62 a	8053 a
Cultivar (C)								
BRSMG Ouro Minas	470 a	0,93 a	508 ab	22,81 a	61,16 c	12,80 b	31,83 b	6948 ^{ns}
BRSTropical	409 b	0,95 a	528 ab	21,44 b	63,27 c	22,23 a	37,58 b	6592
Roraima	496 a	0,86 b	556 a	22,82 a	88,41 a	9,99bc	48,17 a	6488
IRGA 417	459 a	0,88 b	490 b	22,67 a	74,87 b	7,95 c	41,50 ab	6967
¹ p valor								
M	0,068	<,001***	0.104	0.005**	<.001***	0.332	0.018*	<.001***
C	<,001***	<.001***	0,049*	0.004**	0.001***	<.001***	0.001**	0.140
M x C	0,59	0,095	0.448	0.364	0.238	0.398	0.382	0.690
CV (M) (%)	6,24	4,92	12,61	3,12	6,42	13,30	34,22	15,39
CV (C) (%)	9,51	3,65	10,92	4,40	11,00	22,92	23,21	9,02

¹Probabilidade “p” associada à estatística F calculada na ANOVA. * significativo a 5%, ** significativo a 1%, *** significativo a 0,1%. ²Médias dos níveis dentro de cada fator seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ³Dados transformados por raiz quadrada para ANOVA e teste de médias.

A maior esterilidade de grãos ocorreu na cultivar BRS Tropical em relação a BRSMG Ouro Minas, que por sua vez não diferiu da Roraima, que por sua vez não diferiu da IRGA 417 (Tabela 6).

O manejo alagado proporcionou maior número de grãos inteiros em relação ao manejo capacidade de campo, que por sua vez não diferiu do saturado (Tabela 6). A taxa de quebramento de grão é relativamente pequena, a menos que a umidade do grão caia abaixo de 20%, mesmo quando ocorre fornecimento de água pela chuva (MATSUO, et al., 1995). Teló et al. (2011) observaram diferença entre cultivares de arroz com grau de umidade inferior a 20%. Lan e Kunze (1996) observaram que a taxa de quebramento de grãos foi maior quando os grãos mais secos eram submetidos ao incremento de umidade. Mesmo que as características climáticas do local conduzam à manutenção de altos valores de umidade relativa do ar no período de cultivo, a manutenção de uma lâmina de água sobre a superfície minimiza possíveis variações de umidade próximo ao topo do dossel, o que pode proporcionar um microclima mais estável e menos favorável ao quebramento de grãos. Quanto ao efeito do fator cultivar, a Roraima apresentou maior número de grãos inteiros em relação as cultivares BRSMG Ouro Minas e BRS Tropical, mas que não diferiu da IRGA 417, que por sua vez não diferiu da BRSMG Ouro Minas e BRS Tropical.

A produtividade foi superior no manejo alagado em relação aos manejos capacidade de campo e saturado (Tabela 6). No manejo alagado, o maior número de grãos por panícula, massa de mil grãos superior nas cultivares BRS Tropical e Roraima (Tabela 7), e número de panículas, apesar de estatisticamente iguais, foram responsáveis pela maior produtividade. Corderio et al. (2010) observaram interação significativa entre manejos de água e genótipos/cultivares, das quais as cultivares IRGA 417 e Roraima apresentaram rendimento de 9590 kg ha⁻¹ e 8795 kg ha⁻¹ respectivamente, no sistema de irrigação por inundação contínua, superior ao sistema de irrigação intermitente, de 8298 kg ha⁻¹ e 7332 kg ha⁻¹, respectivamente. De acordo com os autores, a irrigação intermitente pode ter favorecido uma maior competição do arroz com as ervas daninhas e proporcionado maior ocorrência de doenças.

Na tabela 7 são apresentados os resultados da massa de mil grãos em relação aos níveis do manejo de água e cultivar. Houve efeito de interação dos fatores manejo de água e cultivar para a massa de mil grãos (Apêndice K).

A cultivar BRS Tropical apresentou maior massa de grãos no manejo saturado em relação ao manejo capacidade de campo, mas que não diferiu do alagado, que por sua vez não diferiu do manejo capacidade de campo. Na cultivar Roraima, a massa de grãos foi superior no alagado em relação ao manejo capacidade de campo, mas não diferiu do saturado, que por sua vez não diferiu do manejo capacidade de campo.

Tabela 7 - Comparações dos níveis dos fatores manejo de água (M) e cultivares (C) para a variável massa de mil grãos.

Manejo de água	Cultivar				Média
	BRSMG Ouro Minas	BRS Tropical	Roraima	IRGA 417	
	-----Massa de mil grãos (g)-----				
Cap. de campo	28,72 aA	27,64 bB	23,34 dB	25,55 cA	26,31
Saturado	29,57 aA	29,40 aA	24,34 cAB	25,87 bA	27,30
Alagado	29,23 aA	28,24 aAB	25,32 bA	25,74 bA	27,14
Média	29,17	28,43	24,33	25,72	

¹Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito do fator cultivar no manejo capacidade de campo revelou maior valor de massa de mil grãos na BRSMG Ouro Minas em relação à BRS Tropical, que por sua vez foi superior à IRGA 417 e esta superior a Roraima. No manejo saturado, a BRSMG Ouro Minas e BRS Tropical não diferiram entre si e foram superiores a IRGA 417, que por sua vez foi superior a Roraima. No manejo alagado, a BRSMG Ouro Minas e BRS Tropical não diferiram entre si, foram superiores a Roraima e IRGA 417, que não diferiram entre si.

Na tabela 8 são apresentadas as variáveis floração e ciclo dos níveis dos fatores manejo de água e cultivar. Houve efeito principal dos fatores manejo de água e cultivar para a variável floração e efeito principal do fator cultivar para a variável ciclo.

O número de dias de floração foi superior no manejo capacidade de campo em relação ao saturado, que por sua vez foi superior ao alagado. O maior número de dias no manejo capacidade de campo é provocado pelo stress hídrico. Quanto ao efeito do fator cultivar, a BRSMG Ouro Minas apresentou número maior de dias de floração em relação a BRS Tropical, que por sua vez foi superior a IRGA 417, que por sua vez foi superior a Roraima.

A cultivar BRSMG Ouro Minas apresentou ciclo maior em relação a BRS Tropical, que por sua vez foi superior a IRGA 417, que por sua vez foi superior a Roraima. A variação do número de dias do ciclo é atributo à característica de cada cultivar.

Tabela 8 - Valores médios de floração e ciclo dos níveis dos fatores manejo de água e cultivar.

Efeito	Floração (dias)	Ciclo (dias)
Manejo de água (M)		
Capacidade de campo	69 a	95 ^{ns}
Saturado	68 b	95
Alagado	67 c	95
Cultivar (C)		
BRSMG Ouro Minas	72 a	101 a
BRSTropical	71 b	95 b
Roraima	62 d	90 d
IRGA 417	68 c	94 c
² p valor		
M	<,001***	0,221
C	<,001***	<,001***
M x C	0,701	1,00
CV (M) (%)	0,02	9,85
CV (C) (%)	0,32	0,36

¹Médias seguidas de letras distintas na coluna, diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

²Probabilidade “p” associada à estatística F calculada na ANOVA. * significativo a 5%, ** significativo a 1%, *** significativo a 0,1%.

5.3.6 Consumo de água e eficiência do uso da água das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água capacidade de campo, saturado e alagado.

Na figura 6 são apresentados os volumes diários de precipitação pluviométrica representados por cada coluna e a temperatura média diária do ar representado pela linha contínua. A precipitação pluviométrica total compreendida entre o período de semeadura e a colheita da cultivar de arroz de maior ciclo (20 de agosto à 04 de dezembro) foi de 478,90mm (INMET, 2016). Entretanto, na determinação do volume de água captado em cada manejo e cultivar, foi

considerado a precipitação do período entre o plantio e a supressão da irrigação, ou seja, até 10 dias antes da colheita.

A temperatura média no período foi de 26,9°C, sendo que, a menor e maior média no dia foi de 24,2 e 29,4°C, em 14 de outubro e 29 de outubro, respectivamente (Figura 6).

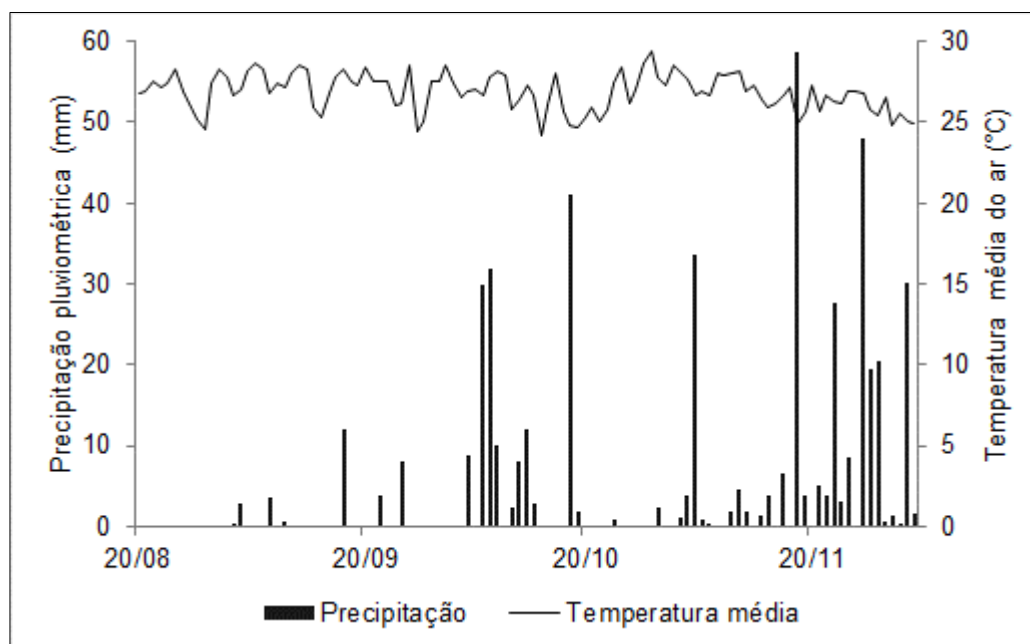


Figura 6 – Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar compreendido entre a semeadura e a colheita da cultivar de arroz de maior ciclo, no período de 20 de agosto a 04 de dezembro, no município de Humaitá-AM.

Fonte: INMET, 2016.

Na tabela 9 são apresentados os resultados de evapotranspiração de cultura para cada subperíodo de desenvolvimento das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417.

A cultivar BRSMG Ouro Minas apresentou evapotranspiração de cultura (ET_c) total de 381,31mm em 91 dias, sendo 107,50mm no subperíodo vegetativo pré alagamento (28,19%), 128,10mm no subperíodo vegetativo pós alagamento (33,59%), 100,83mm no subperíodo reprodutivo (26,44%) e 44,88mm no subperíodo reprodutivo-maturação (11,77%), com ET_c média diária de 4,19mm dia⁻¹ (Tabela 9).

A cultivar BRS Tropical apresentou evapotranspiração de cultura (ET_c) total de 365,41mm em 85 dias, sendo 107,50mm no subperíodo vegetativo pré alagamento (29,42%), 123,79mm no subperíodo vegetativo pós alagamento

(33,88%), 100,13mm no subperíodo reprodutivo (27,40%) e 33,97mm no subperíodo reprodutivo-maturação (9,30%), com ETc média diária de 4,30mm dia⁻¹ (Tabela 9).

Tabela 9 – Evapotranspiração de cultura (ETc) calculada a partir da evapotranspiração de referência (ETr) obtida pelo método Penman-Monteith parametrizado pela Food and Agriculture Organization-FAO e o coeficiente de cultura (Kc) de arroz nos diferentes subperíodos de desenvolvimento para as cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417.

Subperíodo de desenvolvimento	DAE ¹	(Kc) ²	ETc			
			Total no subperíodo	Porcentagem na subperíodo	Média diária	Total em volume
			(mm)	(%)	(mm dia ⁻¹) ³	(m ³ ha ⁻¹)
-----BRSMG Ouro Minas-----						
Vegetativo pré	26	1,05	107,50	28,19	4,13	1075,07
Vegetativo pós	56	1,05	128,10	33,59	4,27	1281,00
Reprodutivo	76	1,20	100,83	26,44	5,04	1008,32
Rep.-maturação	91	0,90	44,88	11,77	2,99	448,80
Total	91		381,31	100	4,19	3813,19
-----BRS Tropical-----						
Vegetativo pré	25	1,05	107,50	29,42	4,30	1075,07
Vegetativo pós	54	1,05	123,79	33,88	4,27	1237,95
Reprodutivo	74	1,20	100,13	27,40	5,01	1001,35
Rep.-maturação	85	0,90	33,97	9,30	3,09	339,77
Total	85		365,41	100	4,30	3654,14
-----Roraima-----						
Vegetativo pré	26	1,05	107,51	31,15	4,13	1075,07
Vegetativo pós	47	1,05	89,35	25,89	4,25	893,55
Reprodutivo	67	1,20	98,07	28,42	4,90	980,75
Rep.-maturação	80	0,90	50,14	14,53	3,86	501,46
Total	80		345,08		4,31	3450,83
-----IRGA 417-----						
Vegetativo pré	26	1,05	107,51	29,91	4,13	1075,07
Vegetativo pós	52	1,05	110,88	30,85	4,26	1108,80
Reprodutivo	72	1,20	98,92	27,52	4,95	989,25
Rep.-maturação	84	0,90	42,14	11,72	3,51	421,44
Total	84		359,45		4,28	3594,56

¹DAE: Dias após a emergência até a supressão do fornecimento de água. ²Kc: coeficiente de cultura para o arroz. ³Vegetativo pré: subperíodo vegetativo antes do alagamento ou saturação; ⁴Vegetativo pós: subperíodo vegetativo após o alagamento ou saturação.

A cultivar Roraima apresentou evapotranspiração de cultura (ETc) total de 345,08mm em 80 dias, sendo 107,50mm no subperíodo vegetativo pré alagamento (31,15%), 89,35mm no subperíodo vegetativo pós alagamento (25,89%), 98,07mm

no subperíodo reprodutivo (28,42%) e 50,14mm no subperíodo reprodutivo-maturação (14,53%), com ETc média diária de 4,31mm dia⁻¹ (Tabela 9).

A cultivar IRGA 417 apresentou evapotranspiração de cultura (ETc) total de 359,45mm em 84 dias, sendo 107,50mm no subperíodo vegetativo pré alagamento (29,91%), 110,88mm no subperíodo vegetativo pós alagamento (30,85%), 98,92mm no subperíodo reprodutivo (27,52%) e 42,14mm no subperíodo reprodutivo-maturação (11,72%), com ETc média diária de 4,28mm dia⁻¹ (Tabela 9).

A ETc média diária das cultivares de arroz ficou entre 4,19 e 4,31mm dia⁻¹ durante o cultivo compreendido entre o período seco (agosto e setembro) e início do período chuvoso (outubro e novembro). Segundo De Datta (1981) apud Gomes et al. (1999), em regiões tropicais, a ETc média diária para o arroz no período chuvoso, varia de 4 a 5mm dia⁻¹, e entre 5 e 6mm dia⁻¹, na época da seca.

Nas tabelas 10, 11, 12 e 13 das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 respectivamente, são apresentados os dados de volume de precipitação pluviométrica (Prec) e de água aplicada (Aplic) nos manejos alagado, saturado e capacidade de campo em cada subperíodo de desenvolvimento das cultivares.

No manejo alagado, o percentual do volume de água aplicada no subperíodo vegetativo pós alagamento nas cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 correspondeu à 59,35, 58,14, 45,95 e 54,89%, respectivamente (Tabela 10, 11, 12, e 13). O volume expressivo de água aplicada nesse subperíodo foi atribuído a necessidade de saturar o solo e formar lâmina de água com altura de 4cm, que posteriormente foi aumentada para 8cm. No manejo saturado, o percentual de água aplicada no subperíodo vegetativo pós saturação nas cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 correspondeu à 34,34, 33,83, 27,75 e 33,28% respectivamente, semelhante aos percentuais do subperíodo vegetativo pré saturação. A semelhança entre os dois subperíodos foi atribuído ao elevado teor de água no solo no início do subperíodo vegetativo pós saturação e a ausência de lâmina de água. No manejo capacidade de campo, o percentual de água aplicada no subperíodo vegetativo pré nas cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 correspondeu à 53,49, 53,50, 55,05 e 53,50% respectivamente. O volume expressivo de água aplicada foi atribuído ao solo seco, já nos subperíodos seguintes, o volume diminuiu em função do aumento da precipitação pluvial.

Quanto ao volume de água proveniente da precipitação pluviométrica, o índice de precipitação registrado no período entre a semeadura e a supressão da irrigação na cultivar BRSMG Ouro Minas correspondeu à 347,70mm (INMET, 2016), sendo que, o volume de água captado nos manejos alagado, saturado e capacidade de campo correspondeu à 334,55mm ($3345,54\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$), 257,70mm ($2577,05\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$) e 160,90mm ($1609,00\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$) respectivamente (Tabela 10), o que representou o percentual de aproveitamento da precipitação pluviométrica de 96,22, 74,11 e 46,27% respectivamente.

Na cultivar BRS Tropical, o índice de precipitação registrado entre a semeadura e a supressão da irrigação foi de 307,50mm (INMET, 2016), sendo que o volume de água captado nos manejos alagado, saturado e capacidade de campo correspondeu à 292,56mm ($2925,60\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$), 228,91mm ($2289,08\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$) e 137,50mm ($1375,00\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$) respectivamente (Tabela 11), o que representou o percentual de aproveitamento da precipitação pluviométrica de 95,14, 74,44 e 44,71% respectivamente.

Na cultivar Roraima, o índice de precipitação registrado entre a semeadura e a supressão da irrigação foi de 234,34mm (INMET, 2016), sendo que o volume de água captado nos manejos alagado, saturado e capacidade de campo correspondeu à 234,34mm ($2343,43\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$), 179,47mm ($1794,74\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$) e 113,90mm ($1139,00\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$) respectivamente (Tabela 12), o que representou o percentual de aproveitamento da precipitação pluviométrica de 100, 76,60 e 48,61% respectivamente.

Tabela 10 – Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo (Cap. de campo) para cada subperíodo de desenvolvimento da cultivar de arroz BRSMG Ouro Minas.

Subperíodo de desenvolvimento	DAE ¹	NDI ²	Manejo de água					
			Alagado		Saturado		Cap. de campo	
			Prec ³	Aplic ⁴	Prec	Aplic	Prec	Aplic
			(m ³ ha ⁻¹)					
			(%)					
Vegetativo pré ⁵	26	31	209,82 (6,27)	7551,10 (15,36)	201,13 (7,80)	6986,64 (35,05)	96,00 (5,97)	5305,78 (53,49)
Vegetativo pós ⁶	56	61	1589,69 (47,52)	29166,72 (59,35)	1191,30 (46,23)	6843,97 (34,34)	725,00 (45,06)	2457,49 (24,78)
Reprodutivo	76	81	474,25 (14,18)	10199,15 (20,75)	369,64 (14,34)	4450,06 (22,33)	238,00 (14,79)	1683,90 (16,98)
Rep.-maturação	91	96	1071,77 (32,04)	2228,66 (4,53)	814,98 (31,62)	1649,96 (8,28)	550,00 (34,18)	471,91 (4,76)
Total da Prec e Aplic			3345,54 (100)	49145,62 (100)	2577,05 (100)	19930,62 (100)	1609,00 (100)	9919,08 (100)
Total consumido (Prec+Apli)	91	96	52491,16		22507,67		11528,08	

¹DAE: dias após a emergência. ²NDI: número de dias irrigados a partir de 1 dia após a semeadura e 10 dias anterior a colheita. ³Prec: volume da precipitação pluviométrica. ⁴Aplic: volume de água aplicada a partir de 1 dia após a semeadura e 10 dias anterior a colheita. ⁵Vegetativo pré: subperíodo vegetativo antes do alagamento ou saturação.

⁶Vegetativo pós: subperíodo vegetativo após o alagamento ou saturação.

Tabela 11 – Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo (Cap. de campo) para cada subperíodo de desenvolvimento da cultivar de arroz BRS Tropical.

Subperíodo de desenvolvimento	DAE ¹	NDI ²	Manejo de água					
			Alagado		Saturado		Cap. de campo	
			Prec ³	Aplic ⁴	Prec	Aplic	Prec	Aplic
			(m ³ ha ⁻¹)					
			(%)					
Vegetativo pré ⁵	25	31	209,82 (7,17)	7551,10 (15,59)	195,95 (8,56)	7255,07 (36,93)	96,00 (6,98)	5305,78 (53,50)
Vegetativo pós ⁶	54	60	1589,69 (54,34)	28154,35 (58,14)	1191,30 (52,04)	6646,33 (33,83)	725,00 (52,73)	2361,63 (23,81)
Reprodutivo	74	80	455,45 (15,57)	10898,40 (22,51)	369,64 (16,15)	4451,12 (22,66)	220,00 (16,00)	1631,15 (16,45)
Rep.-maturação	85	91	670,64 (22,92)	1819,86 (3,76)	532,19 (23,25)	1292,11 (6,58)	334,00 (24,29)	618,22 (6,23)
Total da Prec e Aplic			2925,60 (100)	48423,71 (100)	2289,08 (100)	19644,63 (100)	1375,00 (100)	9916,78 (100)
Total consumido (Prec+Apli)	85	91	51349,31		21933,70		11291,78	

¹DAE: dias após a emergência. ²NDI: número de dias irrigados a partir de 1 dia após a semeadura e 10 dias anterior a colheita. ³Prec: volume da precipitação pluviométrica. ⁴Aplic: volume de água aplicada a partir de 1 dia após a semeadura e 10 dias anterior a colheita. ⁵Vegetativo pré: subperíodo vegetativo antes do alagamento ou saturação.

⁶Vegetativo pós: subperíodo vegetativo após o alagamento ou saturação.

Tabela 12 – Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo (Cap. de campo) para cada subperíodo de desenvolvimento da cultivar de arroz Roraima.

Subperíodo de desenvolvimento	DAE ¹	NDI ²	Manejo de água					
			Alagado		Saturado		Cap. de campo	
			Prec ³	Aplic ⁴	Prec	Aplic	Prec	Aplic
			(m ³ ha ⁻¹)					
			(%)					
Vegetativo pré ⁵	26	31	209,82 (8,95)	7551,10 (15,81)	195,95 (10,92)	7255,07 (38,00)	96,00 (8,43)	5305,78 (55,05)
Vegetativo pós ⁶	47	52	1014,83 (43,31)	21942,10 (45,95)	593,42 (33,06)	5297,80 (27,75)	395,00 (34,68)	1981,62 (20,56)
Reprodutivo	67	72	598,56 (25,54)	14382,31 (30,12)	637,96 (35,55)	4290,81 (22,47)	366,00 (32,13)	1460,44 (15,15)
Rep.-maturação	80	85	520,22 (22,20)	3879,09 (8,12)	367,41 (20,47)	2248,64 (11,78)	282,00 (24,76)	890,36 (9,24)
Total da Prec e Aplic			2343,43 (100)	47754,60 (100)	1794,74 (100)	19092,32 (100)	1139,00 (100)	9638,19 (100)
Total consumido (Prec+Apli)	80	85	50098,03		20887,06		10777,19	

¹DAE: dias após a emergência. ²NDI: número de dias irrigados a partir de 1 dia após a semeadura e 10 dias anterior a colheita. ³Prec: volume da precipitação pluviométrica. ⁴Aplic: volume de água aplicada a partir de 1 dia após a semeadura e 10 dias anterior a colheita. ⁵Vegetativo pré: subperíodo vegetativo antes do alagamento ou saturação.

⁶Vegetativo pós: subperíodo vegetativo após o alagamento ou saturação.

Tabela 13 – Volume de água aplicada (Aplic) e de precipitação pluviométrica (Prec) nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo (Cap. de campo) para cada subperíodo de desenvolvimento da cultivar de arroz IRGA 417.

Subperíodo de desenvolvimento	DAE ¹	NDI ²	Manejo de água					
			Alagado		Saturado		Cap. de campo	
			Prec ³	Aplic ⁴	Prec	Aplic	Prec	Aplic
			(m ³ ha ⁻¹)					
			(%)					
Vegetativo pré ⁵	26	31	209,82 (8,54)	7551,10 (15,57)	195,95 (10,24)	7255,07 (36,82)	96,00 (7,82)	5305,78 (53,50)
Vegetativo pós ⁶	52	57	1154,00 (46,96)	26622,61 (54,89)	738,16 (38,59)	6556,78 (33,28)	495,00 (40,34)	2266,20 (22,85)
Reprodutivo	72	77	876,43 (35,66)	11362,46 (23,43)	818,32 (42,78)	4011,76 (20,36)	446,00 (36,35)	1425,23 (14,37)
Rep.-maturação	84	89	217,28 (8,84)	2966,89 (6,12)	160,32 (8,38)	1880,38 (9,54)	190,00 (15,48)	919,56 (9,27)
Total da Prec e Aplic			2457,53 (100)	48503,05 (100)	1912,76 (100)	19703,98 (100)	1227,00 (100)	9916,78 (100)
Total consumido (Prec+Apli)	84	89	50960,58		21616,74		11143,78	

¹DAE: dias após a emergência. ²NDI: número de dias irrigados a partir de 1 dia após a semeadura e 10 dias anterior a colheita. ³Prec: volume da precipitação pluviométrica. ⁴Aplic: volume de água aplicada a partir de 1 dia após a semeadura e 10 dias anterior a colheita. ⁵Vegetativo pré: subperíodo vegetativo antes do alagamento ou saturação.

⁶Vegetativo pós: subperíodo vegetativo após o alagamento ou saturação.

Na cultivar IRGA 417, o índice de precipitação registrado no período entre a semeadura e a supressão da irrigação foi de 245,75mm (INMET, 2016), sendo que o volume de água captado nos manejos alagado, saturado e capacidade de campo correspondeu à 245,75mm ($2457,53\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), 191,28mm ($1912,76\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e 122,70mm ($1227\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) respectivamente (Tabela 13), o que representou o percentual de aproveitamento da precipitação pluviométrica de 100, 77,83 e 49,93% respectivamente.

O elevado índice de aproveitamento da água proveniente da precipitação pluvial no manejo alagado em todas as cultivares foi devido a supressão da aplicação de água durante a precipitação. Somado a isso, as reposições de água nos manejos eram efetuadas duas vezes ao dia, entre essas reposições, a altura da lâmina diminuía entre 1 e 2cm, o que permitiu maior armazenamento de água da chuva. No manejo saturado em todas as cultivares, o aproveitamento da água da precipitação foi menor. Durante o evento da precipitação, a aplicação de água também era suspensa, e assim que o solo saturava, o excesso de água escoava pelos canos instalados nas taipas acima da superfície do solo, contribuindo para a perda de um maior volume de água. No manejo capacidade de campo em todas as cultivares, o aproveitamento da água proveniente da precipitação foi menor em relação aos manejos alagado e saturado, pois no entorno das parcelas não haviam taipas instaladas, e precipitações com volumes superiores a taxa de infiltração do solo eram perdidos por escoamento superficial.

De acordo com Martini (2010), através dos sistemas de irrigação por banho, intermitente e inundação contínua foi possível um aproveitamento de captação de água da chuva de 96, 58 e 11,31% respectivamente.

Na tabela 14 são apresentados os componentes de entrada de água (Prec e Aplic), saída de água (ETc e Perc) e de saturação do solo e formação de lâmina de água. Em relação a cada componente de entrada de água, a precipitação pluvial representou uma baixa contribuição em cada manejo de água. Na cultivar BRSMG Ouro Minas nos manejos alagado, saturado e capacidade de campo, o volume de água da precipitação representou 6,37, 11,45 e 13,96% respectivamente, do volume de água consumida, o que significou uma economia de água aplicada de mesma ordem.

Tabela 14 – Volume de água dos componentes de entrada e saída de água, saturação do solo e formação de lâmina durante o cultivo do arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 submetidas aos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo (Cap. de campo).

Manejo de água	Entrada de água			Saída de água			Saturação do solo e formação de lâmina
	Prec ¹	Aplic ²	Total	ETc ³	Perc ⁴	Total	
-----BRSMG Ouro Minas (Volume m ³ ha ⁻¹)-----							
Alagado	3345	49146	52491	3813	38948	42761	9730
Saturado	2577	19931	22508	3813	11941	15754	6754
Cap.de campo	1609	9919	11528	3813	7715	11528	-
-----BRS Tropical (Volume m ³ ha ⁻¹)-----							
Alagado	2925	48424	51349	3654	37965	41619	9730
Saturado	2289	19645	21933	3654	11525	15179	6754
Cap.de campo	1375	9917	11292	3654	7638	11292	-
-----Roraima (Volume m ³ ha ⁻¹)-----							
Alagado	2343	47755	50098	3451	36917	40368	9730
Saturado	1795	19092	20887	3451	10682	14133	6754
Cap.de campo	1139	9638	10777	3451	7326	10777	-
-----IRGA 417 (Volume m ³ ha ⁻¹)-----							
Alagado	2458	48503	50961	3595	37636	41231	9730
Saturado	1913	19704	21617	3595	11268	14863	6754
Cap.de campo	1227	9917	11144	3595	7549	11144	-

¹Prec: precipitação pluviométrica. ²Aplic: água aplicada. ³ETc: evapotranspiração. ⁴Perc: percolação.

Na cultivar BRS Tropical nos manejos alagado, saturado e capacidade de campo, o volume de água da precipitação representou 5,70, 10,44 e 12,18% respectivamente, do volume de água consumida, o que significou uma economia de água aplicada de mesma ordem (Tabela 14).

Na cultivar Roraima nos manejos alagado, saturado e capacidade de campo, o volume de água da precipitação representou 4,68, 8,59 e 10,57% respectivamente, do volume de água consumida, o que significou uma economia de água aplicada de mesma ordem (Tabela 14).

Na cultivar IRGA417 nos manejos alagado, saturado e capacidade de campo, o volume de água da precipitação representou 4,82, 8,85 e 11% respectivamente do volume de água consumida, o que significou uma economia de água aplicada de mesma ordem (Tabela 14).

O volume do componente de saída de água percolação, e formação de lâmina variaram em cada manejo nas cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417 (Tabela 14).

Na cultivar BRSMG Ouro Minas no manejo alagado, os componentes de saída ETc e percolação, e a saturação do solo com formação de lâmina de água representaram 7,26, 74,20 e 18,54% respectivamente, do volume total de entrada de água (Tabela 14). No manejo saturado, esses mesmos componentes representaram respectivamente, 16,94, 53,06 e 30% do volume total de entrada de água. No manejo capacidade de campo, a ETc representou 33,08% do volume total de entrada de água, sendo que os 66,92% restantes representaram as perdas por percolação e manutenção da umidade no solo.

Na cultivar BRS Tropical no manejo alagado, os componentes de saída ETc e percolação, e a saturação do solo com formação de lâmina de água representaram 7,12, 73,93 e 18,95% respectivamente, do volume total de entrada de água (Tabela 14). No manejo saturado, esses mesmos componentes representaram respectivamente, 16,66, 52,55 e 30,79% do volume total de entrada de água. No manejo capacidade de campo, a ETc representou 32,36% do volume total de entrada de água, sendo que os 67,64% restantes representaram as perdas por percolação e manutenção da umidade no solo.

Na cultivar Roraima no manejo alagado, os componentes de saída ETc e percolação, e a saturação do solo com formação de lâmina de água representaram 6,89, 73,69 e 19,42% respectivamente, do volume total de entrada de água (Tabela

14). No manejo saturado, esses mesmos componentes representaram respectivamente, 16,52, 51,14 e 32,34% do volume total de entrada de água. No manejo capacidade de campo, a ETc representou 32,02% do volume total de entrada de água, sendo que os demais 67,98% representaram as perdas por percolação e manutenção da umidade do solo.

Na cultivar IRGA 417 no manejo alagado, a ETc, percolação e a saturação do solo com formação de lâmina de água representaram 7,05, 73,85 e 19,10% respectivamente, do volume total de entrada de água (Tabela 14). No manejo saturado, esses mesmos componentes representaram respectivamente, 16,63, 52,13 e 31,24% do volume total de entrada de água. No manejo capacidade de campo, a ETc representou 32,26% do volume total de entrada de água, sendo que os demais 67,74% representaram as perdas por percolação e manutenção da umidade do solo.

O volume elevado de água consumida para saturar o solo e formar lâmina foi atribuído ao solo extremamente seco e ao lençol freático em profundidade superior à 4m. Já a perda elevada de água por percolação, provavelmente esteja relacionado à perda de água por fluxo lateral abaixo da camada arável do solo, que ocorreu em profundidade maior à medida que o solo foi saturado para a formação de lâmina de água. Na presença da lâmina de água, a pressão total aumentou sobre a coluna de água, o que favoreceu ainda mais a perda de água por percolação, num solo com condutividade hidráulica saturada moderadamente lenta. No manejo saturado, a menor perda de água por percolação foi atribuída a menor pressão total exercida sobre a coluna de água, por não haver lâmina de água em superfície. A perda de água por ETc nos manejos foi a mesma, variando para as cultivares em função do ciclo. O percentual de ETc variou em função da variação total de água consumido em cada manejo. No estudo de Rosolen (2000) em condições de solo e clima semelhantes, na mesma região do estudo, o lençol freático encontrava-se em profundidade de 5,8m no período de 24/09 a 24/10.

Na tabela 15 são apresentados os resultados do volume de água consumida, aplicada, produtividade e a eficiência de uso da água (EUA) com e sem precipitação pluviométrica, das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical, Roraima e IRGA 417, nos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo. Houve efeito principal dos fatores manejo de água e cultivar para as variáveis volume de água consumida e volume de água aplicada. Houve efeito principal do fator Manejo

de água para a variável EUA com e sem precipitação. A produtividade de grãos já foi explicada anteriormente na tabela 6.

O maior volume de água consumida ocorreu no manejo alagado em relação ao saturado, que por sua vez foi superior ao manejo capacidade de campo (Tabela 15). Os manejos de água saturado e capacidade de campo representaram uma economia de 57,57% e 78,16% respectivamente, de água consumida em relação ao manejo alagado. Quanto as cultivares, o maior volume consumido ocorreu na BRSMG Ouro Minas, superior à BRS Tropical, que por sua vez foi superior ao IRGA 417, que por sua vez foi superior à Roraima. A diferença entre as cultivares foi atribuído ao ciclo diferenciado.

Quanto ao volume de água aplicada, o manejo alagado foi superior ao saturado, que por sua vez foi superior ao manejo capacidade de campo (Tabela 15). Os manejo saturado e capacidade de campo representaram uma economia de 59,56 e 79,68% de água aplicada em relação ao manejo alagado. Nas cultivares, o volume aplicado foi superior na BRSMG Ouro Minas em relação a BRS Tropical, mas não diferiu da IRGA 417, que por sua vez não diferiu da BRS Tropical, todas superior a Roraima.

Tabela 15 – Volume médio de água consumida (Prec+Aplic), volume médio de água aplicada (Aplic), produtividade de grãos e eficiência no uso de água (EUA) com e sem precipitação pluviométrica das cultivares de arroz BRSMG Ouro Minas, BRSTropical, Roraima e IRGA 417, submetidas aos manejos de água alagado, saturado e capacidade de campo.

Efeito	Volume de água consumida (Prec+ Aplic) ³ --(m ³ ha ⁻¹)--	Volume de água aplicado (Aplic) ³ -(m ³ ha ⁻¹)-	Produtividade ---(Kg ha ⁻¹)---	EUA ³	
				Com precipitação pluviométrica	Sem precipitação pluviométrica
				------(kg m ⁻³)-----	
Manejo de água (M)					
Alagado	51225 a	48457 a	8053 a	0,16 c	0,17 c
Saturado	21736 b	19593 b	6289 b	0,29 b	0,32 b
Cap. de campo	11185 c	9848 c	5904 b	0,53 a	0,60 a
Cultivar (C)					
BRSMG Ouro Minas	28842 a	26332 a	6948 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,38 ^{ns}
BRSTropical	28192 b	25995 b	6592	0,32	0,36
Roraima	27254 d	25495 c	6488	0,32	0,35
IRGA 417	27907 c	26041 ab	6967	0,34	0,37
¹ p valor					
M	<,001***	<,001***	<.001***	<,001***	<,001***
C	<.001***	<.001***	0.140	0,72	0,68
M x C	0,114	0,262	0.690	0,98	0,97
CV (M) (%)	31,31	33,68	15,39	33,83	35,85
CV (C) (%)	0,92	0,98	9,02	12,68	13,28

¹Probabilidade “p” associada à estatística F calculada na ANOVA. * significativo a 5%, ** significativo a 1%, *** significativo a 0,1%. ²Médias dos níveis dentro de cada fator seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ³Análise de variância e teste de médias realizado com os dados transformados por raiz quadrada e dados apresentados sem transformação.

Os manejos alagado, saturado e capacidade de campo apresentaram volume elevado de água consumida no período seco, o que foi atribuído ao solo extremamente seco, lençol freático com profundidade superior à 4m e perdas por percolação. A diferença do volume de água entre os manejos, superior no alagado foi atribuído a necessidade de manter a lâmina de água constante, o que aumentou a pressão total e resultou no aumento das perdas de água por percolação. No entanto, é provável que uma parcela importante da água percolada, possa ser atribuída a perda por fluxo lateral em profundidade, o que não foi medido. Pelo fato de não ter havido nenhum outro tipo de cultivo com irrigação no entorno da área experimental durante o estudo, o solo do entorno era extremamente seco, e o lençol freático que encontrava-se em profundidade superior à 4m permitiu com que a água fosse deslocada por diferença de pressão, do solo saturado da área experimental irrigada, para o solo seco do entorno, aumentando dessa forma, as perdas por fluxo lateral e por percolação em profundidade, o que pode estar superestimando os valores do consumo de água nos manejos alagado e saturado. Além disso, a relação entre o perímetro e a área do experimento ter sido elevada, também contribuiu para superestimar os valores de perda de água. No manejo saturado, a perda por percolação foi menor, a ausência da lâmina de água fez com que diminuísse a pressão total exercida sobre a coluna de água. Provavelmente, perdas por fluxo lateral em profundidade maior também ocorreram, porém menores do que no alagado. No manejo capacidade de campo, a necessidade de manter o solo entre a capacidade de campo e saturado, resultou em menores perdas por percolação.

No estudo de Martini (2010), os manejos de irrigação intermitente e por banhos apresentaram uma economia de aproximadamente 23 e 43% no volume de água aplicado, em relação ao volume de $6583\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ no manejo de irrigação por inundação contínua.

O efeito principal do fator manejo de água para EUA com precipitação pluviométrica mostrou que, o manejo capacidade de campo apresentou EUA superior ao manejo saturado, que por sua vez foi superior ao alagado. Houve um aumento na EUA com precipitação pluviométrica de 331,25% e 181,25% nos manejos capacidade de campo e saturado respectivamente, na comparação com o manejo alagado (Tabela 15). Na ausência da precipitação pluviométrica, a EUA foi superior no manejo capacidade de campo em relação ao saturado, que por sua vez foi superior alagado. O aumento na EUA sem precipitação foi de 352,94% e

188,24% nos manejos capacidade de campo e saturado respectivamente, na comparação com o manejo alagado.

Martini (2010) avaliou a EUA com a cultivar IRGA 422 CL e o volume de água aplicada, submetida aos manejos de irrigação contínua, intermitente e por banhos, obteve os valores de EUA de 1,58, 1,82 e 2,22 respectivamente, que representaram um aumento na EUA de 15 e 40% nos manejos de irrigação intermitente e por banhos respectivamente, em comparação com o manejo de irrigação contínua. Suárez & Román (2016) obtiveram uma EUA de 0,37 no sistema convencional de irrigação, considerando o volume total de água consumida (precipitação e lâmina de irrigação aplicada).

5.4 Conclusões

O manejo alagado promove maior comprimento de panícula, número de grãos por panícula e produtividade de grãos em relação aos manejos saturado e capacidade de campo no período seco.

Os valores do consumo de água nos manejos alagado e saturado são extremamente elevados no período seco, devido às perdas de água por fluxo lateral e por percolação em profundidade, que podem estar superestimadas.

O manejo de água capacidade de campo propicia o menor consumo de água e maior eficiência do uso da água no período seco.

As cultivares de arroz irrigado revelam produtividades superiores no período seco em relação a produtividade média do estado do Amazonas.

Os manejos capacidade de campo e saturado interferem negativamente no percentual de grãos inteiros no período seco.

O solo alagado apresenta condições mais reduzidas e maiores teores de Fe na solução do solo e no tecido das plantas de arroz.

Os manejos de água proporcionam variação nos teores de K, Mg, Fe, Zn, Mn e Cu no tecido das plantas de arroz. Os teores de N, P, K, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe no tecido estão em níveis adequados ou superior. O teor de Ca no tecido da cultivar Roraima é considerado crítico e nas demais cultivares, deficiente.

As cultivares de arroz irrigado apresentam teores variados de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Cu no tecido e de produção de MSPA, porém apresentam produtividades semelhantes.

O manejo alagado contribui para diminuir a severidade de mancha parda na folha nas cultivares BRSMG Ouro Minas, BRS Tropical e IRGA 417.

6 Considerações Finais

Nos solos dos campos naturais da região sul do estado do Amazonas, a calagem normalmente é realizada para a correção da acidez do solo e elevar os teores de Ca e Mg, e os fertilizantes são aplicados para suprir os demais nutrientes do solo nos cultivos em condições de sequeiro. No experimento realizado com Gleissolo, com e sem calagem, submetido aos manejos de água saturado e alagado, cultivado com a cultivar de arroz BRS Pelota, susceptível a toxidez por ferro, verificou-se que o aumento do pH da solução do solo e o desenvolvimento das plantas de arroz, somente foram satisfatórios no solo com calagem nos manejos alagado e saturado. A elevada acidez do solo e a saturação por alumínio inibiram a atividade microbiana anaeróbia, dessa forma, menos compostos oxidados foram reduzidos e menor foi o aumento do pH da solução do solo. Assim, a calagem é imprescindível para o fornecimento de Ca, Mg e aumento do pH no cultivo do arroz irrigado em solos dos campos naturais. O manejo alagado no solo com calagem proporcionou os maiores teores de ferro no tecido e sintomas de toxidez por ferro nas folhas do arroz, porém menores no manejo saturado, que apresentou maior produção de MSPA. O manejo saturado em solo com calagem pode ser uma alternativa eficiente para diminuir a solubilização do ferro no solo e reduzir o volume de água aplicada, principalmente no subperíodo vegetativo do arroz.

No estudo com cultivares de arroz irrigado num Gleissolo Háplico alítico típico no período chuvoso, os manejos de água alagado, saturado e aeróbio proporcionaram produtividades semelhantes, em condições de solo com níveis adequados de nutrientes, elevada precipitação pluvial e elevação do lençol freático próximo a superfície. Em tais condições, é possível obter produtividade elevada sem a necessidade de irrigação suplementar. Com o uso da irrigação suplementar, os manejos alagado e saturado apresentaram os menores volumes de água aplicada em relação ao período seco, devido a precipitação pluvial e elevação do lençol freático no solo. Entretanto, no período chuvoso, a severidade de brusone e mancha parda na folha do arroz aumentou consideravelmente, não afetou a produtividade, porém foi necessário um maior número de pulverizações com fungicidas. Com efeitos positivos sobre as doenças, os manejos de água saturado e alagado proporcionaram menos sintomas de severidade de mancha parda na folha em relação ao manejo aeróbio, o que pode contribuir para diminuir o número de

aplicações de fungicidas. Os manejos de água proporcionaram teores de nutrientes variáveis no tecido, porém todos em níveis adequados ou superior. O período chuvoso favoreceu o percentual de grãos inteiros em todos os manejos, que apresentaram valores superior à 50%. O plantio do arroz foi realizado em 15 de dezembro, época não muito apropriada, pois a colheita coincidiu com os meses de maior precipitação pluvial, final de março e primeira quinzena de abril. Nesse sentido, a alternativa seria antecipar o plantio para o mês de outubro, com previsão de colheita para o mês de janeiro, período em que normalmente ocorre o cultivo de arroz de terras altas na região. Porém, nesse período é provável que: o volume de água aplicada no arroz seja maior; a retirada de água da lavoura para colheita seja dificultada devido à elevação do lençol freático; a colheita poderá enfrentar dificuldades em função do aumento da precipitação no mês de janeiro; a severidade de brusone e mancha parda seja menor.

No estudo do período seco, a produtividade de arroz foi superior no manejo alagado (8053Kg ha⁻¹) em relação aos manejos saturado e capacidade de campo. No período chuvoso, o manejo alagado apresentou um pequeno incremento na produtividade (8468Kg ha⁻¹), comparado ao período seco. Entretanto, no período seco, o volume de água aplicada foi elevado em consequência do solo extremamente seco, lençol freático em maior profundidade, baixo índice pluviométrico e elevadas perdas por percolação. O solo seco no entorno do experimento, e a alta relação entre o perímetro e a área do experimento elevaram as perdas de água por fluxo lateral em profundidade, que representou uma parcela importante do volume calculado perdido por percolação, valor que provavelmente foi superestimado. É provável que em condições de lavoura normal, essa perda seja significativamente menor. O solo seco contribuiu para o elevado volume de água aplicada, pois logo após o plantio foi necessário o uso da irrigação para garantir a germinação das sementes, emergência e desenvolvimento do arroz. O solo seco também dificultou o avanço da água de irrigação sobre o solo nos manejos alagado e saturado. No período seco, a solução do solo revelou menores teores de Ca, Mg e Mn, fato que pode estar relacionado ao elevado volume de água perdido por percolação, que contribuiu para a lixiviação de nutrientes. No tecido, deficiências de Ca e menor produção de MSPA foram observados. A severidade de brusone e mancha parda diminuíram nesse período, que reduziu o uso de fungicida para uma aplicação. Além do mais, o manejo alagado contribuiu para diminuir a severidade de

mancha parda na folha. A colheita durante o mês de dezembro não apresentou maiores dificuldades em relação a precipitação pluvial. Os percentuais de grãos inteiros foram afetados pelos manejos saturado e capacidade de campo, ao contrário do manejo alagado, que apresentou valor superior à 50%. Durante esse período, os tratos culturais no arroz, colheita e escoamento da produção serão facilitadas em função dos baixos índices de precipitação.

Técnicas de preparo do solo podem contribuir para reduzir perdas de água por percolação e fluxo lateral. Os solos dos campos naturais apresentam elevados teores de silte, que contribuem para obstruir os poros do solo após sucessivos preparos e cultivos, diminuindo a infiltração de água. O preparo do solo com água é muito utilizado no cultivo do arroz pré-germinado, que reduz a perda de água por percolação. O preparo do solo com água provoca a diminuição drástica do volume de macroporos, dessa forma aumenta a densidade do solo e diminui a condutividade hidráulica (STONE, 2005).

7 Sugestões de estudos futuros

Para otimizar a água proveniente da precipitação pluvial e avaliar o volume de água aplicada, a severidade de doenças, produtividade e o custo de produção, sugere-se realizar estudos em 3 épocas distintas, submetendo o arroz irrigado à diferentes manejos de água e técnicas de preparo do solo.

Na primeira época, com plantio previsto para o mês de outubro, as cultivares de arroz irrigado deverão ser submetidas à diferentes manejos de água, alternando os manejos entre os subperíodos vegetativo e reprodutivo. Além das cultivares de arroz irrigado, é importante avaliar cultivares de arroz de terras altas.

Na segunda época, com plantio do arroz previsto para o mês de janeiro e colheita para o mês de maio, as cultivares de arroz irrigado deverão ser submetidas à diferentes manejos de água, porém em área maior, que permita avaliar o uso de drenos para diminuir a umidade do solo no momento do plantio e da colheita, e elevar o nível do lençol freático no momento do alagamento. Previamente, é importante avaliar sistemas de semeadura do arroz nas condições locais para o mês de janeiro, devido à dificuldade de semeadura com semeadora-adubadora em solo de umidade elevada. É provável que nesse período, o plantio do arroz seja dificultado em função da elevada umidade do solo no mês de janeiro; o volume de água aplicada no arroz seja ainda menor em relação ao do estudo no período chuvoso, pois o lençol freático atinge a sua cota máxima nesse período; seja menor a dificuldade para a retirada da água da lavoura; seja menor o índice de precipitação durante a colheita; ocorra maior severidade de brusone e mancha parda na folha do arroz.

Na terceira época, com plantio previsto para o mês de maio, é quando diminui a precipitação pluvial, mas o lençol freático continua elevado. Nessa época, o aproveitamento da água do lençol freático próximo a superfície, diminui a necessidade de água para saturar o solo. O maior volume de água deverá ser usado para completar a saturação do solo, formar e manter a lâmina de água. Com a colheita prevista para o mês de agosto, sem a ocorrência de precipitação, a retirada da água da lavoura deverá ser facilitada. Para esse período, sugere-se avaliar o percentual de grãos inteiros em função do escalonamento da supressão da irrigação após a completa floração do arroz.

Nas 3 épocas de plantio, sugere-se efetuar o preparo do solo em dois momentos distintos, o primeiro no período chuvoso no ano anterior ao plantio, e o segundo preparo, no período seco, afim de diminuir as perdas de água por percolação.

Referências Bibliográficas

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/XO49OE/XO49OEOO.htm>>. Acesso em :09 nov. 2016.

ALLEN, R.G; PEREIRA L.S; RAES, D; SMITH, M. **Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. 2006. 299p. Disponível em: <<http://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>>.

BONMAN, J. M. Durable resistance to rice blast disease - environmental influences. **Euphytica**, Netherlands, v. 63, p. 115–123, 1992.

BORGES JR, MELLO, J.W.V.; RIBEIRO, A.C.; SOARES, P. C. Avaliação de critérios para calagem de arroz inundado em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 281–289, 1998.

BORIN, J. B. M. et al. Soil solution chemical attributes, rice response and water use efficiency under different flood irrigation management methods. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 9–17, 2016.

BOUMAN, B.A.M., TUONG, T. P. Field Water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice . **Water Manage**, v. 49, p. 11–30, 2001.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Projeto Radambrasil, folha SB. 20, Purus**. Rio de Janeiro. 561 p, 1978.

BRAUN, E.H.G.; RAMOS, J. R. . Estudo agroecológico dos campos Puciari-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). **Revista Brasileira de Geografia**, v. 21, p. 443–497, 1959.

CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M.R.; JÚNIOR, V.S.S.; FILHO, M.R.R.; ALMEIDA, M. C. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 3, p. 387–398, 2012.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; MARCHEZAN, E. Efeito de práticas sobre o rendimento de grãos e a qualidade industrial dos grãos em arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 27, n. 3, p. 375–379, 1997.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI/ IPH-UFRGS, 1986.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DO RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10^a. ed. Porto Alegre: 2004. 400 p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 19 jul. 2016.

CORDEIRO, ANTONIO CARLOS CENTENO; MEDEIROS, R. D. DE. **Cultivares de Arroz Irrigado Recomendadas para Roraima 1**. Boa Vista, RR. Embrapa, 2008.

CORDEIRO, ANTONIO CARLOS CENTENO; MEDEIROS, R. D. DE. Comunicado 50 Técnico. **Comunicado Técnico 50. Embrapa**, v. 1, p. 1–6, 2010a.

CORDEIRO, ANTONIO CARLOS CENTENO; MEDEIROS, R. D. DE. BRS Jaçanã e BRS Tropical : cultivares de arroz irrigado para os sistemas de produção de arroz em várzea de Roraima Introdução. **Agro@mbiente**, v. 4, n. 2, p. 67–73, 2010b.

CORDEIRO, A. C. C. **Características das cultivares de arroz irrigado indicadas para semeio na safra 2009/10 em Roraima**. Disponível em: <<<http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/arrozroraima.pdf>>>. Acesso em: 9 jun. 2015.

CORDEIRO, A. C. C. et al. Sistemas de cultivo e manejo de água na produção de diferentes genótipos de arroz em Várzea no estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 40, n. 3, p. 362–369, 2010.

CRUCIANI, Decio Eugenio. **A Drenagem na Agricultura**. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 1980. 337 p.

DAS, S. et al. Water management impacts on arsenic behavior and rhizosphere bacterial communities and activities in a rice agro-ecosystem. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 642–652, 2016.

DOBERMANN, Achim; FAIRHURST, Thomas. **Rice: nutrient disorders and**

nutrient management. 1. ed. Manila, The Philippines: 2000. 191 p.

EBERHARDT, D. S. Consumo de água em lavoura de arroz irrigado sob diversos métodos de preparo do solo. In: EMBRAPA-CPACT (Ed.). . **REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**, 20. 20. ed. Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1993. p. 173–176.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: 1999. 370 p.

FAGERIA, NAND KUMAR; SANTANA, EVALDO PACHECO; MORAIS, O. P. DE. Genótipos Arroz Em Níveis De Fertilidade.Pdf. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 30, n. 9, p. 1155–1161, 1995.

FAGERIA, N. . **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro, RJ : Campus; Goiânia, GO : EMBRAPA-CNPAF, 1989. 341 p.

FERREIRA, D. . **Sisvar** Lavras, 2007.

FERREIRA, P. A. **Curso de Engenharia de Irrigação: módulo drenagem** Brasília ABEAS, 1987.

FREITAS, A. R.; FERREIRA, R. P.; MOREIRA, A. Análise de dados de medidas repetidas por meio do modelo linear geral e do modelo misto. **Rev. Ci. Agra**, v. v.54, n.3, p. 214–244, 2011.

GOMES, A da S; PAULETTO, E. A; PETRINI, J. A.; SOUSA, R. O. Manejo da água em arroz irrigado: implicações e recomendações técnicas. In: GOMES, A. da S; PAULETTO, E. A. (Ed.). **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. 1°. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 163–201.

GRIFFITHS, R. I. et al. The bacterial biogeography of British soils. **Environmental Microbiology**, v. 13, n. 6, p. 1642–1654, 2011.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 4 nov. 2016.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE – IRRI. **Standard Evaluation**

System for Rice. Manila, The Philippines: 1996. 52 p.

JIA, R.; LI, L. N.; QU, D. pH shift-mediated dehydrogenation and hydrogen production are responsible for microbial iron(III) reduction in submerged paddy soils. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 5, p. 1178–1190, 2015.

LAN, Y.; KUNZE, O. R. Relative humidity effects on the development fissures in rice. **Cereal Chemistry**, v. 73 n 2, p. 222–224, 1996.

LAUBER, C. L. et al. Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 15, p. 5111–5120, 2009.

MADIGAN, MICHAEL T, MARTINKO, JOHN M, DUNLAP, PAUL V, CLARK, D. P. **Microbiologia de Brock**. Tradução: ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 1160 p.

MARTINI, Luiz Fernando Dias. **Transporte de agrotóxicos e uso de água em diferentes manejos de irrigação de arroz**. 2010. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia com concentração em Produção Vegetal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MARTINS, G. C.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, M. L. N. Campos Nativos e Matas adjacentes da Região de Humaitá (AM): Atributos diferenciais dos Solos. **Ciênc. Agrotec.**, v. 30, n. 2, p. 221–227, 2006.

MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. Physicochemical Properties and Quality of Rice Grains. **Science of the rice plant**, v. 2, p. 1063–1088, 1995.

MEDEIROS, R.D. DE; HOLANDA, J.S.; COSTA, M. . Manejo de água em arroz irrigado no estado de Roraima. **Lavoura Arrozeira**, v. 48, n. 420, p. 12–14, 1995.

MEURER, E. J., BISSANI, C. A., CARMONA, F. C. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Ed.). . **Fundamentos de química do solo**. 4ª. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 149-166.

MEZZOMO, Rafael Friguetto. **Irrigação contínua e intermitente em arroz irrigado: uso de água, eficiência agrônômica e dissipação de imazethapyr, imazapic e fipronil**. 2009. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia com concentração em Produção Vegetal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

OOSTERBAAN, R.J; NIJLAND, H. J. (1994) Determining the saturated hydraulic conductivity. Chapter 12 In: RITZEMA, H.P., (Ed). **Drainage Principles and Applications**. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), second rev ed. Wageningen, The Netherlands. 1994. p 435-475.

PONNAMPERUMA, F. N. The Chemistry of Submerged Soils. **Advances in Agronomy**, v. 24, n. C, p. 29–96, 1972.

PRABHU, A. S.; FILIPPI, M. C. C. De. Resistência da Cultivar no Manejo Integrado da Brusone. In: PRABHU, ANNE SITARAMA; FILIPPI, M. C. C. DE (Ed.). . **Brusone em arroz: controle genético, progresso e perspectivas**. 1ª. ed. Santo Antônio de Goiás: 2006. p. 323–379.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, , 2012. Disponível em: <<<http://www.R-project.org/>>. Acesso em 7 jul. 2010>

RADMANN, V. **Atributos químicos de solos cultivados com arroz na região sul do estado do Amazonas**. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia com concentração em Solos) Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

REUTER, D.J.; ROBINSON, J. B. **Plant analysis: an interpretation manual** Austrália 2º ed., 1997.

ROSOLEN, V. **Transformação de Uma Cobertura Laterítica por Hidromorfia: estudo de uma Topossequência da Amazônia Brasileira (Humaitá-AM)**. 2000. 201 p. Tese. Instituto de Geociências Universidade de São Paulo.

SANTOS, L. A. C. DOS; et al. Caracterização de solos em uma topossequência sob terraços aluviais na região do médio rio Madeira (AM). **Ambiência**, v. v.8 n.2, p. p 319–331, 2012.

SCHMIDT, F. et al. Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1226–1235, 2013.

SCIVITTARO, W. B., MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JR, .A.M. (Ed.). . **Arroz Irrigado no Sul do**

Brasil. 1°. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 259–303.

SHENG, R. et al. Bacterial succession in paddy soils derived from different parent materials. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 4, p. 982–992, 2015.

SILVA, L. S. DA; RANNO, S. K. Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**, v. 35, p. 1054–1061, 2005.

SILVA, L. S. Da., et al. Teores de macronutrientes em cultivares de arroz irrigado de acordo com a parte da planta analisada e do estadio de desenvolvimento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 4, p. 544–549, 2012.

SOARES, P. C.; CORNÉLIO, V. M. DE O.; SOARES, A. A.; RANGEL, P. H. N.; REIS, M. DE S. BRSMG Ouro Minas: Cultivar de Arroz para Cultivo Irrigado por Inundação Contínua. **Revista Ceres**, 49(281), 2002.

SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Santa Maria. 2014, 192 p.

SOUSA, D.M.G; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUSA, R. O. De; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. C. Solos Alagados (Reações de Redox). In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 4ª. ed. Porto Alegre: 2010. p. 171-194.

SOUSA, R. O.; BOHNEN, H.; MEURER, E. J. Composição da solução de um solo alagado conforme a profundidade e o tempo de alagamento, utilizando novo método de coleta. **Methodology**, n. 3, p. 343–348, 2002.

SOUSA, Rogério Oliveira de.; GOMES, Algenor da Silva.; VAHL, Ledemar Carlos. Toxidez por ferro em arroz irrigado. In: GOMES, Algenor da Silva.; MAGALHÃES Jr, Ariano Martins de. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF. 2004. p. 305-337.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA FILHO, A. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 323–337, 1990.

STONE, L. F. **Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás, GO. Documento 176. Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 48 p.

SUÁREZ, DARÍO FERNANDO PINEDA; ROMÁN, R. M. S. Consumo de água em arroz irrigado por inundação em sistema de multiplas entradas. **IRRIGA**, p. 78–95, 2016.

TANAKA, A; TADANO, T. El potassio en relacion con la toxicidad del hierro en El arroz. **Revista de la Potasa, Suíça**, v. 21, p. 1–12, 1972.

TEDESCO, M.J. GIANELLO, C.; BISSANI, C.A; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais: Boletim Técnico nº 5. 2º ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS. 1995. 174 p

TELÓ, Gustavo Mack; MARCHESAN, E. et al. Qualidade de grãos de arroz irrigado colhidos com diferentes graus de umidade em função de aplicação de fungicida. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 960–966, 2011.

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, n. 1, p. 49–57, 1997.

VAHL, L. C.; LOPES, S. I. Nutrição de plantas. In: PESKE, S.T.; NEDEL, J.L.; BARROS, A. C. S. A. (Ed.). **Produção de Arroz Irrigado**. Pelotas: 1998. p. 149–206.

VAHL, L. C.; SOUSA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JR, A. M. (Ed.). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: 2004. p. 97–118.

VAHL, L. C. **Disponibilidade de nutrientes para o arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul**. 1982. 140 p. Dissertação (Mestrado em solos). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1982.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P. C. T. C. DOS. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: ed. Agronômica Ceres. 1987 416 p.

WICKHAM, T. H.; SINGH, V. P. Water movement through wet soils. In: **IRRI. Soils**

and rice. Los Baños: 1978 p. 337–358.

YAFFEE, R. A. **Analysis of Variance with GLM and Mixed Models in SAS: Some class notes.** New York, 2004. 108 p.

Apêndices

Apêndice A - Resumo da análise de variância para os valores do Eh, pH e os teores médios de Fe, Mn e Zn em mg L⁻¹ de solução do solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento sob a cultivar de arroz BRS Pelota (capítulo 1).

Fonte de variação	GL	¹ Pr > F				
		Eh	pH	Mn	Fe	Zn
Calagem	1	<,001***	<,001***	0,24	0,002**	<,001***
Manejo de água	1	<,001***	0,008**	0,03*	<,001***	0,44
Coleta (tempo)	7	<,001***	<,001***	<,001***	<,001***	<,001***
Calag * Manejo	1	0,004**	0,33	0,04*	<,001***	0,94
Calag * Coleta	7	<,001***	<,001***	0,11	<,001***	<,001***
Manejo * Coleta	7	0,002**	<,001***	0,99	<,001***	0,51
Calag*Manejo*Coleta	7	0,032*	0,028*	0,26	<,001***	0,96
Interação*Adicional	7	-	-	-	-	-

¹Probabilidade “p” associada à estatística F. * significativo à 5%, ** significativo à 1%, ***significativo à 0,1%.

Apêndice B - Resumo da análise de variância para os teores médios de Ca, Mg, P e K da solução de um solo com e sem calagem durante o período de saturação e alagamento sob a cultivar de arroz BRS Pelota (capítulo 1).

Fonte de variação	GL	¹ Pr > F			
		Ca	Mg	P	K
Calagem	1	<,001***	<,001***	0,73	<,001***
Manejo de água	1	<,001***	<,001***	0,012*	0,30
Coleta (tempo)	7	<,001***	<,001***	<,001***	<,001***
Calag * Manejo	1	<,001***	<,001***	0,75	0,93
Calag * Coleta	7	<,001***	<,001***	0,009**	<,001***
Manejo * Coleta	7	<,001***	<,001***	0,31	0,017**
Calag*Manejo*Coleta	7	<,001***	<,001***	0,21	0,13
Interação*Adicional	7	-	-	-	-

¹Probabilidade “p” associada à estatística F. * significativo à 5%, ** significativo à 1%, ***significativo à 0,1%.

Apêndice C - Resumo da análise de variância para as variáveis número de perfilhos, número de folhas, folhas com sintomas de bronzeamento (%) e total de folhas com sintomas de toxidez por ferro (%) avaliados aos 45 DAM da cultivar de arroz BRS Pelota (capítulo 1).

Fonte de variação	GL	¹ F _c			
		Perfilhos	Folhas	Bronzeamento	Total de folhas com sintomas
Calagem	1	163,78*	464,76*	124,53*	599,46*
Manejo de água	1	21,74*	32,10*	100,09*	195,41*
Calag * Manejo	1	34,26*	9,52*	100,09*	211,83*
Inter. * Adicional	1	183,12*	205,58*	24,90*	242,86*
Erro	15	-	-	-	-
Total	19	-	-	-	-

¹F_c: F calculado; ²F_t: F tabelado = 4,54; ³Quando F_c > F_t, diferença significativa à 5% de probabilidade (*).

Apêndice D - Resumo da análise de variância para as variáveis massa seca da parte aérea aos 15 dias após o início do alagamento (MSPAD15) e massa seca da parte aérea (MSPA) em g vaso⁻¹, e teores de N, P, K, Ca e Mg em g kg⁻¹ de tecido do arroz da cultivar BRS Pelota (capítulo 1).

Fonte de variação	GL	¹ Fc						
		MSPA15	MSPA	N	P	K	Ca	Mg
Calagem	1	474,14*	1233,97*	38,74*	75,75*	60,66*	223,53*	656,01*
Manejo água	1	0,44	66,87*	12,15*	0,22	2,15	7,10*	39,06*
Calag*Manejo	1	1,27	56,85*	14,70*	8,69*	75,35*	2,22	32,65*
Inter*Adicional	1	221,28*	298,16*	59,92*	144,79*	311,94*	449,68*	118,92*
Erro	15	-	-	-	-	-	-	-
Total	19	-	-	-	-	-	-	-

¹Fc: F calculado; ²Ft: F tabelado = 4,54; ³Quando Fc > Ft, diferença significativa à 5% de probabilidade (*).

Apêndice E - Resumo da análise de variância para os teores de Fe, Mn, Cu e Zn em mg kg⁻¹ de tecido do arroz da cultivar BRS Pelota (capítulo 1).

Fonte de variação	GL	¹ Fc			
		⁴ Fe	Mn	Cu	⁴ Zn
Calagem	1	107,98*	205,85*	29,72*	212,73*
Manejo de água	1	66,84*	89,03*	0,12	0,76
Calag * Manejo	1	8,47*	8,84*	0,12	1,49
Inter. * Adicional	1	163,15*	104,50*	0,37	296,80*
Erro	15	-	-	-	-
Total	19	-	-	-	-

¹Fc: F calculado; ²Ft: F tabelado = 4,54; ³Quando Fc > Ft, diferença significativa à 5% de probabilidade (*). ⁴Análise de variância com os dados transformados por Log x.

Apêndice F - Resumo da análise de variância para os valores do Eh, pH e os teores médios de Mn, Fe, Ca e Mg em mg L⁻¹ de solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical medidos ao longo do tempo (capítulo 2).

Fonte de variação	GL	¹ Pr > F					
		Eh	pH	² Mn	² Fe	² Ca	² Mg
Bloco	3	0,16	0,07	0,10	0,20	0,24	0,02*
Manejo de água	1	0,004**	0,01*	0,02*	0,02*	0,06	0,008**
Resíduo (a)	3	-	-	-	-	-	-
Coleta (tempo)	8	<,001***	<,001***	<,001***	<,001***	<,001***	<,001***
Manejo * Coleta	8	0,004**	<,001***	0,04*	<,001***	0,002**	0,001**
Resíduo (b)	48	-	-	-	-	-	-
Total	71	-	-	-	-	-	-

¹Probabilidade “p” associada à estatística F. * significativo à 5%, ** significativo à 1%, ***significativo à 0,1%. ²Dados transformados para análise de variância por raiz quadrada para Mn, Fe, Ca e por Log para Mg.

Apêndice G - Resumo da análise de variância para os teores médios de P, K e Zn em mg L⁻¹ de solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical medidos ao longo do tempo (capítulo 2).

Fonte de variação	GL	¹ Pr > F		
		² P	² K	Zn
Bloco	3	0,32	0,29	0,73
Manejo de água	1	0,21	0,74	0,43
Resíduo (a)	3	-	-	-
Coleta (tempo)	8	<,001***	<,001***	0,003**
Manejo * Coleta	8	<,001***	0,43	0,008**
Resíduo (b)	48	-	-	-
Total	71	-	-	-

¹Probabilidade “p” associada à estatística F. * significativo à 5%, ** significativo à 1%, ***significativo à 0,1%. ²Dados transformados para análise de variância por raiz quadrada para P e por Log para K.

Apêndice H - Resumo da análise de variância para os valores médios de massa seca da parte aérea (MSPA) em g m^{-2} e dos teores de N, P, K, Ca e Mg em g kg^{-1} de tecido do arroz (capítulo 2).

Fonte de variação	GL	¹ p					
		MSPA	N	P	K	Ca	Mg
Bloco	3	0,41	0,85	0,15	0,12	0,002**	0,783
Manejo de água	2	0,001**	0,011*	0,001**	0,024*	0,985	<,001***
Resíduo	6	-	-	-	-	-	-
Cultivar	2	<,001***	<,001***	0,485	<,001***	<,001***	0,003**
Manejo*Cultivar	4	0,027*	0,061	0,894	0,071	0,003**	0,388
Resíduo	18	-	-	-	-	-	-
Total	35	-	-	-	-	-	-

¹Probabilidade “p” associada à estatística F calculada na ANOVA. * significativo à 5%, ** significativo à 1%, ***significativo à 0,1%.

Apêndice I - Resumo da análise de variância para os valores do Eh, pH e os teores médios de Mn, Fe, Ca e Mg em mg L⁻¹ de solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical medidos ao longo do tempo (capítulo 3).

Fonte de variação	GL	¹ Pr > F					
		Eh	pH	Mn	² Fe	² Ca	² Mg
Bloco	3	0,11	0,06	0,34	0,59	0,39	0,25
Manejo de água	1	0,005**	0,59	0,11	0,03*	0,88	0,09
Resíduo (a)	3	-	-	-	-	-	-
Coleta (tempo)	9	<,001***	<,001***	0,81	0,92	<,001***	0,002**
Manejo * Coleta	9	<,001***	0,10	0,28	0,02*	0,01*	0,007**
Resíduo (b)	54	-	-	-	-	-	-
Total	79	-	-	-	-	-	-

¹Probabilidade “p” associada à estatística F. * significativo à 5%, ** significativo à 1%, ***significativo à 0,1%. ²Dados transformados para análise de variância por Log para Fe e Ca, e por raiz quadrada para Mg.

Apêndice J - Resumo da análise de variância para os teores médios de P, K, Zn e Cu em mg L⁻¹ de solução do solo sob os manejos de água saturado (SAT) e alagado (ALA) na cultivar de arroz BRS Tropical medidos ao longo do tempo (capítulo 3).

Fonte de variação	GL	¹ Pr > F			
		P	K	Zn	Cu
Bloco	3	0,25	0,14	0,16	0,19
Manejo de água	1	0,01*	0,005**	0,10	0,14
Resíduo (a)	3	-	-	-	-
Coleta (tempo)	9	0,06	0,046*	<,001***	<,001***
Manejo * Coleta	9	0,81	0,19	0,61	0,07
Resíduo (b)	54	-	-	-	-
Total	79	-	-	-	-

¹Probabilidade “p” associada à estatística F. * significativo à 5%, ** significativo à 1%, ***significativo à 0,1%. ²Dados transformados para análise de variância por raiz quadrada para P e K.

Apêndice K - Resumo da análise de variância para a variável massa de mil grãos em g (capítulo 3).

Fonte de variação	GL	¹ p
		Massa de mil grãos
Bloco	3	0,348
Manejo de água	2	0,049*
Resíduo	6	-
Cultivar	3	<,001***
Manejo*Cultivar	6	0,003**
Resíduo	27	-
Total	47	-

¹Probabilidade “p” associada à estatística F calculada na ANOVA. * significativo à 5%, ** significativo à 1%, ***significativo à 0,1%.