

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ARROZ DE TERRAS ALTAS CONSORCIADO COM
ADUBOS VERDES: MODALIDADES DE CULTIVO E
ARRANJO DE PLANTAS**

Flávia Constantino Meirelles

Engenheira Agrônoma

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ARROZ DE TERRAS ALTAS CONSORCIADO COM
ADUBOS VERDES: MODALIDADES DE CULTIVO E
ARRANJO DE PLANTAS**

Flávia Constantino Meirelles

Orientador: Prof. Dr. Leandro Borges Lemos

Coorientador: Prof. Dr. Orivaldo Arf

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
a obtenção do título de Doutora em
Agronomia (Produção Vegetal)

2021

M514a

Meirelles, Flávia Constantino

Arroz de terras altas consorciado com adubos verdes: modalidades de cultivo e arranjo de plantas / Flávia Constantino Meirelles. -- Jaboticabal, 2021
163 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Leandro Borges Lemos
Coorientador: Orivaldo Arf

1. Agricultura sustentável. 2. Cultivo intercalado. 3. Plantas conservação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ARROZ DE TERRAS ALTAS CONSORCIADO COM ADUBOS VERDES:
MODALIDADES DE CULTIVO E ARRANJO DE PLANTAS

AUTORA: FLÁVIA CONSTANTINO MEIRELLES

ORIENTADOR: LEANDRO BORGES LEMOS

COORIENTADOR: ORIVALDO ARF

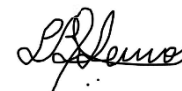
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LEANDRO BORGES LEMOS (Participação Virtual) 
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Produção Vegetal) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

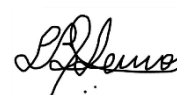
Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal



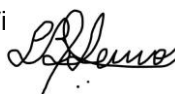
Pesquisador Dr. MABIO CHRISLEY LACERDA (Participação Virtual)
EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão / Santo Antônio de Goiás/GO



Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO PORTUGAL (Participação Virtual)
Pós-Doutorando - Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Prof. Dr. DENIZART BOLONHEZI (Participação Vi
APTA Centro Leste / IAC - Campinas/SP



Jaboticabal, 28 de junho de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FLÁVIA CONSTANTINO MEIRELLES – Filha de Gilberto Ulson Souza Meirelles Filho e Vânia Maria Visnadi Constantino Meirelles, nascida em 19 de maio de 1993, em Dracena – SP. Possui formação no curso de Engenharia Agrônômica (2016) pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Câmpus de Ilha Solteira. Durante a graduação desenvolveu projetos de pesquisa com manejo físico do solo, uso de adubos verdes e trabalhos fitotécnicos nas culturas de arroz, feijão, soja e milho, sendo bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) durante 33 meses. Em 2016, ingressou no mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Sistemas de Produção) na Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Câmpus de Ilha Solteira, sendo bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), desenvolvendo o projeto: Desempenho de cultivares de arroz de terras altas em diferentes épocas de semeadura, com conclusão em fevereiro de 2018. Em março de 2018, iniciou o curso de Doutorado na Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Câmpus de Jaboticabal, no programa de pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e posteriormente pelo CNPq.

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.

Madre Teresa de Calcutá

DEDICO

Aos meus pais Vânia e Gilberto pelo amor, incentivo, e apoio em mais essa etapa da minha vida. Aos meus avós Dalva e Agostinho pelo exemplo de honestidade, coragem e amor. E meus avós Janete e Gilberto (*in memoriam*) pelo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida, pela oportunidade que Ele me deu, por estar sempre ao meu lado me protegendo e me guiando.

Agradeço aos meus pais Gilberto e Vânia, e meu irmão Guilherme por sempre me incentivarem, apoiarem, por todo amor e carinho e por não medir esforços para que eu pudesse concluir mais essa etapa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leandro Borges Lemos pela orientação, conselhos e todo ensinamento compartilhado. Obrigada por ter aceito o desafio desse trabalho e pela sua dedicação como professor. Agradeço pela sua amizade e pelo seu exemplo.

Ao Prof. Dr. Orivaldo Arf pela coorientação, ensinamentos, auxílio nas etapas do projeto e pela amizade.

Ao Rubens Libório (Faro Fino) pela amizade e auxílio em todas as atividades.

Ao Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves e à Prof^a Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz pelo auxílio no desenvolvimento de análises.

Ao Alex Rangel Gonzaga pelo companheirismo, por sempre me incentivar, por acreditar nos meus sonhos, pelo auxílio e por tornar minha caminhada mais harmônica. À Ana Júlia pelo carinho e apoio.

Aos professores da Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), por todo ensinamento ministrado, e por sempre estarem dispostos a auxiliar com a formação de cada aluno e com a melhoria do ensino.

Aos professores da Wageningen University & Research, Wopke van der Werf e Lammert Bastiaans pela parceria e auxílio no desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos e companheiros de trabalho Adailza Guilherme Cavalcante, Vinícius Augusto Filla, Alex Rangel Gonzaga, Neuza Helena Carvalho de Oliveira, Stefany Souza, João Victor Trombeta Bettiol, Fábio Tiraboschi Leal, Rafael Roms e Anderson P. Coelho.

Aos amigos Nayara Garcia, Poliana Rosa, Fernando Buzo pela amizade e incentivo.

Aos membros da banca de qualificação Dr. José Roberto Portugal e Dr. Fábio Tiraboschi Leal. Aos membros da banca de defesa Dr. José Roberto

Portugal, Dr. Mabio Chrisley Lacerda, Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz, Dr. Denizart Bolonhezi.

Aos membros da Fazenda de Pesquisa, Ensino e Extensão (FEPE), em especial ao João, Marcelo (*in memoriam*) e Colovate, pela dedicação, auxílio e amizade.

Ao Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, ao Marcelo Rinaldi da Silva e toda a equipe do laboratório de nutrição de plantas da UNESP/FEIS pela colaboração e auxílio.

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – Processo: 142493/2018-0).

SUMÁRIO

RESUMO –	viii
ABSTRACT –	ix
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1.1 Introdução	1
1.2 Revisão de literatura	4
1.2.1 A cultura do arroz.....	4
1.2.2 Adubos verdes.....	6
1.2.3 Consórcio de cereais e adubos verdes.....	8
1.3 Referências.....	11
CAPÍTULO 2- Competição por luz no desempenho morfofisiológico do arroz de terras altas consorciado com adubos verdes em função de modalidades de cultivo e arranjo de plantas	17
3.1 Introdução	18
3.2 Material e métodos.....	20
3.3 Resultados e discussão	26
3.3.1 Desenvolvimento das plantas, distribuição da radiação fotossinteticamente ativa e perda de produtividade – Primeiro ano agrícola	26
3.3.2 Desenvolvimento das plantas, distribuição da radiação fotossinteticamente ativa e perda de produtividade – Segundo ano agrícola	42
3.4 Conclusões	58
3.5 Referências.....	59
CAPÍTULO 3 - Estado nutricional de arroz de terras altas consorciado com adubos verdes em diferentes modalidades de cultivo e arranjos de plantas	63
4.1 Introdução	64
4.2 Material e Métodos.....	66
4.3 Resultados e Discussão.....	72
4.3.1 Absorção de nutrientes – Primeiro ano agrícola	72
4.3.2 Absorção de nutrientes – Segundo ano agrícola	80
4.4 Conclusões	87
4.5 Referências.....	88

CAPÍTULO 4 - Modalidades de cultivo e arranjo de plantas de arroz de terras altas consorciado com adubos verdes: desempenho agrônômico e qualitativo	91
2.1 Introdução	92
2.2 Material e métodos.....	94
2.3 Resultados e discussão	101
2.3.1 Componentes de produção, produtividade de grãos e massa seca total – Primeiro ano agrícola.....	101
2.3.2 Componentes de produção, produtividade de grãos e massa seca total – Segundo ano agrícola.....	107
2.3.3 Qualidade de grãos – Primeiro ano agrícola.....	112
2.3.4 Qualidade de grãos – Segundo ano agrícola.....	114
2.4 Conclusões	117
2.5 Referências	117
CAPÍTULO 5 – Considerações finais.....	123
APÊNDICE.....	125

ARROZ DE TERRAS ALTAS CONSORCIADO COM ADUBOS VERDES: MODALIDADES DE CULTIVO E ARRANJO DE PLANTAS

RESUMO – O consórcio entre espécies comerciais produtoras de grãos com adubos verdes tem-se destacado como um sistema de produção vantajoso em razão da possibilidade de renda e a melhoria do ambiente solo. No entanto, a inserção do arroz nesse sistema de produção é extremamente difícil, devido à falta de sincronismo no crescimento entre as espécies, podendo ocorrer competição por água, luz e nutrientes, levando a perdas na produtividade de grãos. O objetivo do trabalho foi verificar a possibilidade de consorciação do arroz de terras altas com adubos verdes, por meio de diferentes modalidades de cultivo e arranjo de plantas, visando avaliar o desempenho agrônômico e as características qualitativas dos grãos de arroz, atributos morfofisiológicos e o estado nutricional das plantas. Foram conduzidos dois experimentos no município de Jaboticabal-SP, Brasil, em Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa, no período de primavera-verão em área com irrigação por aspersão convencional. O primeiro experimento foi composto por sistemas de cultivo de arroz exclusivo e consorciado com adubos verdes (amendoim forrageiro, calopogônio, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, estilosantes, feijão de porco e guandu anão) e por modalidades de cultivo (arroz com adubos verdes com semeadura simultânea na entrelinha e arroz com adubos verdes com semeadura aos 25 dias após a emergência -DAE- do cereal na entrelinha). O segundo experimento foi constituído pelos mesmos sistemas de cultivo de arroz exclusivo e consorciado com adubos verdes do primeiro experimento e por arranjo de plantas de arroz (arroz semeado em fileiras simples e em fileiras duplas). Para ambos os experimentos o delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. A cultivar de arroz utilizada foi a BRS Esmeralda semeada no espaçamento de 0,45 m. Dentre as principais conclusões destaca-se que a semeadura aos 25 DAE permite melhor desenvolvimento do arroz, com menor interferência na radiação solar interceptada pelo cereal, em relação à semeadura simultânea, refletindo em produtividade. O arranjo de plantas em fileiras duplas reduz a competitividade pela radiação solar dos adubos verdes sobre o arroz, permitindo melhores produtividades do cereal em relação a fileiras simples. As espécies amendoim forrageiro e estilosantes, devido à menor altura, exercem menor interferência na produtividade de grãos de arroz independente da modalidade de cultivo. As espécies calopogônio, *C. breviflora* e estilosantes, pelo menor porte, possuem menor competição por luz, apresentando menor interferência na produtividade de arroz independente do arranjo de plantas. Quanto a qualidade dos grãos de arroz, houve influência da interação entre os consórcios e as modalidades de cultivo. Os sistemas de consórcio em semeadura simultânea ou aos 25 DAE, bem como o arranjo de plantas em fileiras simples e duplas permitiram adequada absorção de nutrientes pelo arroz de terras altas.

Palavras-chave: *Oryza sativa* (L.), plantas de cobertura, policultivo, competição interespecífica, sistema plantio direto, agricultura conservacionista

UPLAND RICE INTERCROPPED WITH GREEN MANURES: CULTIVATION MODALITIES AND PLANT ARRANGEMENT

ABSTRACT – The intercropping between cash crop species and green manures, has stood out as an advantageous production system due to the possibility of income and the improvement of the soil environment. However, the insertion of rice in this production system is extremely difficult, due to the lack of growth synchronism between species, and competition for water, light and nutrients may occur, leading to losses in grain yield, reason why in the world there is no technical recommendation for the intercropping of this cereal with green manures. The objective of this work was to verify the possibility of intercropping upland rice with green manures, through different cultivation modalities and plant arrangement, in order to evaluate the agronomic performance and qualitative characteristics of rice grains, morphophysiological attributes and the nutrition state of plants. Two experiments carried out in the municipality of Jaboticabal-SP, Brazil, in a Latossolo Vermelho eutrófico (Oxisol), with clay texture, in the spring-summer period in an area with conventional sprinkler irrigation. The first experiment consisted of sole rice cultivation systems and intercropped with green manures (forage peanut, calopo, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, stylo, jack bean and dwarf pigeon pea) and by cultivation modalities (rice with green manure with simultaneous sowing between the lines and rice with green manures with sowing at 25 days after the cereal emergence -DAE- between the lines). The second experiment consisted of the same cultivation systems of sole rice and intercropped with green manures from the first experiment and arrangement of rice plants (rice sown in single and double rows). For both experiments, the experimental design was in randomized blocks, in factorial scheme, with four replications. The rice cultivar used was BRS Esmeralda sown at a spacing of 0.45 m. Among the main conclusions, stands out that sowing at 25 DAE allows better rice development, with lower interference in the solar radiation intercepted by the cereal than simultaneous sowing, reflecting on grain yield. The arrangement of plants in double rows reduces the competitiveness of green manures for solar radiation on rice, allowing better cereal yields compared to alternate rows. The forage peanut and stylo species, due to their lower height, exert less interference on rice grain yield regardless of the cultivation modality. The calopo, *C. breviflora* and stylo species, due to their smaller size, have less competition for light, presenting less interference in rice yield regardless of the plant arrangement. As for the grain quality, there was an influence of the interaction between the intercropped species and the cultivation modalities. The systems of intercropping in simultaneous sowing or at 25 DAE, as well as the plant arrangement in alternate and double rows allowed adequate absorption of nutrients by upland rice.

Keywords: *Oryza sativa* (L.), cover crops, polyculture, interspecific competition, no-tillage system, conservation agriculture

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 Introdução

O cultivo de plantas consorciadas é um sistema conservacionista que permite a produção de duas ou mais espécies em um mesmo espaço, coexistindo durante um período ou todo seu ciclo. Esse sistema otimiza o aproveitamento de recursos como água, luz, nutrientes e energia, aumentando a taxa de uso do solo, diversificando o sistema de cultivo (Raza et al., 2019; Crusciol et al., 2020).

As espécies inseridas nesse sistema podem estar associadas ao objetivo de produtividade de grãos para incremento de renda (comercial) ou para benefícios no solo, como o uso de adubos verdes ou plantas de cobertura. A combinação entre cultura comercial e adubos verdes tem sido adotada por permitir aliar produção de grãos e massa seca (Arf et al., 2018a).

Dentre as opções de consórcio, os cereais e adubos verdes destacam-se pelas vantagens de apresentarem sistema radicular complementar, possuindo crescimento em diferentes profundidades do solo, além de terem necessidades nutricionais distintas (Bybee-Finley e Ryan et al., 2018). Somado a isso, essas espécies contribuem para a facilitação na absorção de nutrientes, através de exsudados que podem alterar as condições da rizosfera, bem como a microbiota do solo (Duchene et al., 2017). O consórcio dessas espécies também possibilita o compartilhamento de nutrientes (como o nitrogênio) e favorecimento do crescimento radicular (Li et al., 2006).

O sistema consorciado contribui para outro sistema conservacionista, o plantio direto (SPD), colaborando para o incremento de produção de massa seca para cobertura do solo. Além disso, a combinação de cereais e adubos verdes permite a obtenção de massa seca residual com relação C/N intermediária, que em condições de Cerrado é favorável, pois devido a altas temperaturas a massa seca com baixa relação C/N decompõe-se rapidamente, deixando o solo exposto a processo erosivos (Portugal et al., 2020). O consórcio de plantas também pode ser uma alternativa para a rotação de culturas no SPD, contribuindo para redução de pragas, doenças e plantas daninhas.

O arroz é um cereal de extrema importância na alimentação humana, sendo alimento básico para 84% da população brasileira (Carvalho et al. 2020) e indicado como potencial para reduzir a fome mundial. O cultivo de arroz ocorre na primavera-verão em dois grandes ecossistemas, que são o de várzeas e o de terras altas, sendo este em sequeiro ou com irrigação suplementar por aspersão (Fornasieri Filho e Fornasieri 2006). O arroz de terras altas tem contribuído para a sustentabilidade dos sistemas de produção pela importância alimentar desse cereal, diminuição no uso de água, menor emissão de metano comparado ao irrigado por inundação e diversificação de cultivo (Carvalho et al. 2020).

No Brasil, de forma geral o arroz de terras altas é consorciado com culturas de primeira necessidade na alimentação humana como feijão, mandioca, milho e café, apenas em pequenas áreas, porém com baixa frequência.

O arroz também é consorciado com forrageiras, principalmente *Urochloa decumbens* e *U. brizantha*, visando a redução de custos, parcial ou totalmente, na recuperação/renovação de pastagens degradadas (Fornasieri Filho e Fornasieri 2006; Crusciol et al., 2020). No entanto, a inserção do arroz nesse sistema de produção é extremamente difícil, devido à falta de sincronismo no crescimento entre as espécies, ocorrendo competição por água, luz e nutrientes, levando a perdas na produtividade de grãos (Ramalho et al., 2005; Saito et al., 2006), razão pela qual no mundo há pouca informação técnica de consórcio do cereal com adubos verdes.

A competição interespecífica dependerá das espécies de adubos verdes a serem consorciadas com o arroz. Assim, plantas com desenvolvimento inicial rápido e porte alto podem ocasionar sombreamento na espécie consorciada e consequentemente prejudicar a interceptação de luz pelas plantas (Gou et al., 2017). Além disso, a competitividade entre arroz e adubos verdes pode prejudicar a absorção de nutrientes pelas plantas, que levará a danos na produtividade de grãos (Zhang e Li, 2003), sendo necessário, em alguns casos de consorciação, a adequação do manejo de adubação para suprir as necessidades das culturas (Gou et al., 2018).

Assim, a diminuição no tempo de coexistência das espécies pode reduzir a competição temporal. A semeadura simultânea de cereais e adubos verdes pode intensificar a necessidade de uso dos recursos pelas plantas em um

mesmo período, enquanto a semeadura de uma espécie anteriormente à outra pode beneficiar a primeira e garantir um sincronismo no desenvolvimento das espécies, gerando equilíbrio entre produtividade de grãos e massa seca (Akanvou et al., 2001).

A competição espacial pelas espécies consorciadas também pode ser um fator chave para o sucesso do sistema. A modificação no arranjo de plantas permite que determinada espécie seja beneficiada na utilização dos recursos (água, luz e nutrientes). O consórcio das espécies em fileiras simples, onde há uma fileira de cada espécie alternadamente, pode favorecer o sombreamento e a competição por nutrientes (Raza et al., 2019). Quando as plantas são dispostas em fileiras duplas, uma fileira de determinada espécie (adubos verdes) a cada duas fileiras de outra (cultura comercial), a competição pode ser minimizada, permitindo maior incidência de luz e absorção de nutrientes pelas plantas em fileiras duplas, por outro lado a produtividade de massa seca pode ser prejudicada.

A compreensão das perspectivas do sistema de cultivo consorciado de arroz e adubos verdes permite adequar as espécies ideais para serem inseridas nesse sistema, a época de semeadura e o arranjo de plantas, bem como auxiliar no manejo das espécies como a alteração na adubação do sistema.

O objetivo do trabalho foi verificar a possibilidade de consorciação do arroz de terras altas com adubos verdes, por meio de diferentes modalidades de cultivo e arranjo de plantas, visando verificar o desempenho morfofisiológico, as características agronômicas, o estado nutricional das plantas e os atributos qualitativos dos grãos.

1.2 Revisão de literatura

1.2.1 A cultura do arroz

O arroz possui grande importância na alimentação humana, sendo um dos alimentos básicos para mais da metade da população mundial (Muthayya et al., 2014). Este cereal fornece 20% de energia dietética mundial, além de proteína e vitaminas. Mundialmente são produzidos 479 milhões de toneladas (t) de arroz polido, com destaque para a China, Índia e Indonésia que são os três maiores produtores de arroz. O Brasil é o 11º maior produtor, contribuindo com uma produção anual de 7.820.000 t de arroz polido. A China possui o maior consumo de arroz, aproximadamente 142 milhões de t ano⁻¹, enquanto a população brasileira consome 7.950.000 t ano⁻¹, portanto, no Brasil, o consumo é maior que a produção (Irri, 2021). Segundo Souza et al. (2013) entre os alimentos mais consumidos pelos brasileiros, destaca-se o arroz.

No Brasil, a área total de produção de arroz foi 1.705,7 mil ha, com uma produção de 10.967,5 mil t de arroz em casca, sendo a região Sul responsável por contribuir com 82% dessa produção na safra 2020/21, com predomínio do sistema de produção irrigado por inundação. O arroz de terras altas, no qual a água fornecida para a cultura provém apenas da precipitação, representa 22% da área cultivada com arroz e com aproximadamente 8,3% do total da produção. Porém, a produtividade do arroz de terras altas está aquém da esperada, enquanto no sistema irrigado a produtividade é de 7.570 kg ha⁻¹, a do arroz de sequeiro é de 2.415 kg ha⁻¹ (Conab, 2021). Vários fatores interferem na produtividade do arroz de terras altas, entre eles a disponibilidade hídrica, que é reduzida com a ocorrência de veranicos em várias regiões brasileiras.

A utilização de irrigação complementar por aspersão torna-se uma opção viável à produção de arroz de terras altas (Vories et al., 2013), proporcionando mais estabilidade à produção, permitindo maior investimento na cultura pelo produtor. Além disso, a irrigação por aspersão torna o sistema de cultivo mais sustentável em relação ao cultivo inundado por demandar menor quantidade de água (López-Piñeiro et al., 2016). Sistemas de produção de arroz irrigado por aspersão podem proporcionar uma produtividade elevada, como observado por Vories et al. (2017) com 8.000 kg ha⁻¹ de arroz quando irrigado por pivô, nos Estados Unidos.

O arroz de terras altas foi bastante utilizado na década de 1970 e 1980 em áreas de abertura do Cerrado para a produção de alimentos. A escolha do arroz nessa ocasião foi devido à sua rusticidade, tolerância à acidez, e posteriormente nessas áreas inseria-se pastagens e outras culturas como soja e milho (Fornasieri Filho e Fornasieri, 2006).

Na região de Cerrado, o arroz também é utilizado no sistema consorciado com forrageiras para implantação ou renovação de pastagens, sistema conhecido como “barreirão” (Oliveira et al., 1996). Atualmente, esse sistema é utilizado, e atrelando o conhecimento e tecnologia, bem como adequação no fornecimento de nutrientes para esse sistema, tem-se observado que apesar da redução na produtividade de grãos de arroz (11%), há incrementos na produtividade de massa seca pela forrageira para manutenção da cobertura do solo (Crusciol et al., 2020). Pode-se destacar benefícios como maior uso do solo por área e a forrageira pode servir de alimento para gado, sendo vantajoso economicamente e ambientalmente em relação ao monocultivo de arroz (Crusciol et al., 2020).

O arroz de terras altas também tem sido inserido no SPD (Lacerda e Nacente, 2018; Portugal et al., 2020). No SPD, o arroz é uma alternativa para a rotação de culturas, principalmente no Cerrado, onde predomina a sucessão soja/milho. Para contribuir ainda mais com o SPD, o arroz pode ser consorciado com adubos verdes, promovendo maior produção de massa seca, além dos inúmeros benefícios proporcionados por essas plantas no solo. Além disso, contribui para a diversidade de cultivo.

Quando o arroz é inserido em sistemas de produção consorciado, vários fatores devem ser levados em conta para a adequação no cultivo. Dentre eles, pode-se citar a escolha da cultivar. A cultivar de arroz de terras altas BRS Esmeralda possui porte intermediário. É caracterizada por possuir folhas pouco mais decumbentes e maior altura que as cultivares modernas, variáveis importantes para competição do arroz com outras espécies consorciadas. Além disso, em comparação às cultivares tradicionais, apresenta folhas menos decumbentes, permitindo maior eficiência no uso da radiação. Também se caracteriza por um desenvolvimento inicial e fechamento entrelinhas rápido (Castro et al., 2014), reduzindo a competição e a dominância dos adubos verdes consorciados. O potencial produtivo dessa cultivar é 7.525 kg ha⁻¹, altura das

plantas variando de 95 a 108 cm, ciclo até o florescimento de cerca de 77 dias e até a maturação podendo variar de 105 a 110 dias, além de apresentar grãos longo/fino, característica importante para comercialização do cereal. Essa cultivar se destaca pela resistência ao acamamento, persistência da coloração verde das folhas na fase de maturação de grãos (“stay green”), bem como tolerância à seca e resistência moderada a brusone (Castro et al., 2014).

1.2.2 Adubos verdes

O uso de adubos verdes tem aumentado na agricultura, como consequência da adoção de sistemas de produção mais sustentáveis. Os adubos verdes tornaram-se fundamentais por proporcionar melhorias na qualidade física, química e biológica do solo, além de produzir quantidade de massa suficiente para manter o solo coberto, promovendo proteção ao solo e restaurando a capacidade produtiva de diferentes culturas (Calegari, 2014).

Algumas espécies de adubos verdes são denominadas melhoradoras do solo pelos benefícios proporcionados. O uso dessas plantas contribui para a redução de processos erosivos (Baets et al., 2011), além disso permite melhorias na física do solo, como redução da resistência à penetração, podendo aumentar a estabilidade estrutural do solo, aumentando a infiltração de água no solo, bem como maior estoque de carbono (Alvarez et al., 2017) e melhor estabilidade de agregados do solo (Cima et al., 2016). Assim, o cultivo dessas plantas tornou-se interessante também no sistema de cultivo irrigado (García-González et al., 2018). Entretanto, as mudanças nas características físicas do solo ocorrem a longo prazo (Reichert et al., 2016).

Segundo Cima et al. (2016) a microbiota do solo pode ser alterada com a adoção do cultivo de plantas de adubos verdes, os autores avaliaram cinco anos de rotação de culturas, observando aumento da atividade da hidrólise de diacetado de fluoresceína, ou seja, maior atividade microbiana no solo, no cultivo com plantas de coberturas de inverno em relação ao cultivo sem adubos verdes. McDaniel e Grandy (2016) constataram modificação na microbiota do solo em diferentes sistemas de cultivo, sendo que o carbono da biomassa microbiana do solo foi superior no tratamento com rotação de culturas de milho-soja-trigo com cultura de cobertura de trevo vermelho em comparação ao monocultivo de milho

e à sucessão milho-soja, afirmando que a diversidade de cultivo promove benefícios na microbiota do solo.

Os benefícios do cultivo de adubos verdes estendem-se para a química do solo, promovendo a ciclagem de nutrientes de acordo com a espécie utilizada. Tiecher et al. (2017) verificaram incrementos na quantidade de P e K no solo, devido aos adubos verdes utilizados (trigo, rabanete, ervilhaca, tremoço e aveia) reduzirem as perdas desses nutrientes em comparação ao pousio. Além disso, o tremoço permitiu maior ciclagem de P pela sua capacidade de absorver formas de P menos lábeis no solo. O cultivo de adubos verdes pode, também, proporcionar incrementos no estoque de C e N no solo (Carvalho et al., 2014).

Os adubos verdes, da família Fabaceae, em associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, possuem a capacidade realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Furlan et al., 2017). Essa associação permite a quebra da tripla ligação do N_2 , pelas bactérias por meio da enzima dinitrogenase, transformando o N_2 na forma de NH_3 , no qual são incorporados íons H^+ , resultando em NH_4^+ (Hungria et al., 2001).

Várias espécies de adubos verdes são utilizadas pelos inúmeros benefícios proporcionados ao sistema. O cultivo de adubos verdes se dá tanto no outono-inverno como na primavera-verão. Dentre as espécies de primavera-verão destacam-se as da família Fabaceae pela capacidade de FBN.

A escolha das espécies de adubos verdes depende de diversos fatores como: histórico da área, adaptação das plantas ao clima e solo da região, custo financeiro, disponibilidade de sementes no mercado, produtividade de massa seca e o sistema de produção utilizado (Wutke et al., 2014).

Em sistemas de cultivo que os adubos verdes são consorciados com cereais, deve-se atentar às condições de hábito de crescimento, altura de plantas, tempo até o florescimento e produtividade de massa seca, verificando a compatibilidade dessas características nos adubos verdes com o cereal a ser consorciado.

As espécies amendoim forrageiro, calopogônio e estilosantes apresentam porte baixo, enquanto as espécies *Crotalaria breviflora* e feijão de porco possuem porte intermediário. As espécies *C. spectabilis* e guandu anão apresentam porte alto (Tabela 1).

Tabela 1. Características de espécies de adubos verdes.

Espécie	Hábito	Altura	Florescimento	Massa seca
	-	cm	dias	kg ha ⁻¹
Amendoim forrageiro	rasteiro	0,3-0,4	28-35	1-5
Calopogônio	rasteiro	0,4-0,8	120	4-5
<i>Crotalaria breviflora</i>	arbustivo	0,8-1,0	100	3-5
<i>Crotalaria spectabilis</i>	arbustivo	1,2-1,5	90-100	4-6
Estilosantes	herbácea	0,6-0,8	180	5-7
Feijão de porco	herbácea	0,8-1,2	80-90	5-8
Guandu anão	arbustivo	1,0-1,5	90-120	4-7

Fonte: adaptado de Lima Filho et al. (2014)

1.2.3 Consórcio de cereais e adubos verdes

O consórcio de cereais e adubos verdes é utilizado mundialmente. A combinação dessas espécies em consórcio é vantajosa pois são plantas que apresentam complementariedade no sistema radicular. As raízes atingem diferentes profundidades durante seu crescimento e são distintos. Além disso, pode favorecer a facilitação, em que ocorre o compartilhamento de algum nutriente limitante para a outra espécie, ou até mesmo proporciona condições favoráveis para a espécie em consórcio (Bybee-Finley e Ryan, 2018).

Outro fator positivo no consórcio de cereais e adubos verdes é a diferença na exigência nutricional. Esse sistema de consórcio também permite maior diversificação da microbiota do solo, promovendo maior efetividade na absorção de nutrientes e reduzindo o efeito de patógenos. Os adubos verdes podem proporcionar o compartilhamento de nutrientes como o N (Chu et al., 2004).

A simbiose entre os adubos verdes e bactérias do gênero *Rhizobium* permite a FBN que pode ser, em parte, transferido para o cereal. Chen et al. (2018) verificaram que a utilização do consórcio de milho com amendoim possibilita reduzir de 20 a 30% a aplicação de fertilizante nitrogenado, sem que haja redução na produtividade das culturas quando comparado à aplicação de 100% do fertilizante nitrogenado.

Chu et al. (2004) avaliando arroz em cultivo aeróbico consorciado com amendoim constataram que houve incremento na massa de espiguetas, na massa de cem grãos do arroz, no teor de N foliar e no índice SPAD em relação ao monocultivo de arroz, já para o amendoim não houve diferença no consórcio e no monocultivo. Além disso, a quantidade de N transferido do amendoim para

o arroz variou de acordo com a dose de N utilizada (15, 75 e 150 kg ha⁻¹ de N), sendo que na menor dose utilizada houve maior transferência de N (16,3 mg planta⁻¹).

A massa seca resultante do consórcio de cereais e adubos verdes contribui para o SPD no Cerrado. A relação C/N da massa seca resultante do cultivo de adubos verdes interfere na taxa de decomposição e liberação de nutrientes, sendo que as leguminosas possuem baixa relação C/N, com rápida decomposição, ocorrendo uma liberação de nutrientes, principalmente o N, porém devido a essa rápida decomposição o solo fica coberto por menos tempo, principalmente em regiões quentes (Aita et al., 2014).

As gramíneas por possuírem maior relação C/N cobrem o solo por maior período, demoram mais para serem decompostas e inicialmente imobilizam nutrientes, pois a quantidade de N liberado no início da decomposição é baixa, não fornecendo condições ideais para os microrganismos decompositores (Teixeira et al., 2009).

No consórcio de cereal e adubos verdes, a relação C/N da massa seca é intermediária, com decomposição e liberação de nutrientes para a cultura subsequente mais rápida em relação ao monocultivo do cereal e mais lenta que o monocultivo do adubo verde. Arf et al. (2018b) verificaram que a massa seca resultante do consórcio de milho com guandu e feijão de porco apresentou relação C/N inferior ao cultivo de milho exclusivo em condições de Cerrado.

Calvos et al. (2010) verificaram que os consórcios de guandu-anão com milheto ou sorgo promoveram maior acúmulo de N na palhada em relação ao monocultivo das espécies vegetais e ao consórcio do sorgo com o milheto, bem como relação C/N superior ao monocultivo de guandu-anão e maior produção de fitomassa em comparação ao monocultivo de guandu-anão e milheto.

No Brasil, o consórcio de milho (*Zea mays* L.) com adubos verdes, como *Urochloa ruziziensis* (Arf et al., 2018) no sistema “Santa Fé” (Kluthcouski et al., 2000), ou *Crotalaria spectabilis* (Souza et al., 2019) no sistema “Santa Brígida” (Oliveira et al., 2010), é utilizado para a produção de grãos, bem como a formação de palhada para o SPD. Quando utilizada a forrageira, também pode contribuir para a criação de bovinos pelo fornecimento da pastagem, já quando consorciado com a leguminosa, além do fornecimento de N para a cultura em

sucessão, auxilia na redução de populações de nematoides (Arf et al., 2018; Souza et al., 2019).

O arroz também é utilizado em consórcio com forrageiras para a renovação/reforma de pastagens, conhecido como sistema “barreirão” (Oliveira et al., 1996). Apesar dos benefícios que o consórcio pode proporcionar à cultura do arroz, a inserção de adubos verdes pode interferir no seu desenvolvimento, podendo ocorrer competição por água, luz e nutrientes.

A planta de arroz apresenta desenvolvimento inicial lento até os 30-40 dias após a emergência (Ramalho et al., 2005), e por ser uma planta de metabolismo C3 também possui menor eficiência de conversão energética em biomassa em relação às plantas de metabolismo C4 (Taiz et al., 2017).

Assim, a semeadura simultânea de arroz e adubos verdes pode prejudicar o desenvolvimento do cereal devido à competição interespecífica. Para amenizar a competição, os adubos verdes podem ser semeados em cobertura, quando o arroz já tiver atingido um certo estágio de desenvolvimento. Akanvou et al. (2001) em estudo de arroz consorciado com estilosantes e guandu, observaram que a semeadura dos adubos verdes realizada a partir dos 28 dias após a semeadura do arroz reduziu a competitividade entre as plantas e as perdas na produtividade, sendo essa redução ainda mais acentuada quando a semeadura dos adubos verdes foi feita aos 56 dias após a semeadura do arroz.

Sendo assim, é necessário avaliar a época de semeadura dos adubos verdes quando consorciados com arroz, para que haja complementariedade temporal no uso de recursos (água, luz e nutrientes) e o mínimo de interferência na produtividade da cultura (Bybee-Finley e Ryan, 2018).

A complementariedade espacial no uso de recursos também pode afetar o desenvolvimento e produtividade de arroz em consórcio com adubos verdes. Dessa forma, a adequação no arranjo de plantas pode otimizar esse sistema de produção. O arranjo de plantas consorciadas em fileiras simples pode resultar em maior competição interespecífica.

Raza et al (2019) observaram em consórcio de milho com soja, que o arranjo de plantas em fileiras duplas permitiu maior acúmulo de N, P e K nas plantas de soja e maior produtividade de grãos de soja em comparação a fileiras simples. Assim, a semeadura de uma fileira de adubo verde a cada duas fileiras

de arroz (fileiras duplas) pode contribuir para redução na competitividade interespecífica do arroz e adubos verdes.

Destaca-se que no mundo não há uma recomendação técnica de consórcio de arroz de terras altas com adubos verdes da família Fabaceae. Diante do exposto, observa-se a importância do sistema de cultivo de arroz consorciado com adubos verdes, principalmente na região do Cerrado, onde há intensa produção de alimentos. Além disso, é importante selecionar as espécies de adubos verdes mais adequadas para esse sistema, a época de semeadura e o arranjo de plantas.

A compreensão dos efeitos desse consórcio no desenvolvimento e produtividade de arroz, na produtividade de massa seca e relação C/N para o SPD, bem como na competição por luz e na absorção de nutrientes pelas plantas consorciadas permite realizar adequações ao sistema e ao manejo do fornecimento de nutrientes.

1.3 Referências

Aita C, Giacomini SJ, Ceretta CA (2014) Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD, (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: EMBRAPA; v.1, p.225-264.

Akanvou R, Kropff MJ, Bastiaans L, Becker M (2002) Evaluating the use of two contrasting legume species as relay intercrop in upland rice cropping systems. **Field Crops Research** 74:23-36.

Alvarez R, Steinbach HS, Paepe JL (2017) Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. **Soil & Tillage Research**, v. 170, n. 1, p. 53–65, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.03.005>

Arf O, Meirelles FC, Portugal JR, Buzetti S, de Sá ME, Rodrigues RAF (2018a) Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** 17:431-444.

Arf O, Portugal JR, Buzetti S, Rodrigues RAF, Sá ME (2018b) Crop rotation, green manure and nitrogen fertilizers in upland rice under no-tillage. **Pesquisa**

Agropecuária Tropical 48:153-162. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v4851446>

Baets S de, Poesen J, Meersmans J, Serlet L (2011) Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. **Catena** 85:237–244. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.009>

Bybee-Finley KA, Ryan MR (2018) Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. **Agriculture** 80:1-24. <https://doi.org/10.3390/agriculture8060080>

Calegari A (2014) Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: EMBRAPA 1:19-36.

Calvos CL, Foloni JSS, Brancalhão SR (2010) Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia** 69:77-86.

Carvalho AM, Marchão RL, Souza KW, Bustamante MC (2014) Fertilidade do solo, estoques de carbono e nitrogênio sob plantas de cobertura e sistemas de manejo. **Revista Ciência Agronômica** 45:914-921.

Carvalho MTM, Castro AP, Ferreira, CM, Lacerda, MC, Lanna, AC, Silva-Lobo VL, Silva MAS, Colombari Filho JM (2020) O arroz de terras altas como estratégia para segurança alimentar, intensificação ecológica e adaptação à mudança do clima: rumo aos objetivos de desenvolvimento sustentável para o milênio. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 15 p.

Castro AP, Moraes OP, Breseghello F, Lobo VLS, Guimarães CM, Bassinello PZ, Colombari Filho JM, Santiago CM, Furtini IV, Torga PP, Utumi MM, et al. (2014). BRS Esmeralda: cultivar de arroz de terras altas com elevada produtividade e maior tolerância à seca. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 4 p.

Chen J, Arafat Y, Wu L, Xiao Z, Li Q, Khan MA, Khan UM, Lin S, Lin W (2018) Shifts in soil microbial community, soil enzymes and crop yield under peanut/maize intercropping with reduced nitrogen levels. **Applied Soil Ecology** 124:327–334. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.11.010>

Chu GX, Shen QR, Cao JL (2004) Nitrogen fixation and N transfer from peanut to rice cultivated in aerobic soil in an intercropping system and its effect on soil N fertility. **Plant and Soil** 263:17–27.

Cima DS, Tein B, Ereemeev V, Luik A, Kauer K, Reintam E, Kahu G (2016) Winter cover crop effects on soil structural stability and microbiological activity in organic farming. **Biological Agriculture and Horticulture** 32:170-181. <https://doi.org/10.1080/01448765.2015.1130646>

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira grãos, v.8 Safra 2017/18 - sexto levantamento, Brasília, p. 1-106, março, 2021.

Crusciol CAC, Portugal JR, Momesso L, Bossolani JW, Pariz CM, Castilhos AM, Costa NR, Costa CHM, Costa C, Franzluebbbers A, Cantarella H (2020) Overcoming competition from intercropped forages on upland rice with optimized nitrogen input to food production in tropical region. **Frontiers in Sustainable Food Systems** 4:129. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00129>

Duchene O; Vian J-F, Celette F (2017) Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms: A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 240:148–161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019>

Fornasieri Filho D, Fornasieri JL. 2006. Manual da cultura do arroz. Jaboticabal (SP): Funep, 589 p.

Furlan AL, Bianucci E, Castro S, Dietz KJ (2017) Metabolic features involved in drought stress tolerance mechanisms in peanut nodules and their contribution to biological nitrogen fixation. **Plant Science** 263:12–22. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.06.009>

García-González I, Hontoria C, Gabriel JL, Alonso-Ayuso M, Quemada M (2018) Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. **Geoderma** 322:81–88. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.024>

Gou F, van Ittersum MK, van der Werf W (2017) Simulating potential growth in a relay-strip intercropping system: Model description, calibration and testing. **Field Crops Research** 200:122–142. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.015>

Gou F, van Ittersum MK, Couëdel A, Zhang Y, Wang Y, van der Putten PEL, Zhang L, van der Werf W (2018) Intercropping with wheat lowers nutrient uptake and biomass accumulation of maize, but increases photosynthetic rate of the ear leaf. **AoB Plants** 10:ply010. <http://dx.doi.org/10.1093/aobpla/ply010>

Hungria M, Campo RJ, Mendes IC (2001) Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Londrina: Embrapa, 48p.

IRRI. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (2021) World Rice Statistics. Disponível em: <<http://ricestat.irri.org:8080/wrs>> Acesso em: 15 de janeiro 2021.

Kluthcouski J, Cobucci T, Aidar H, Yokoyama LP, Oliveira IP, Costa JLS, Silva JG, Vilela L, Barcellos AO, Magnabosco CU (2000) Sistema Santa Fé - Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas plantio direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 28 p.

Lacerda MB, Nascente AS (2018). In: Paes JMV, Andrade AT (Eds.). Sistema plantio direto no Cerrado. Belo Horizonte: EPAMIG 39:89-98.

Li L, Sun J, Zhang F, Guo T, Bao X, Smith A, Smith SE (2006) Root distribution and interactions between intercropped species. **Oecologia** 147:280–290
<http://dx.doi.org/10.1007/s00442-005-0256-4>

Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (2014) Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas. Brasília: EMBRAPA; v.1, 507 p.

Lópe-Piñeiro A, Sánchez-Llerena J, Peña D, Albarrán Á, Ramírez M (2016) Transition from flooding to sprinkler irrigation in Mediterranean rice growing ecosystems: Effect on behaviour of bispyribac sodium. **Agriculture, Ecosystems & Environment** 223:99-107.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.003>

McDaniel MD, Grandy AS (2016) Soil microbial biomass and function are altered by 12 years of crop rotation. **Soil** 2:583–599. <https://doi.org/10.5194/soil-2-583-2016>

Muthayya S, Sugimoto JD, Montgomery S, Maberly GF (2014) An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. **Annals of the New York academy of Science** 1324:7–14. <https://doi.org/10.1111/nyas.12540>

Oliveira IP, Kluthcouski J, Yokoyama LP, Dutra LG, Portes TA, Silva AE, Pinheiro BS, Ferreira E, Castro EM (1996) Sistema Barreirão: recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 90 p.

Oliveira P, Kluthcouski J, Favarin JL, Santos DC (2010) Sistema Santa Brígida: tecnologia Embrapa: consorciação de milho com leguminosas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 16 p.

Portugal JR, Arf O, Buzetti S, Portugal ARP, Garcia NFS, Meirelles FC, Garé LM, Abrantes FL, Rodrigues, RAF (2020) Do cover crops improve the productivity and industrial quality of upland rice? **Agronomy Journal** 112:327-343. <https://doi.org/10.1002/agj2.20028>

Ramalho AR, Utumi MM, Godinho VPC (2005) Cultivares de arroz de terras altas indicadas para Rondônia – período 2004/06. Porto Velho: EMBRAPA 75, 10p.

Raza MA, Khalid MHB, Zhang X, Feng LY, Khan I, Hassan MJ, Ahmed M, Ansar M, Chen YK, Fan YF, Yang F, Yang W (2019) Effect of planting patterns on yield, nutrient accumulation and distribution in maize and soybean under relay intercropping systems. **Scientific Reports**, 9:4947. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41364-1>

Reichert JM, Rosa VT, Vogelmann ES, Rosa DP, Horn R, Reinert DJ, Sattler A, Denardin JE (2016) Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil & Tillage Research** 158:123–136. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.11.010>

Saito K, Linquist B, Keobualapha B, Phanthaboon K, Shiraiwa T, Horie T (2006) *Stylosanthes guianensis* as a short-term fallow crop for improving upland rice productivity in northern Laos. **Field Crops Research** 96:438–447. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.09.005>

Souza AM, Pereira RA, Yokoo EM, Levy RB, Schieri R (2013) Alimentos mais consumidos no Brasil: Inquérito Nacional de Alimentação 2008-2009. **Revista Saúde Pública** 47:190-199.

Souza SS, Couto Júnior PA, Flôres JA, Mingotte FLC, Lemos LB (2019) Maize cropping systems and response of common bean in succession subjected to nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 49:e55718.

Taiz L, Zeiger E, Moller IA, Murphy A (2017) Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. Porto Alegre: ARTMED 858 p.

Teixeira CM, Carvalho GJ, Andrade MJB, Silva CA, Pereira JM (2009) Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy** 31:647-653.

Tiecher T, Calegari A, Caner L, Rheinheimer DS (2017) Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. **Geoderma** 308:78–85. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.028>

Vories ED, Stevens WE, Tacker PL, Griffin TW, Counce PA (2013) Rice production with center pivot irrigation. **Applied Engineering in Agriculture** 29:51-60.

Vories E, Stevens W, Rhune M, Straatmann Z (2017) Investigating irrigation scheduling for rice using variable rate irrigation. **Agricultural Water Management** 179:314–323. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.032>

Wutke EB, Calegari A, Wildner LP (2014) In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa 1:59-168.

Zhang F, Li L (2003) Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. **Plant and Soil** 248:305–312.

CAPÍTULO 2- Competição por luz no desempenho morfofisiológico do arroz de terras altas consorciado com adubos verdes em função de modalidades de cultivo e arranjo de plantas

Resumo - O consórcio de cereais e adubos verdes contribui para a diversificação de cultivo e sustentabilidade do sistema de produção. Entretanto, a competição interespecífica por luz pode prejudicar o desenvolvimento das plantas, sendo que manejos adequados como época de semeadura das culturas e arranjo de plantas podem reduzir essa competição. Objetivou-se avaliar a influência da distribuição e uso da luz no desenvolvimento morfofisiológico do consórcio de arroz de terras altas com adubos verdes, em função da modalidade de cultivo e do arranjo de plantas. Foram conduzidos dois experimentos, nos anos agrícolas 2018/19 e 2019/20, no município de Jaboticabal-SP, Brasil, no período de primavera-verão em área com irrigação por aspersão convencional, com a cultivar BRS Esmeralda. O primeiro experimento foi composto por sistemas de cultivo de arroz exclusivo e consorciado com adubos verdes (amendoim forrageiro, calopogônio, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, estilosantes, feijão de porco e guandu anão) e por modalidades de cultivo (arroz com adubos verdes com semeadura simultânea na entrelinha e arroz com adubos verdes com semeadura aos 25 dias após a emergência - DAE - do cereal na entrelinha). O segundo experimento foi constituído pelos mesmos sistemas de cultivo de arroz exclusivo e consorciado com adubos verdes do primeiro experimento e por arranjo de plantas de arroz (arroz semeado em fileiras simples e em fileiras duplas). Para ambos os experimentos o delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. Avaliou-se a altura de plantas, radiação fotossinteticamente ativa interceptada, massa seca da parte aérea, eficiência no uso da radiação, cobertura do solo e perda de produtividade de grãos. Os adubos verdes mostraram-se mais competitivos com o arroz no consórcio realizado simultaneamente. Tanto no cultivo simultâneo quanto aos 25 DAE, as espécies com maior altura e massa seca (*C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão) foram as que mais competiram por luz, reduzindo drasticamente a produtividade de grãos de arroz. Os adubos verdes calopogônio, *C. breviflora* e estilosantes apresentam sincronismo no desenvolvimento com arroz quando consorciado e semeados aos 25 DAE, em fileiras simples e duplas do cereal, minimizando a competição e a perda de produtividade.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., plantas de cobertura, policultivo, competição interespecífica.

3.1 Introdução

Os sistemas de consórcio de cereais e leguminosas são uma alternativa de produção agrícola sustentável por apresentar produção de duas espécies na mesma área e no mesmo período. Esse sistema proporciona diversos benefícios como: cobertura do solo, redução da amplitude térmica do solo, menor risco de erosão, fixação biológica de nitrogênio pelos adubos verdes, redução de pragas, doenças e plantas daninhas (Lithourgidis et al., 2011).

O consórcio entre plantas também permite melhor uso da radiação solar (Gong et al., 2020). Entretanto, o consórcio entre cereais e adubos verdes pode resultar em competição interespecífica por água, luz e nutrientes. A competição depende, dentre vários fatores, da escolha das espécies e do sincronismo no desenvolvimento dessas. Assim, plantas de maior porte podem causar sombreamento na espécie em consórcio. O sombreamento diminui a quantidade de clorofila nas folhas, a espessura das folhas, a taxa fotossintética e a condutância estomática, e consequentemente reduz a massa seca das plantas (Fan et al., 2018).

Sistemas consorciados podem causar mudanças no microclima dentro do dossel das culturas, alterando a intensidade de luz e as propriedades espectrais do dossel, podendo alterar a morfologia das plantas (Yang et al., 2014; Liu et al., 2017). Por outro lado, algumas espécies de plantas de metabolismo C3, com sombreamento artificial (50% de transmitância de luz), apresentam a mesma produtividade ou até mais do que quando cultivadas a pleno sol (Lin et al., 1999).

A eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa acumulada em massa seca de cada espécie é chamada de eficiência no uso da radiação (EUR) (Sinclair e Muchow, 1999). Essa eficiência depende de diversos fatores que alteram a fotossíntese e a respiração das plantas, sendo as espécies de metabolismo C4 que apresentam maior EUR em relação às de metabolismo C3 (Gou et al., 2017). Entre as plantas de metabolismo C3, as não leguminosas apresentam maior EUR comparado às leguminosas (Gosse et al., 1986).

As plantas em consórcio que estão sujeitas a determinados níveis de sombreamento podem aumentar a EUR, como observado por Gou et al. (2017), que no consórcio de trigo com milho, a primeira cultura sofreu sombreamento, reduzindo a intensidade de luz interceptada, porém manteve a produtividade de

massa seca, comparado ao cultivo exclusivo do trigo. Para o milho, houve redução na EUR no consórcio em relação ao milho exclusivo, demonstrando que a interação entre as plantas pode modificar a EUR.

No mundo, vários sistemas de consórcio são estudados como milho/forrageira (Arf et al., 2018), milho/leguminosa (Souza et al., 2019), soja/milho (Yang et al., 2014; Liu et al., 2017), milho/trigo (Gou et al., 2017), sorgo/soja (Iqbal et al., 2017). A cultura do arroz de terras altas também é utilizada em consórcio com gramíneas (Crusciol et al., 2020), havendo pouca informação sobre consórcio de arroz de terras altas com adubos verdes e a competição que as espécies podem exercer uma sobre a outra.

Espécies de adubos verdes como guandu anão, feijão de porco e *Crotalaria spectabilis*, que possuem porte variando de 80-150 cm (Calegari e Carlos, 2014), podem competir com o arroz (95-105 cm de altura) (Castro et al., 2014), principalmente por luz, causando sombreamento. Plantas como calopogônio, *C. breviflora*, estilosantes e amendoim forrageiro possuem porte menor (20-120 cm), podendo haver sincronismo no desenvolvimento dessas plantas com o arroz, minimizando a competição.

A época de semeadura das espécies, também denominada de modalidade de cultivo, pode ser determinante para reduzir a competição entre as plantas. O consórcio onde a modalidade de cultivo ocorre com a semeadura das espécies de forma simultânea, faz com que as plantas cresçam no mesmo estágio, havendo maior necessidade de recursos (Iqbal et al., 2018), enquanto quando uma espécie é semeada anteriormente à outra, essa possui como vantagem desenvolvimento inicial livre de competição. Como as espécies possuem velocidade de desenvolvimento e porte distintos, essa adequação deve ser estudada, de forma a proporcionar um sincronismo no crescimento das espécies, para que a cultura comercial se desenvolva sem prejuízos na produtividade. Assim, a alteração na época de semeadura das espécies em consórcio pode proporcionar complementariedade temporal no uso dos recursos (Wang et al., 2017).

A configuração do arranjo das plantas consorciadas também pode reduzir a competição interespecífica, de modo que a cultura comercial não seja prejudicada pelos adubos verdes, causando, assim, uma complementariedade espacial no uso dos recursos disponíveis (Gou et al., 2017), como água, luz e

nutrientes. Quando realizado o consórcio em fileiras alternadas de cada cultura (fileiras simples), ocorre maior sombreamento da espécie de maior altura em relação à outra, sendo que esta será prejudicada pela menor radiação solar interceptada, alteração da morfologia das folhas, promovendo menor produtividade de massa seca e de grãos (Fan et al., 2018). Quando as plantas são dispostas em fileiras duplas, a intensidade de luz incidente na espécie mais baixa é maior, devido ao menor sombreamento proporcionado pela espécie de maior altura (Liu et al., 2017).

As hipóteses testadas foram: a) as espécies de adubos verdes de maior porte, em consórcio com arroz de terras altas, podem afetar o uso da luz pelo cereal, b) a época de semeadura de adubos verdes em consórcio com arroz de terras altas pode reduzir a competição por luz entre as espécies e as perdas na produtividade de grãos, c) o arranjo de plantas em fileiras duplas de arroz pode favorecer o uso da luz e a produtividade de grãos do cereal.

Objetivou-se avaliar a influência da distribuição e uso da luz no desenvolvimento morfofisiológico do consórcio de arroz de terras altas com adubos verdes, em função da modalidade de cultivo e do arranjo de plantas.

3.2 Material e métodos

Os experimentos foram desenvolvidos no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil (21° 14' 33" S e 48° 17' 10" O), em altitude de 565 metros, em Latossolo Vermelho eutrófico, de textura argilosa (Embrapa, 2018), nas safras 2018/19 e 2019/20. O clima da região é caracterizado como Aw (tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca de inverno).

Anteriormente à instalação dos experimentos, a área foi cultivada com milheto (*Pennisetum glaucum*), utilizando a cultivar ADR 300, semeado em dezembro de 2017 e 2018 e dessecado em março de 2018 e 2019.

Anteriormente à instalação dos experimentos foi realizada a análise química do solo com coleta na camada de 0-20 cm, sendo que os resultados obtidos se encontram na Tabela 1. Os valores para a análise granulométrica do solo foram: argila = 540 g kg⁻¹; silte = 230 g kg⁻¹ e areia = 230 g kg⁻¹.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação dos experimentos de arroz de terras altas consorciado com adubos verdes.

Ano	MOS ^a g dm ⁻³	P _(resina) mg dm ⁻³	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	CTC	V
							-----mmolc dm ⁻³ -----			%
2018-2019	20	65	5,6	5,9	39	19	29	0	93	69
2019-2020	22	58	6,1	6,4	42	17	20	0	85	77

^aMOS=Matéria orgânica do solo

Em cada ano agrícola, os experimentos foram dispostos em delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por oito sistemas de cultivo de arroz, sendo um exclusivo e sete consorciado com adubos verdes. Os sistemas de cultivo de arroz consorciado com adubos verdes foram: arroz + amendoim forrageiro, arroz + calopogônio, arroz + *Crotalaria breviflora*, arroz + *C. spectabilis*, arroz + estilosantes, arroz + feijão de porco, arroz + guandu anão.

No primeiro ano de cultivo, os adubos verdes foram semeados simultaneamente ao arroz e após 25 DAE (dias após a emergência) do cereal.

No segundo ano de cultivo, os adubos verdes foram semeados apenas aos 25 DAE em fileiras simples ou duplas de arroz. As espécies de adubos verdes utilizadas foram as mesmas no primeiro e segundo ano, com exceção do amendoim forrageiro para o arranjo de plantas em fileiras duplas de arroz.

No primeiro ano agrícola, cada parcela foi composta por cinco linhas de arroz de cinco metros de comprimento, com espaçamento entrelinhas da cultura do arroz de 0,45 m e os adubos verdes foram semeados nas entrelinhas de arroz, distanciando-se 0,22 m dessas (Figura 1 A). No segundo ano agrícola, cada parcela foi composta por seis linhas de seis metros de comprimento. No arranjo de plantas em fileiras duplas, os adubos verdes foram semeados entre as linhas 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6 (Figura 1 B). A área útil foi composta pelas linhas centrais, considerando as linhas laterais como bordadura.

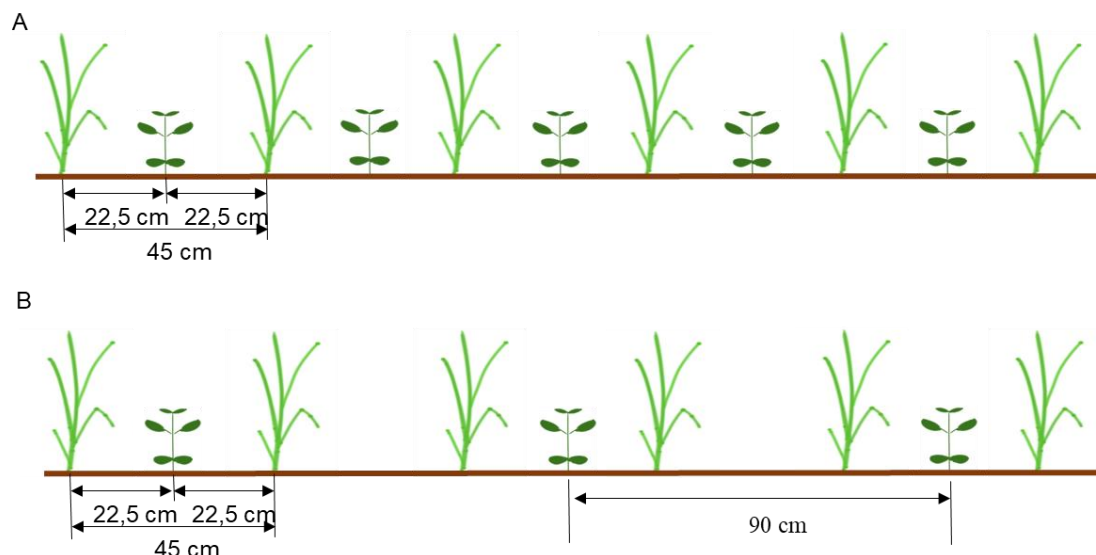


Figura 1. Esquema do sistema consorciado de arroz com adubos verdes semeados aos 25 DAE em fileiras simples (A) e fileiras duplas de arroz (B).

A semeadura do arroz foi realizada por meio de semeadura direta, em 13 de novembro de 2018 e em 22 de outubro de 2019. A densidade de semeadura de arroz foi de 70 kg ha^{-1} da cultivar BRS Esmeralda, a qual possui potencial produtivo de 7.525 kg ha^{-1} , altura das plantas variando de 95 a 108 cm, ciclo até o florescimento de cerca de 77 dias e até a maturação podendo variar de 105 a 110 dias, além de apresentar grãos longo/fino. Essa cultivar se destaca pelo vigor inicial, com rápido fechamento entrelinhas, resistência ao acamamento, persistência da coloração verde das folhas na fase de maturação de grãos (stay green), bem como tolerância à seca e resistência moderada a brusone (Castro et al., 2014).

A semeadura dos adubos verdes realizada 25 dias após a emergência do arroz (DAE), ocorreu quando as plantas de arroz se encontravam no estágio V_4 (formação do colar da 4ª folha no colmo principal). A quantidade de sementes de adubos verdes utilizada foi a recomendada de acordo com Calegari e Carlos (2014) para *Crotalaria breviflora* D.C. (12 kg ha^{-1}), *Crotalaria spectabilis* Roth (12 kg ha^{-1}), feijão de porco – *Canavalia ensiformis* L. (80 kg ha^{-1}), guandu anão – *Cajanus cajan* L. (35 kg ha^{-1}), calopogônio – *Calopogonium mucunoides* Desv. (8 kg ha^{-1}), amendoim forrageiro – *Arachis pintoi* Krap. e Greg. (8 kg ha^{-1}), estilosantes - *Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala* cv. Campo Grande (4 kg ha^{-1}). As sementes de arroz e de adubos verdes foram tratadas

com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (5, 45 e 50 mL 100 kg de semente⁻¹, respectivamente).

Para a semeadura dos adubos verdes, realizou-se operação mecanizada com semeadura-adubadora para abertura do sulco e posteriormente foi feita a deposição das sementes de maneira manual, bem como o fechamento do sulco.

Nos dois anos de cultivo, a adubação básica nos sulcos de semeadura da cultura do arroz foi realizada com 210 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16, equivalente a 16,8 kg ha⁻¹ de N, 58,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 33,6 kg ha⁻¹ de K₂O, de acordo com as recomendações de Cantarella e Raij (1997) para a cultura do arroz. A adubação de cobertura foi realizada no estágio V₃ (formação do colar da 3ª folha no colmo principal e início do perfilhamento), aos 22 e 20 DAE, no primeiro e segundo ano de cultivo, respectivamente, na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, usando como fonte sulfato de amônio (Cantarella e Raij, 1997).

Anteriormente à implantação do experimento foi realizado um bioensaio para avaliar herbicidas e doses que não prejudicassem o desenvolvimento dos adubos verdes, principalmente na semeadura simultânea do consórcio. A partir dos resultados obtidos, observou-se que a aplicação de trifluralina (1.080 g ha⁻¹ i.a.) em pré-emergência e bentazona com metade da dose recomendada (360 g ha⁻¹ i.a.) em pós-emergência não prejudicaram o desenvolvimento do arroz e dos adubos verdes.

Assim, o manejo fitossanitário no primeiro ano agrícola foi realizado com aplicação de trifluralina (1.080 g ha⁻¹ i.a.) para controle de plantas daninhas em pré-emergência logo após a semeadura. Aos 13 DAE (V₂ – formação do colar da 2ª folha no colmo principal) foi feita a aplicação de bentazona (360 g ha⁻¹ i.a.) para controle em pós-emergência. A aplicação de inseticida (tiametoxam + lambda-cialotrina (35,25g e 26,5 g ha⁻¹ i.a., respectivamente)) e fungicida (picoxistrobina + ciproconazole (80 e 32 g ha⁻¹ i.a., respectivamente) aos 63 DAE (R₂ – formação do colar da folha bandeira) e tebuconazole (187,5 g ha⁻¹ i.a.) aos 90 DAE (R₅ – expansão do grão em comprimento e largura).

No segundo ano agrícola, após a semeadura do arroz, foi realizada a aplicação de pendimethalin (1.400 g ha⁻¹) para o controle em pré-emergência. Aos 8 DAE (V₁ – formação do colar da 1ª folha do colmo principal) e aos 14 DAE (V₂) foi feita a aplicação de bentazona (360 g ha⁻¹ i.a.) para controle em pós-emergência. A aplicação de inseticida (tiametoxam + lambda-cialotrina (35,25g

e 26,5 g ha⁻¹ i.a., respectivamente) e fungicida (picoxistrobina + ciproconazole (80 e 32 g ha⁻¹ i.a., respectivamente) foi feita aos 47 e 79 DAE (R₄ - florescimento)

Houve fornecimento de água por irrigação suplementar por aspersão, totalizando uma lâmina de 90 e 75 mm, no primeiro e segundo ano de cultivo, respectivamente. A colheita do arroz foi realizada em 19 de março de 2019 (120 DAE) e em 20 de fevereiro de 2020 (113 DAE), manualmente.

A avaliação de altura de plantas foi realizada com o auxílio de uma régua graduada, medindo a distância do solo até a extremidade da folha mais alta das plantas de arroz e adubos verdes, em cinco pontos ao acaso por parcela, para cada espécie, aos 15, 30, 45, 60, 75 e 90 DAE do arroz no primeiro ano agrícola e aos 15, 30, 45, 60, 75 e 105 DAE no segundo ano agrícola.

O índice de área foliar e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi) foi determinada com o uso do equipamento Accu PAR PAR/LAI Ceptometer model LP-80 (Decagon Devices). As leituras foram realizadas entre 11 e 13 h sob céu claro, medindo-se a intensidade luminosa acima do dossel, com o sensor externo, e ao nível do solo (abaixo do dossel). A diferença entre essas leituras foi considerada a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi). A relação entre a radiação fotossinteticamente ativa interceptada e a radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel, permitiu obter a RFAi em porcentagem. As medições foram realizadas aos 25, 45, 60 e 80 DAE no primeiro ano agrícola e aos 40, 60, 90 e 105 DAE no segundo ano agrícola. Na mesma data das coletas, cada parcela foi fotografada, com o auxílio de uma armação retangular (0,46 x 1,02 m) com área de 0,47 m². As imagens foram processadas para a separação das plantas de arroz e de adubos verdes, utilizando-se o software Gimp para diferenciação da coloração das espécies, e o software ImageJ versão 1.53 para quantificação total de pixels da imagem, e a separação das espécies pela coloração pelo algoritmo Wu-Quant, no plugin Color Inspector 3D (Barthel, 2004). A partir dos resultados de pixels relativos ao arroz, aos adubos verdes e total, obteve-se a porcentagem de cada espécie, determinando a porcentagem de cobertura do solo. Pela interpolação dos resultados, determinou-se a radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo arroz e pelos adubos verdes.

A determinação da massa seca da parte aérea das plantas de arroz e adubos verdes foram realizadas por meio da coleta de 0,45 m de linha, em dois

pontos por parcela no estádio R4 do arroz (florescimento), no primeiro ano agrícola. No segundo ano agrícola, as coletas foram realizadas aos 25, 40, 60, 80 e 110 DAE. O material foi seco em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 60-70°C até atingir massa em equilíbrio, e os valores convertidos em kg ha^{-1} .

A eficiência no uso da radiação foi calculada pela relação entre a massa seca de cada espécie e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) acumulada. A RFA foi computada considerando 50% da radiação solar global (Figura 2 A e B) (Monteith, 1972), obtida por uma estação meteorológica automática.

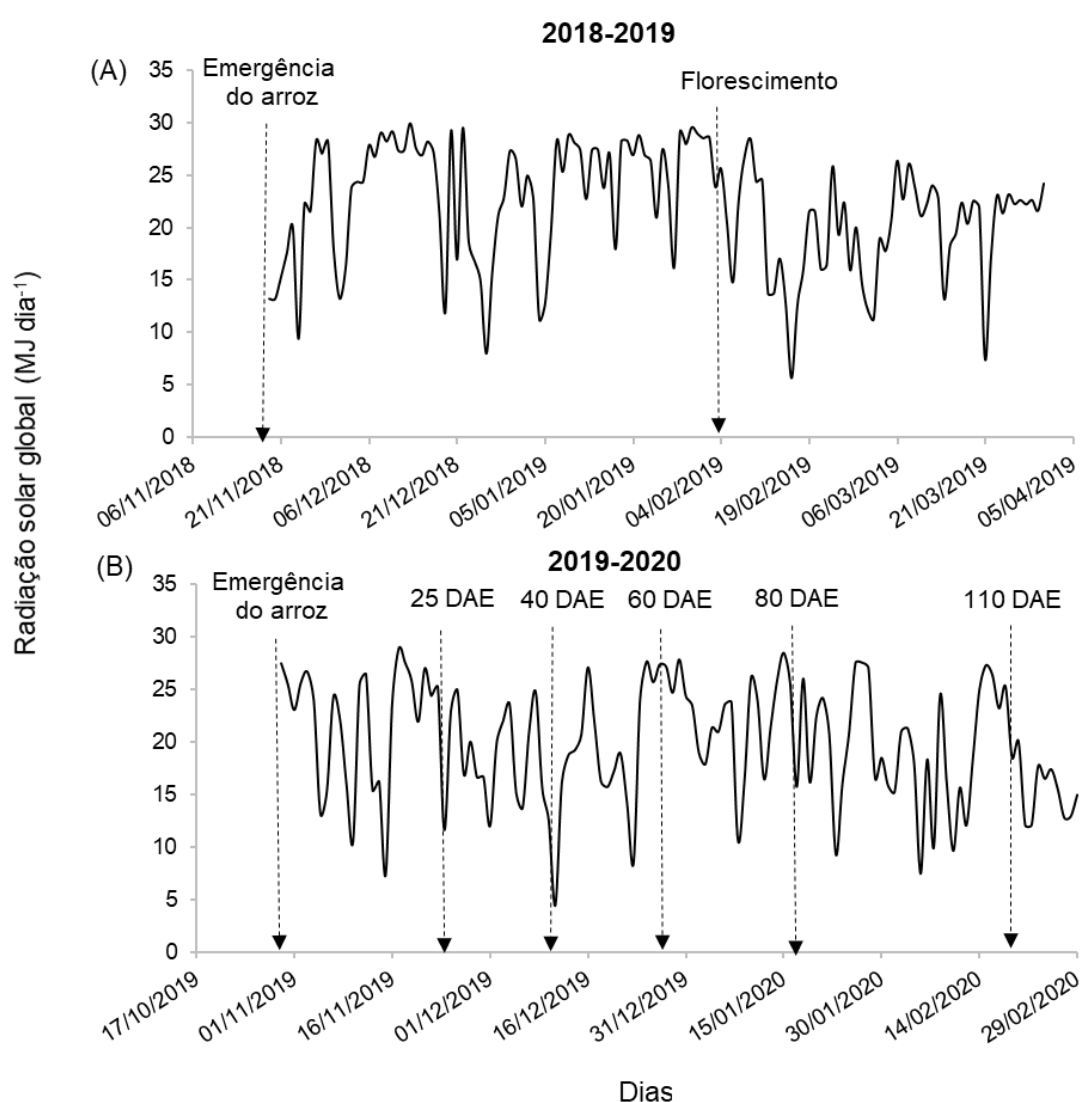


Figura 2. Radiação solar global em Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil, durante a condução dos experimentos nas safras 2018-2019 (A) e 2019-2020 (B), e épocas de determinação de massa seca da parte aérea.

A perda de produtividade foi obtida após a determinação de produtividade (13% base úmida) em cada parcela, pela diferença de produtividade de cada tratamento em relação ao arroz exclusivo.

Os dados de cada ano agrícola foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando constatado significância para o teste F ($<0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (0,05). Adicionalmente foi utilizado o erro padrão das médias para as apresentações gráficas.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Desenvolvimento das plantas, distribuição da radiação fotossinteticamente ativa e perda de produtividade – Primeiro ano agrícola

Foi possível observar que não houve diferença na altura do arroz quando a semeadura dos adubos verdes ocorreu simultaneamente e aos 25 DAE nos sistemas de consórcio de arroz com amendoim forrageiro, calopogônio e estilósantes (Figura 3).

O maior porte de algumas espécies de adubos verdes, como a *Crotalaria spectabilis* na semeadura simultânea, proporcionou maior altura das plantas de arroz quando comparada aos 25 DAE, isso pode ter ocorrido devido ao estiolamento do arroz na busca por luz, uma vez que em torno dos 70 DAE, a *C. spectabilis* já atingiu a mesma altura do arroz, e posteriormente superou o crescimento do arroz. O mesmo comportamento foi observado para o consórcio de arroz com feijão de porco, com o adubo verde atingindo a mesma altura do arroz próximo aos 60 DAE.

Para o consórcio com a *C. breviflora*, a diferença entre a altura das plantas de arroz na modalidade simultânea e aos 25 DAE foi observada próximo aos 90 DAE, por essa espécie ter taxa de crescimento um pouco menor em relação às espécies supracitadas. O guandu anão semeado simultaneamente ao arroz obteve maior crescimento que o arroz durante todo o ciclo da cultura, atingindo altura de 180 cm. Destaca-se que apenas no consórcio de arroz com guandu anão, na modalidade aos 25 DAE, o adubo verde atingiu a mesma altura do arroz. As demais espécies de adubos verdes obtiveram altura inferior ao arroz nessa modalidade.

Em todos os sistemas de consórcio, os adubos verdes tiveram maior crescimento quando semeados simultaneamente ao arroz em relação à semeadura aos 25 DAE, devido à menor competição e menor sombreamento do arroz nessas plantas, bem como maior tempo de desenvolvimento dessas espécies.

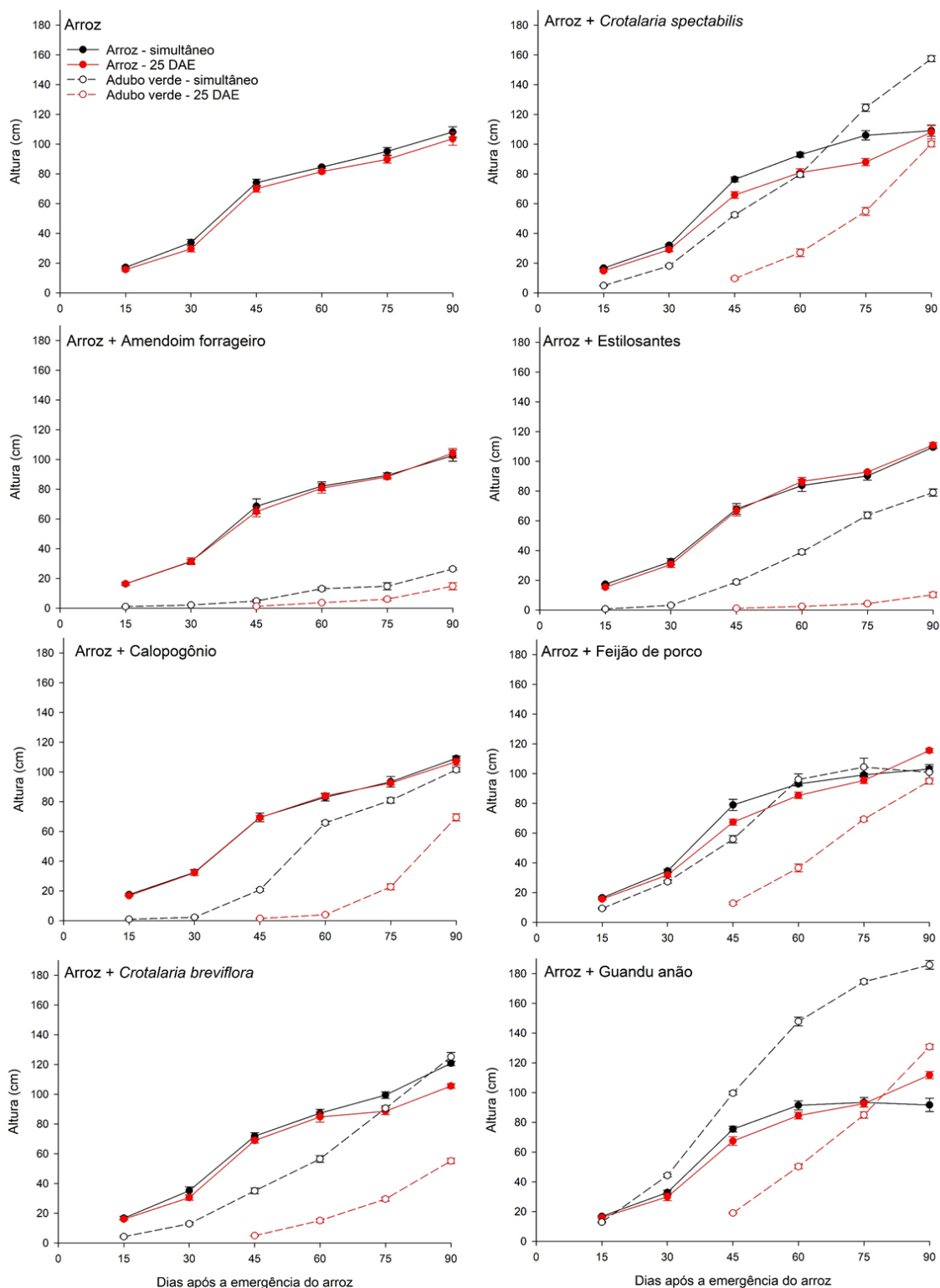


Figura 3. Altura de plantas de arroz e de espécies de adubos verdes na modalidade de cultivo com semeadura simultânea e aos 25 DAE.

O consórcio entre culturas acarreta modificações na morfologia e crescimento das plantas (Liu et al., 2017). O consórcio entre plantas pode alterar

a relação de luz vermelho/vermelho distante, consequentemente afetando a qualidade e intensidade de luz incidente nas plantas consorciadas (Liu et al., 2017). A planta que possui maior porte causa sombreamento na outra espécie em consórcio, fazendo com que essa cresça mais para captura da luz devido ao fototropismo (Gong et al., 2015). Assim, as plantas de arroz que sofrem sombreamento, como observado no arroz consorciado com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, tendem a apresentar maior altura.

Apesar de ocorrer maior altura de plantas de arroz em alguns sistemas de consórcio, essa não foi superior a 110 cm, isso é importante para a planta não ficar suscetível ao acamamento, que geraria perdas na qualidade dos grãos.

O índice de área foliar do arroz foi semelhante na semeadura simultânea e aos 25 DAE no consórcio de arroz com estilosantes (Figura 4). Nos consórcios de arroz com amendoim forrageiro, calopogônio e *Crotalaria breviflora*, observou-se IAF de arroz semelhantes em ambas as modalidades de semeadura, até os 60 DAE, a partir desse momento a semeadura simultânea proporcionou menor IAF no consórcio de arroz com calopogônio e *C. breviflora*, enquanto para o amendoim forrageiro houve maior IAF. Nos consórcios de arroz com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão o IAF do arroz foi superior na semeadura aos 25 DAE em relação à simultânea.

Os adubos verdes, quando semeados aos 25 DAE, apresentaram menor IAF em relação ao arroz em todos os sistemas de cultivo, enquanto na semeadura simultânea isso foi observado apenas nos consórcios de arroz com amendoim forrageiro, *C. breviflora* e estilosantes.

A área foliar é um fator importante na interceptação da radiação solar e na produtividade de grãos. As plantas de adubos verdes que obtiveram maior altura refletiram na redução do IAF do arroz. Isso pode ter ocorrido devido o IAF ser inversamente proporcional ao sombreamento, pela redução na proliferação de células nas folhas (Wu et al., 2017).

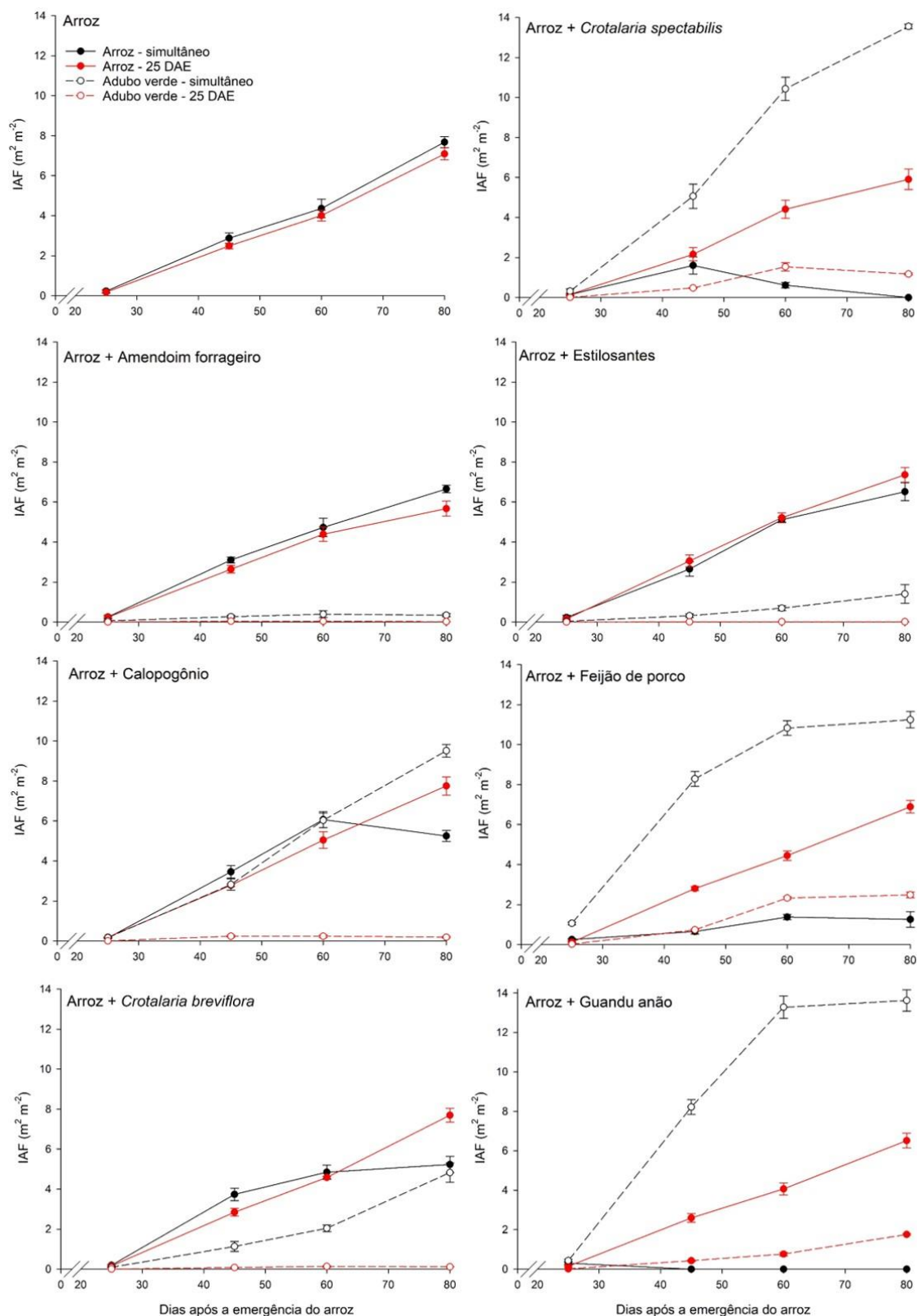


Figura 4. Índice de área foliar de arroz e de espécies de adubos verdes na modalidade de cultivo com semeadura simultânea e aos 25 DAE.

O consórcio entre plantas pode ocasionar competição por luz, dependendo das espécies em consórcio e as condições de desenvolvimento. Para radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAi) pelas plantas de arroz, não houve diferença para os consórcios com amendoim forrageiro, na modalidade simultânea e aos 25 DAE (Figura 5). No consórcio de arroz com calopogônio, *Crotalaria breviflora* e estilosantes, a RFAi foi superior para as plantas de arroz na semeadura aos 25 DAE em relação à simultânea a partir dos 60 DAE.

Os adubos verdes *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, na semeadura simultânea, apresentaram maior RFAi em relação ao arroz desde o início do desenvolvimento das plantas consorciadas. Nesses sistemas houve drástica redução da RFAi pelo arroz, quando comparado ao cultivo exclusivo, mesmo na semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE. Isso proporcionou maior RFAi pelo arroz na modalidade 25 DAE em relação à simultânea, devido à competição dos adubos verdes pela luz.

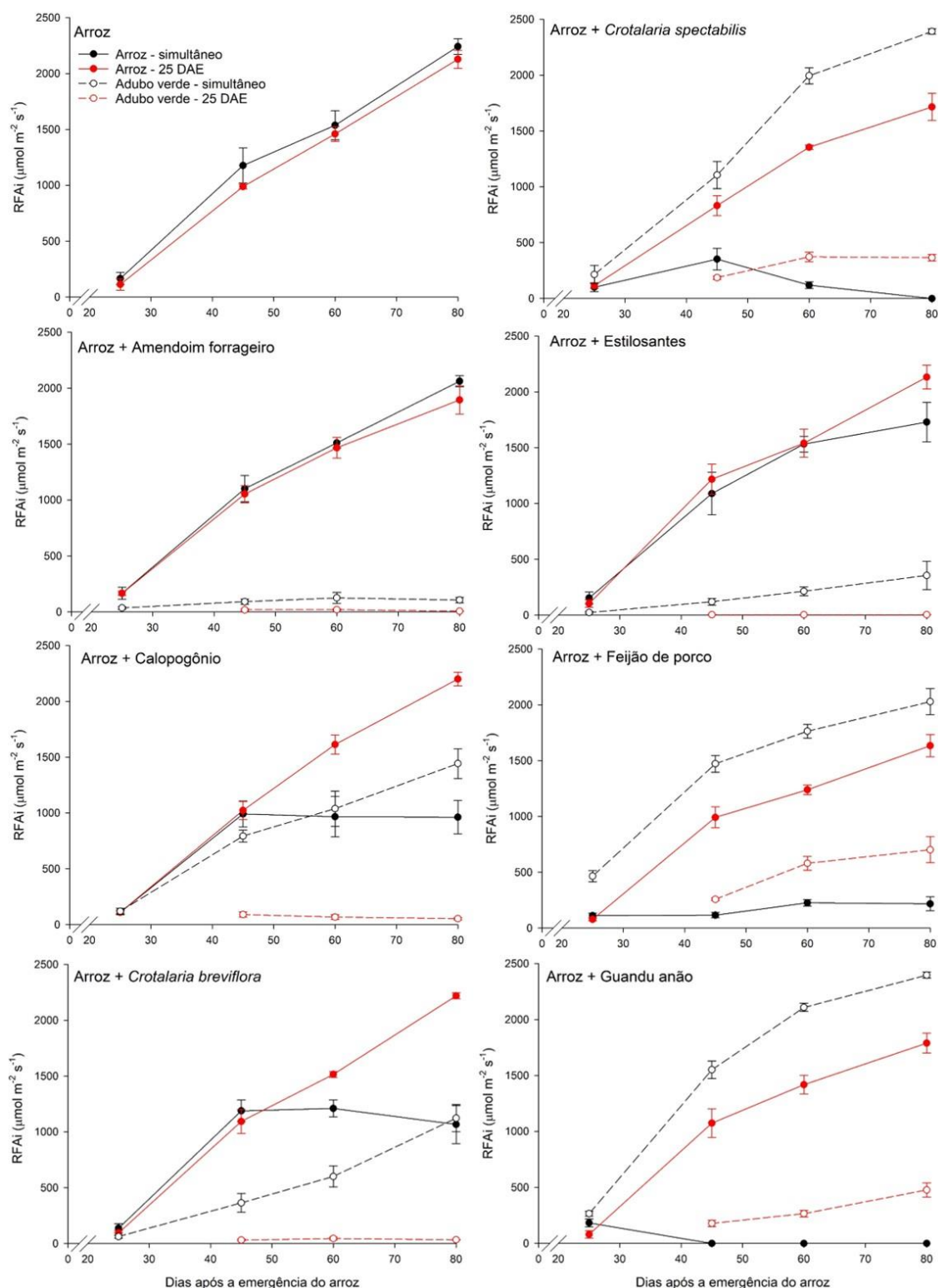


Figura 5. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada por plantas de arroz e de espécies de adubos verdes na modalidade de cultivo com semeadura simultânea e aos 25 DAE.

Os sistemas consorciados com semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE proporcionaram maior RFAi pelo arroz e menor para os adubos verdes. Isso ocorreu pois o arroz foi semeado anteriormente aos adubos verdes, permitindo desenvolvimento inicial sem qualquer competição e posteriormente, com a instalação dos adubos verdes, podendo ter ocorrido sombreamento nessas plantas.

A menor RFAi pelo arroz na modalidade simultânea e na 25 DAE para alguns sistemas de consórcio foi ocasionado pelo sombreamento que os adubos verdes proporcionaram. As plantas mais altas como a *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão (Figura 3) são beneficiadas pelo uso da luz e consequentemente ocorre melhorias nas características fotossintéticas dessas plantas, favorecendo a produtividade de massa seca (Gong et al., 2020). A espécie sombreada recebe menor quantidade de radiação solar, resultando em menor área foliar e taxa fotossintética (Feng et al., 2019).

A radiação fotossinteticamente ativa afeta a capacidade fotossintética das folhas, devido à reação fotoquímica, onde ocorre a oxidação de moléculas de água e a liberação de elétrons, que são transmitidos para a cavidade tilacóide, eventualmente formando ATP. Assim, baixos valores de RFAi, reduz a absorção solar conforme a morfologia e fisiologia das folhas, prejudicando as características fotossintéticas (Gong et al., 2020).

Por isso, a importância da determinação da época de semeadura das culturas consorciadas, para que haja sincronismo no desenvolvimento das espécies, permitindo que a quantidade necessária de radiação fotossinteticamente ativa seja interceptada pela cultura comercial, permitindo seu pleno desenvolvimento.

Quanto a porcentagem de radiação fotossinteticamente ativa que foi interceptada pelo arroz e adubos verdes em relação à incidente, observa-se que na modalidade simultânea apenas o consórcio de arroz com amendoim forrageiro apresentou porcentagem de RFAi semelhante ao arroz exclusivo (Figura 6). Nos demais consórcios, à medida que os adubos verdes interceptaram maior porcentagem de RFA, reduziu a proporção interceptada pelas plantas de arroz.

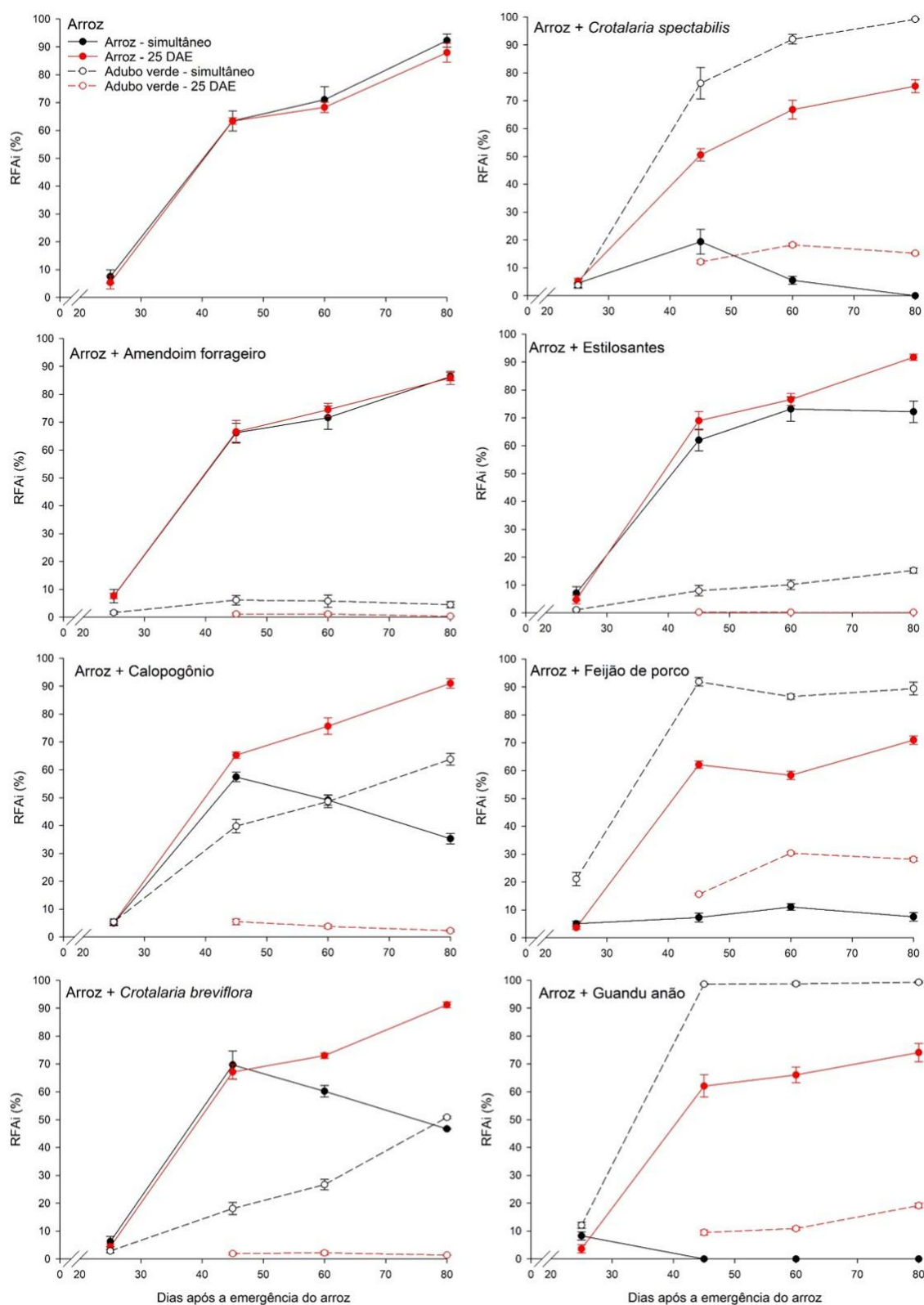


Figura 6. Porcentagem de radiação fotossinteticamente ativa interceptada por plantas de arroz e de espécies de adubos verdes na modalidade de cultivo com semeadura simultânea e aos 25 DAE.

A modalidade de semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE permitiu maior interceptação da RFA pelo arroz em relação à simultânea. Ressalta-se que a redução da RFAi pelo arroz, principalmente no estágio reprodutivo prejudica o enchimento de grãos, gerando maior quantidade de espiguetas chochas (Yoshida et al., 1981).

Houve interação dos sistemas de consócio e modalidade de cultivo para a massa seca do arroz e dos adubos verdes, bem como para eficiência no uso da radiação no primeiro ano agrícola (Tabela 2).

Tabela 2. Massa seca da parte aérea e eficiência no uso da radiação (EUR) de plantas de arroz e de adubos verdes em função dos sistemas de consócio e modalidade de cultivo, no florescimento do arroz.

Sistemas de consócio	Massa seca Arroz -----kg ha ⁻¹ -----	Massa seca Adubo verde	EUR Arroz -----g MJ ⁻¹ -----	EUR Adubo verde
Arroz	7.014 a	-	0,954 a	-
Arroz + amendoim forrageiro	7.593 a	240 f	1,058 a	0,027 f
Arroz + calopogônio	6.612 a	771 e	0,965 a	0,094 e
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	6.841 a	1.880 d	0,965 a	0,212 d
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	5.054 b	3.651 c	0,760 b	0,418 c
Arroz + estilosantes	7.216 a	404 f	0,994 a	0,045 f
Arroz + feijão de porco	5.307 b	5.115 a	0,789 b	0,606 a
Arroz + guandu anão	4.440 b	4.486 b	0,708 b	0,506 b
Modalidade				
Simultâneo	5.420 b	4.182 a	0,583 b	0,458 a
25 DAE	7.169 a	546 b	1,215 a	0,087 b
Teste F				
Sistema (S)	7,40**	269,63**	3,78**	254,41**
Modalidade (M)	37,70**	1.506,06**	185,53**	1094,76**
S x M	8,51**	147,32**	4,65**	106,41**
CV(%)	19,25	14,83	20,65	15,37
Média geral	6.259	2364	0,899	0,273

¹Teste F: **, * e ^{ns} – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

A partir do desdobramento da interação (Tabela 3) é possível verificar, na semeadura simultânea, que o arroz consorciado com amendoim forrageiro, *C. breviflora* e estilosantes obtiveram massa seca das plantas de arroz semelhante ao arroz exclusivo.

O consórcio de arroz com guandu anão reduziu a massa seca das plantas de arroz, enquanto os demais consórcios apresentaram valores intermediários. Esse resultado é reflexo da RFAi pelas plantas de arroz, que foi reduzida nos consórcios com calopogônio, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão. Assim, essas plantas causaram o sombreamento do arroz, reduzindo a RFAi pelo arroz.

Para a semeadura aos 25 DAE não houve diferença para a massa seca do arroz entre os sistemas de consórcio. O consórcio de arroz com calopogônio, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão proporcionaram maior massa seca de arroz na semeadura realizada aos 25 DAE em comparação à simultânea. Isso possivelmente ocorreu devido ao maior porte dessas plantas, ocasionando competição por luz, que reduz a produção de fotoassimilados e conversão de energia em massa seca (Müller et al., 2017).

Os valores de massa seca da parte aérea dos sistemas que não diferiram do arroz exclusivo são semelhantes aos encontrados por Portugal et al. (2020) e Crusciol et al. (2020) em arroz de terras altas utilizando as cultivares BRS Esmeralda e BRS Monarca, respectivamente.

No desdobramento da interação sistemas de consórcio e modalidade de cultivo para massa seca da parte aérea dos adubos verdes, observou-se que as plantas com maior porte como o feijão de porco, guandu anão e *Crotalaria spectabilis* obtiveram massa seca maior que as demais espécies, enquanto o amendoim forrageiro e o estilosantes apresentaram menor massa seca na modalidade de consórcio com semeadura simultânea.

Os valores encontrados para a massa seca dos adubos verdes, quando semeados simultaneamente ao arroz, estão próximos aos encontrados na literatura (Portugal et al., 2020; Arf et al., 2018; Calegari e Carlos, 2014).

Para o consórcio onde a semeadura foi realizada aos 25 DAE, o guandu anão e o feijão de porco obtiveram maiores valores de massa seca que as demais espécies de adubos verdes. Com exceção do amendoim forrageiro, para todas as espécies de adubo verde as maiores massa seca foram observadas na modalidade de semeadura simultânea em relação a 25 DAE.

Esse resultado é devido à menor altura dos adubos verdes e menor RFAi na semeadura aos 25 DAE em relação à simultânea, possivelmente resultante da dominância pelo arroz na maioria dos sistemas de consórcio, uma vez que

houve desenvolvimento inicial das plantas de arroz livre da competição dessas plantas, e quando essas foram semeadas o arroz já possuía aproximadamente 20 cm. Além disso, houve menor tempo para o desenvolvimento dos adubos verdes (25 DAE).

Tabela 3. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para massa seca da parte aérea de plantas de arroz e de adubos verdes, no florescimento do arroz.

Tratamentos	Massa seca Arroz		Massa seca Adubo verde	
	-----kg ha ⁻¹ -----			
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz	7.606 aA	6.423 aA	-	-
Arroz + amendoim forrageiro	7.584 aA	7.602 aA	437 fA	43 bA
Arroz + calopogônio	5.131 bB	8.092 aA	1.242 eA	301 bB
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	6.394 aA	7.288 aA	3.574 dA	186 bB
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	3.166 bB	6.941 aA	6.692 cA	609 bB
Arroz + estilosantes	7.602 aA	6.830 aA	772 fA	36 bB
Arroz + feijão de porco	3.682 bB	6.932 aA	8.677 aA	1.554 aB
Arroz + quandu anão	1.512 cB	7.367 aA	7.878 bA	1.093 aB

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

No primeiro ano agrícola, a eficiência no uso da radiação (EUR) pelo arroz para o consórcio com amendoim forrageiro, calopogônio, *Crotalaria breviflora* e estilosantes foi semelhante ao arroz exclusivo, já os demais consórcios apresentaram redução nessa variável (Tabela 4). Raza et al. (2019) também observaram que plantas de soja quando consorciadas com milho sofrem sombreamento reduzindo a radiação fotossinteticamente ativa e consequentemente a eficiência no uso da radiação.

Para a semeadura dos adubos verdes realizada aos 25 DAE não houve diferença na EUR entre os sistemas de cultivo. Em todos os consórcios, a semeadura aos 25 DAE proporcionou maior EUR do arroz em relação à semeadura simultânea.

A EUR dos adubos verdes na semeadura simultânea foi maior para os consórcios de arroz com feijão de porco, guandu anão e *C. spectabilis* em relação aos demais, em ambas as modalidades de cultivo. Com exceção do amendoim forrageiro, os demais sistemas de consórcio obtiveram maior EUR na modalidade de semeadura simultânea em relação à 25 DAE.

Tabela 4. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para eficiência no uso da radiação (EUR) de plantas de arroz e de adubos verdes, no florescimento do arroz.

Tratamentos	EUR - Arroz		EUR - Adubos verdes	
	-----g MJ ⁻¹ -----			
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz	0,822 aA	1,085 aA	-	-
Arroz + amendoim forrageiro	0,830 aB	1,285 aA	0,048 fA	0,007 dA
Arroz + calopogônio	0,562 aB	1,368 aA	0,136 eA	0,051 dB
Arroz + <i>Crotalaria. breviflora</i>	0,698 aB	1,232 aA	0,392 dA	0,032 dB
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	0,348 bB	1,175 aA	0,733 cA	0,103 cB
Arroz + estilosantes	0,832 aB	1,155 aA	0,084 fA	0,006 dB
Arroz + feijão de porco	0,402 bB	1,175 aA	0,950 aA	0,263 aB
Arroz + quandu anão	0,168 bB	1,248 aA	0,862 bA	0,150 bB

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Destaca-se a escolha da cultivar de arroz BRS Esmeralda para o cultivo consorciado. Essa cultivar apresentou desenvolvimento adequado quanto à altura de plantas e eficiência no uso da radiação, que apesar de ter sido prejudicada em alguns sistemas de consórcio na modalidade de semeadura simultânea, foi similar ao cultivo de arroz exclusivo nos demais sistemas de consórcio e na modalidade de semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE.

Essa cultivar por apresentar porte intermediário, possui folhas menos decumbentes que as cultivares tradicionais, permitindo maior eficiência no uso da radiação, e altura de plantas superior às cultivares modernas (Castro et al., 2014), favorecendo seu uso em cultivos consorciados. Além disso, caracteriza-se por um desenvolvimento inicial e fechamento entrelinhas rápido, evitando a competição e a dominância dos adubos verdes consorciados.

As adubações de base e de cobertura, bem como as condições granulométricas e fertilidade do solo (Tabela 1) provavelmente permitiram adequada nutrição das plantas, uma vez que se trata de um solo argiloso com baixa acidez, e altos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

A partir da porcentagem de cobertura do solo (Figura 7) é possível inferir a competição entre as plantas consorciadas. No geral, houve maior competição entre os adubos verdes e o arroz na semeadura simultânea, uma vez que na maioria dos sistemas de consórcio houve menor cobertura do solo pelas plantas de arroz quando comparado à semeadura aos 25 DAE.

Os consórcios de arroz com calopogônio, *C. breviflora*, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, quando semeados simultaneamente, apresentaram cobertura do solo superior ao arroz, em razão do maior crescimento dessas plantas, maior RFAi e consequentemente maior competição com as plantas de arroz. Além disso, a cobertura do solo por essas espécies, na semeadura simultânea, no início do desenvolvimento das plantas foi 20% para a *C. breviflora*, e acima de 40% para calopogônio, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão. Isso demonstra cobertura do solo próxima ou superior em comparação ao arroz, indicando que desde o início do desenvolvimento das plantas houve competição pelos adubos verdes.

Lima et al. (2018) observaram cobertura do solo 39% superior em sistema de milho consorciado com feijão de porco em comparação ao milho exclusivo, resultando em redução na erosão do solo.

Na modalidade com semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE, a cobertura do solo foi superior pelo arroz em relação aos adubos verdes. Isso demonstra que a inserção dos adubos verdes em época mais tardia permite desenvolvimento inicial do arroz semelhante ao cultivo exclusivo, reduzindo a competição pelos adubos verdes.

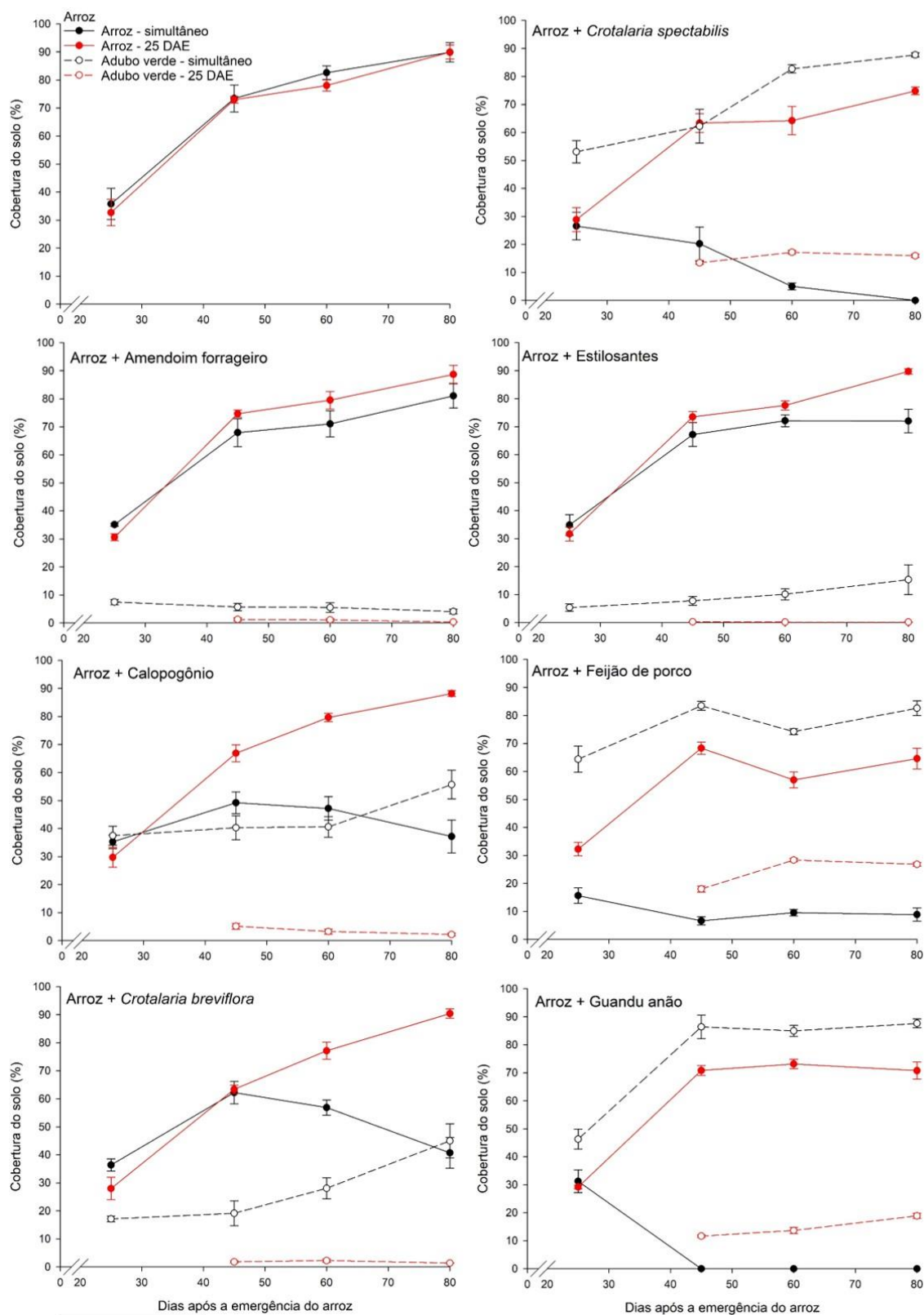


Figura 7. Porcentagem de cobertura do solo por plantas de arroz e de espécies de adubos verdes na modalidade de cultivo com semeadura simultânea e aos 25 DAE.

A perda de produtividade de grãos de arroz foi influenciada pela interação dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo (Tabela 5).

Tabela 5. Perda de produtividade de grãos de arroz em função dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo.

Sistemas de consórcio	Perda de produtividade %
Arroz + amendoim forrageiro	9,89 d
Arroz + calopogônio	55,52 b
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	31,82 c
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	60,14 b
Arroz + estilosantes	6,54 d
Arroz + feijão de porco	62,72 b
Arroz + guandu anão	78,93 a
Modalidade	
Simultâneo	68,92 a
25 DAE	18,38 b
Teste F	
Sistema (S)	56,28**
Modalidade (M)	250,65**
S x M	12,48**
CV(%)	17,34
Média geral	43,65

¹Teste F: **, * e ^{ns} – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). CV – Coeficiente de variação.

Verificou-se que na semeadura simultânea, os consórcios de arroz com calopogônio, *Crotalaria spectabilis*, feijão de porco e guandu anão impossibilitaram a produção de arroz, promovendo a perda total (100%) da produtividade de arroz (Tabela 6). O consórcio com *C. breviflora* proporcionou redução de 60% na produtividade, enquanto os consórcios com amendoim forrageiro e estilosantes tiveram redução de aproximadamente 11%. Isso aconteceu devido as espécies, quando consorciadas simultaneamente ao arroz, possuírem maior período de convivência e competição com arroz.

Além disso, as espécies de maior porte como *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão refletiram em menor RFAi pelo arroz, menor produtividade de massa seca da parte aérea e menor EUR, conseqüentemente inviabilizando a produtividade de grãos. Arf et al. (2018) também constataram redução na produtividade de grãos de milho consorciado, simultaneamente, com *C.*

spectabilis, guandu e feijão de porco, na proporção de 10; 11; 14% em relação ao cultivo de milho exclusivo.

Tabela 6. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para perda de produtividade de grãos de arroz.

Tratamentos	Perda de produtividade	
	%	
	Simultâneo	25 DAE
Arroz + amendoim forrageiro	11,26 cA	8,52 cA
Arroz + calopogônio	100,00 aA	11,04 cB
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	60,52 bA	3,12 cB
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	100,00 aA	20,29 bB
Arroz + estilosantes	10,68 cA	2,40 cA
Arroz + feijão de porco	100,00 aA	25,43 bB
Arroz + guandu anão	100,00 aA	57,86 aB

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Para o consórcio com semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE, o guandu anão foi a espécie que mais prejudicou a produtividade, com redução próxima de 58%. Os consórcios com *C. spectabilis* e feijão de porco proporcionaram perda de produtividade intermediária (próximos de 20 e 25%), enquanto os consórcios com amendoim forrageiro, calopogônio, *C. spectabilis* e estilosantes a perda foi menor (em torno de 2 a 11%).

Com exceção dos consórcios de arroz com amendoim forrageiro e estilosantes, os demais sistemas de consórcio proporcionaram menor perda de produtividade na semeadura aos 25 DAE em comparação à simultânea. Akanvou et al. (2002) também verificaram que o consórcio de arroz com feijão de porco e estilosantes, quando essas plantas foram semeadas 28 dias após o arroz, ocorreu menor perda de produtividade de grãos em relação à semeadura simultânea.

3.3.2 Desenvolvimento das plantas, distribuição da radiação fotossinteticamente ativa e perda de produtividade – Segundo ano agrícola

No segundo ano agrícola, quando os adubos verdes foram semeados aos 25 DAE, em fileiras simples e duplas de arroz, não houve diferença nas alturas de plantas de arroz nos diferentes consórcios (Figura 8).

A altura dos adubos verdes também não diferiu no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas, com exceção apenas do consórcio com calopogônio que no final do ciclo do arroz (105 DAE) houve maior altura de plantas em fileiras duplas em relação ao fileiras simples; e o guandu anão, que a partir dos 75 DAE as plantas em fileiras simples apresentaram maior altura em relação a fileiras duplas. O guandu anão mostrou-se uma planta mais competitiva, e no cultivo em fileiras simples pode ter predominado sobre as plantas de arroz, permitindo seu maior desenvolvimento e altura.

No geral, os adubos verdes apresentaram menor altura que o arroz durante seu ciclo. A *Crotalaria spectabilis* atingiu altura superior ao arroz no final do ciclo (105 DAE) e o guandu anão apresentou maior altura aos 75 DAE (fileiras simples) e 90 DAE (fileiras duplas). A altura superior dessas plantas em relação ao arroz pode proporcionar sombreamento, e quando isso ocorre no estágio reprodutivo do arroz, pode haver prejuízos na produtividade e qualidade dos grãos, uma vez que o sombreamento nessa fase reduz a translocação de fotoassimilados para os grãos, afetando o enchimento dos mesmos (Müller et al., 2017).

A altura das plantas de arroz e adubos verdes apresentou sincronismo ao longo do cultivo, sendo que apenas algumas espécies de adubos verdes atingiram valores próximos do arroz no final do ciclo da cultura. O sincronismo no crescimento das plantas consorciadas é um fator determinante para o sucesso do consórcio, permitindo o desenvolvimento das plantas e minimizando a competição entre espécies.

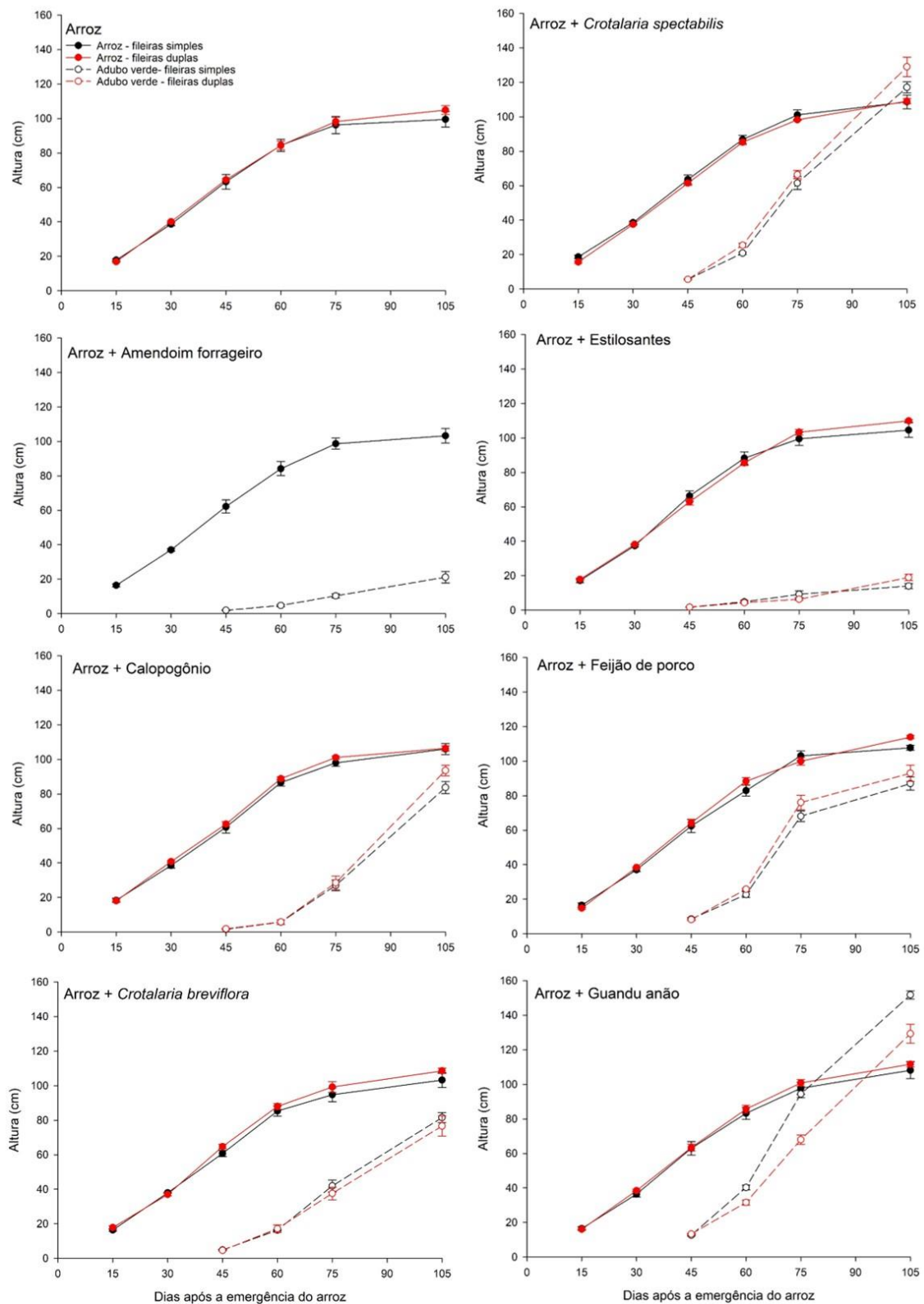


Figura 8. Altura de plantas de arroz e de espécies de adubos verdes no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas de arroz.

O IAF do arroz foi semelhante no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas para todos os sistemas de consórcio, com exceção do feijão de porco que proporcionou maior IAF do arroz em fileiras duplas e relação à simples (Figura 9). Além disso, os valores de IAF do arroz nos sistemas consorciados não diferiram do arroz exclusivo.

Os adubos verdes obtiveram menor IAF em relação ao arroz. Para os consórcios de arroz com *C. breviflora*, feijão de porco e guandu anão, o IAF dos adubos verdes foi superior no arranjo em fileiras simples em relação a duplas. Além disso, foi verificado maior IAF nas plantas de arroz aos 90 DAE com posterior decréscimo para a maioria dos sistemas de consórcio, enquanto que para os adubos verdes, até os 105 DAE, houve incremento do IAF.

Feng et al. (2019) observaram maiores valores de IAF da soja em consórcio com milho em fileiras duplas em relação a simples, porém inferior ao cultivo de soja exclusiva. Goes (2012) observou valor máximo de IAF do arroz de terras altas de $7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ em função da densidade de semeadura, valor próximo ao encontrado no presente trabalho.

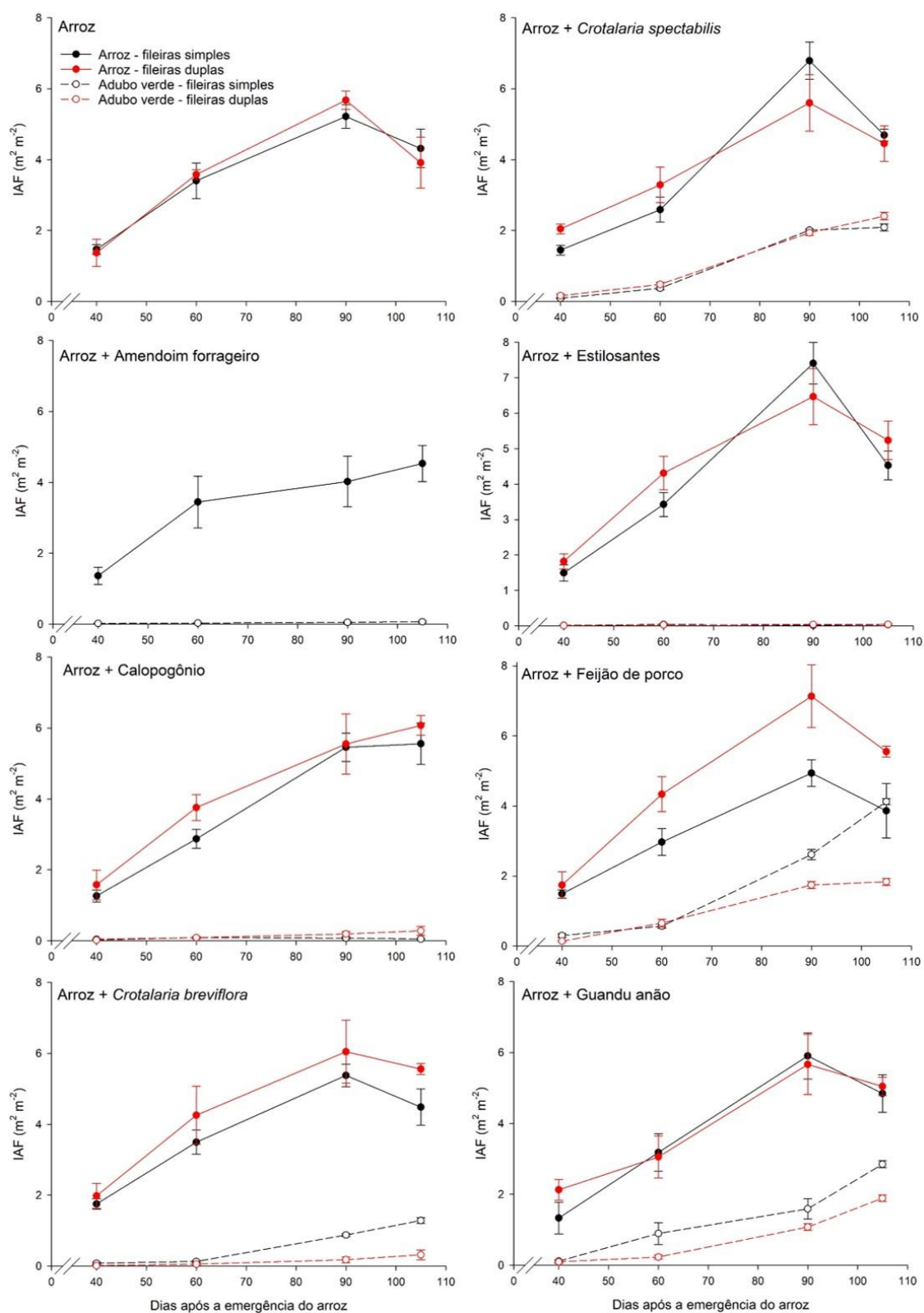


Figura 9. Índice de área foliar de arroz e espécies de adubos verdes no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas de arroz.

A RFAi pelo arroz, no geral, não diferiu nos consórcios realizados em fileiras simples e duplas (Figura 10). O consórcio de arroz com feijão de porco e *C. breviflora* apresentou maior RFAi pelo arroz aos 105 DAE em fileiras duplas em relação a fileiras simples, corroborando Liu et al. (2017) que verificaram maior RFAi em consórcio de fileiras duplas de soja e milho, em relação a fileiras simples. Esse resultado demonstra que essas espécies se mostraram mais competitivas no arranjo em fileiras simples, uma vez que houve aumento na RFAi por esses adubos verdes e redução pelo arroz.

Para os consórcios com calopogônio, *C. spectabilis*, e estilosantes não se observou diferença na RFAi pelos adubos verdes em fileiras simples e duplas. Os consórcios de arroz com *C. breviflora*, feijão de porco e guandu anão em fileiras simples proporcionaram maior RFAi pelos adubos verdes em comparação ao arranjo de plantas em fileiras duplas. De modo geral, os adubos verdes obtiveram menor RFAi que o arroz.

Além disso, observou-se que o arroz exclusivo apresentou valores máximo de RFAi entre 1.500 e 2.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, valores semelhantes quando consorciado com amendoim forrageiro, calopogônio, *C. breviflora* e estilosantes. No consórcio de arroz com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, o valor máximo ficou entre 1.000 e 1.500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, demonstrando competição desses adubos verdes com o arroz.

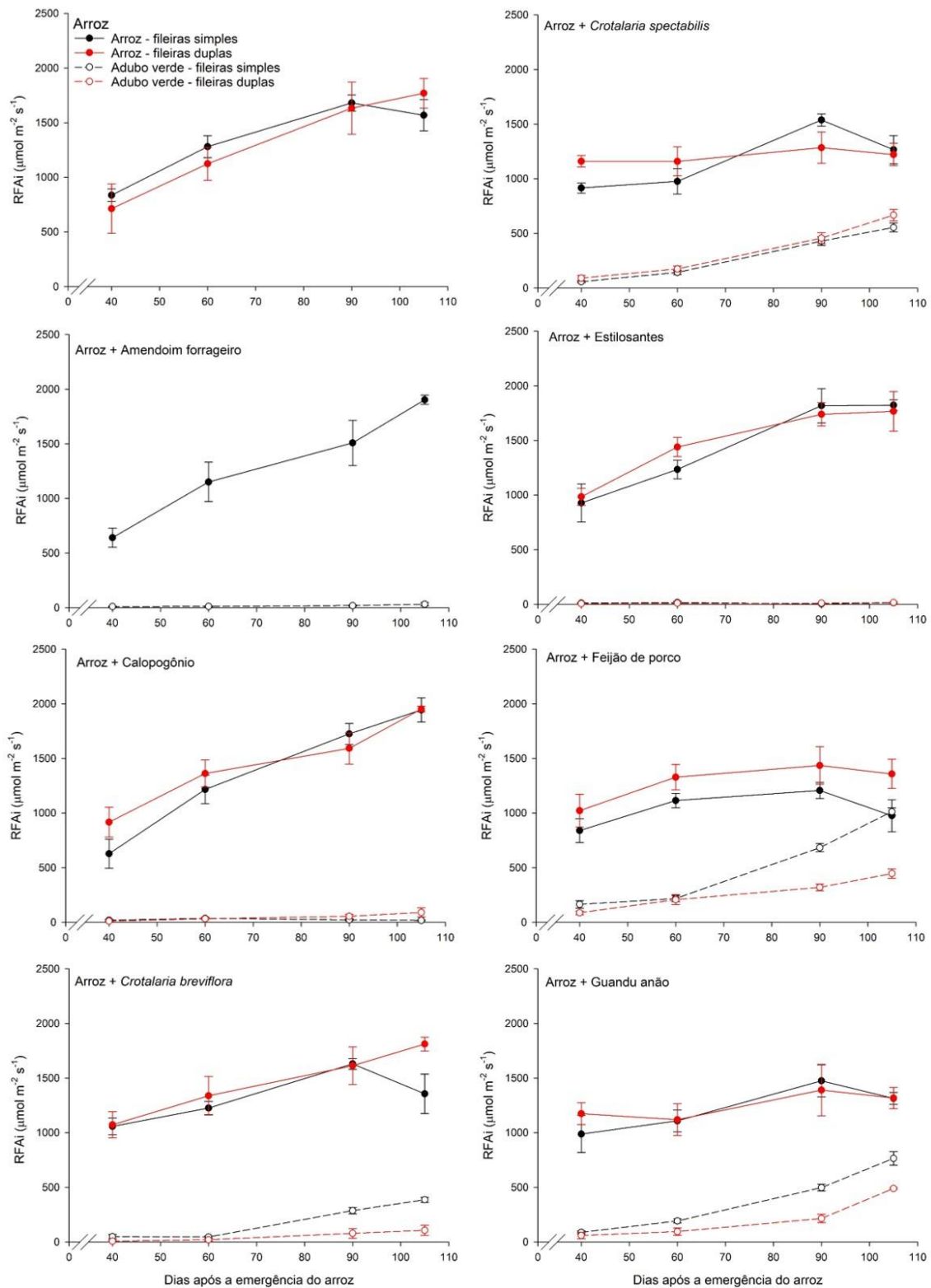


Figura 10. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada por plantas de arroz e de espécies de adubos verdes no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas de arroz.

A porcentagem de RFAi (Figura 11) pelo arroz, no segundo ano agrícola, foi semelhante para os consórcios de arroz com calopogônio, *C. breviflora* e estilosantes em relação ao cultivo de arroz exclusivo. Nos consórcios com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão houve redução na porcentagem de RFAi pelo arroz com o aumento pelos adubos verdes. Além disso, o arranjo de plantas em fileiras duplas proporcionou maior porcentagem de RFAi pelo arroz nos consórcios de arroz com *C. spectabilis*, *C. breviflora* e guandu anão (final do ciclo do arroz), e feijão de porco (a partir dos 60 DAE) em relação a fileiras simples, observando significativa redução na porcentagem de RFAi pelos adubos verdes.

Os valores de RFAi encontrados nos dois anos de cultivo, nos sistemas em que não houve redução significativa nessa variável pelos adubos verdes, encontram-se próximos aos valores apresentados por Goes (2012), em cultivo de arroz de terras altas (cultivar BRS Primavera) em condições de Cerrado.

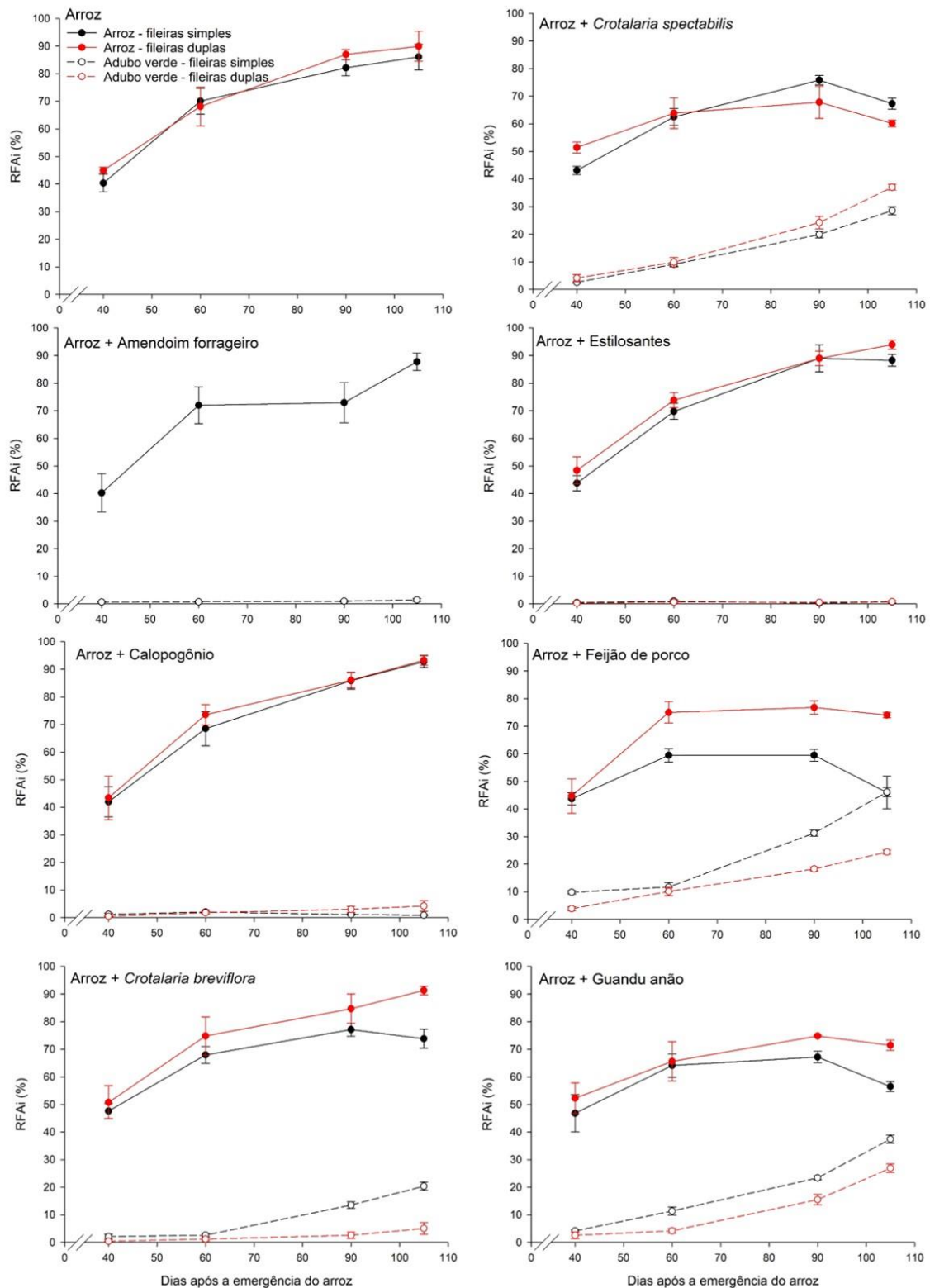


Figura 11. Porcentagem de radiação fotossinteticamente ativa interceptada por plantas de arroz e de espécies de adubos verdes no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas de arroz.

A massa seca da parte aérea do arroz, no segundo ano agrícola, foi semelhante no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas nos consórcios de arroz com calopogônio, *C. spectabilis*, estilosantes e feijão de porco (Figura 12). Os consórcios em fileiras simples de arroz com *C. breviflora* e guandu anão proporcionaram maior massa seca de arroz em relação a fileiras duplas na avaliação realizada aos 110 DAE.

A massa seca dos adubos verdes foi próxima em ambos os arranjos de plantas para as espécies calopogônio, *C. breviflora* e estilosantes. No consórcio com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, a massa seca dos adubos verdes foi superior em fileiras simples em relação a fileiras duplas.

Os consórcios de arroz com amendoim forrageiro, calopogônio, *C. breviflora* e estilosantes apresentaram massa seca dos adubos verdes menor que do arroz, enquanto nos consórcios com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, a massa seca dos adubos verdes se assemelhou à do arroz quando as plantas foram dispostas em fileiras simples, no final do ciclo da cultura.

Destaca-se que os valores máximos de massa seca de arroz variaram entre 5.000 a 8.000 kg ha⁻¹, enquanto para os adubos verdes calopogônio, estilosantes e amendoim forrageiro não ultrapassaram 1.000 kg ha⁻¹, *Crotalaria breviflora* com 2.000 kg ha⁻¹, e os demais (*C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão) atingiram até 7.000 kg ha⁻¹. A massa seca resultante dos consórcios, por haver gramínea e leguminosa favorece o sistema de produção de plantio direto pela relação C/N intermediária, permitindo decomposição e posterior liberação de nutrientes para cultura posterior (Arf et al., 2018).

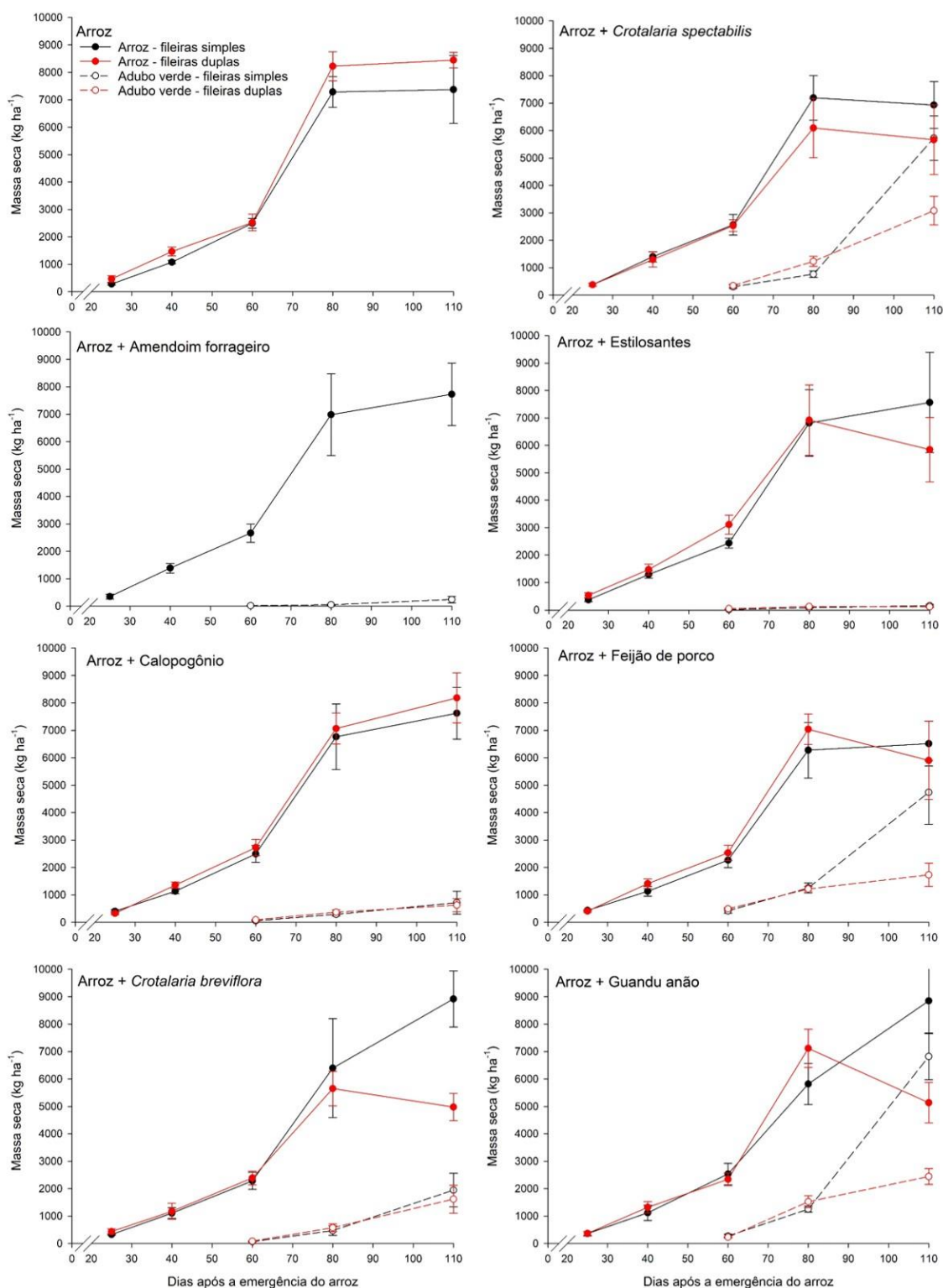


Figura 12. Massa seca da parte aérea de plantas de arroz e de espécies de adubos verdes no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas de arroz.

A eficiência no uso da radiação (EUR) é influenciada pela área foliar, altura de plantas e arranjo de plantas (Gong et al., 2020). No presente trabalho a EUR pelo arroz foi semelhante em ambos os arranjos de plantas para o

consórcio de arroz com calopogônio, *C. spectabilis*, estilosantes e feijão de porco (Figura 13). Nos consórcios com *C. breviflora* e guandu anão a EUR pelo arroz foi superior em fileiras simples em comparação a fileiras duplas, aos 110 DAE, isso devido à maior produtividade de massa seca da parte aérea do arroz no consórcio com essas espécies, bem como a menor RFAi no consórcio com *C. breviflora* em fileiras simples.

Os valores de EUR para arroz estão adequados quando comparados aos da literatura (Gautam et al., 2019). O arranjo de plantas em fileiras duplas de arroz possui a vantagem da complementariedade espacial (Gong et al., 2020), favorecendo a RFAi e a EUR.

Liu et al. (2017) verificaram maior EUR para soja consorciada com milho no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas em comparação ao cultivo de soja exclusiva. Apesar de maior EUR, isso pode não refletir em maior massa seca de plantas e produtividade de grãos, pois o aumento da EUR pode não ser suficiente para superar os efeitos negativos da redução drástica de RFAi pela cultura.

Para a EUR dos adubos verdes, observou-se que nos consórcios de arroz com *C. breviflora*, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, os valores foram maiores no arranjo de plantas em fileiras simples em relação a fileiras duplas. Para as plantas dispostas em fileiras simples, nos consórcios de arroz com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, a EUR dos adubos verdes foi superior à EUR do arroz, no final do ciclo do arroz (110 DAE).

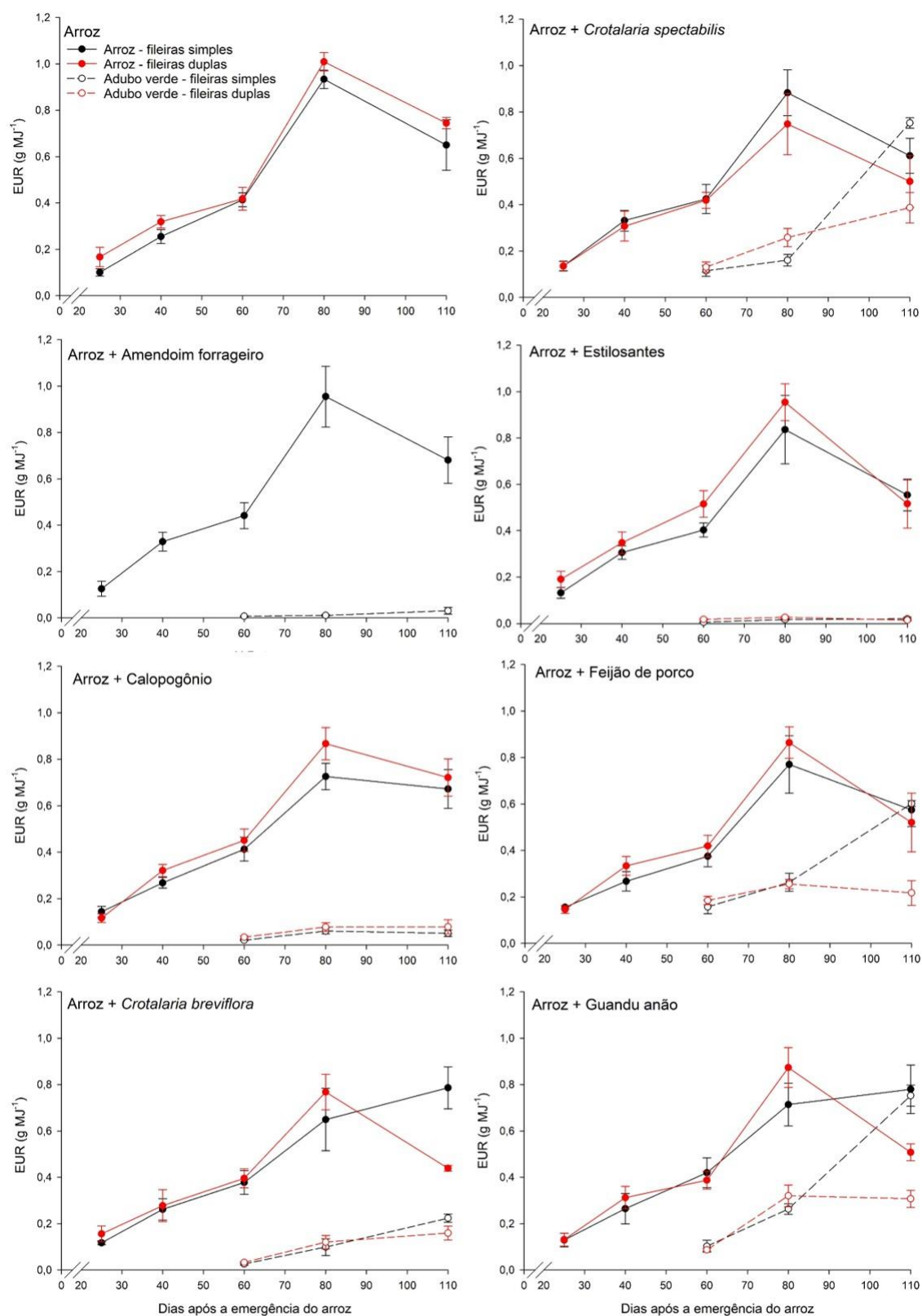


Figura 13. Eficiência no uso da radiação (EUR) por plantas de arroz e de espécies de adubos verdes no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas de arroz.

A cobertura do solo pelas plantas de arroz foi semelhante nos consórcios com amendoim forrageiro, calopogônio, *Crotalaria breviflora*, estilosantes (Figura 14), no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas, comparado ao cultivo de arroz exclusivo. Nos consórcios de arroz com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão houve redução na cobertura do solo pelas plantas de arroz na avaliação aos 90 DAE, enquanto essas espécies tiveram aumento na cobertura do solo.

A cobertura do solo pelos adubos verdes *C. breviflora*, feijão de porco e guandu anão foi maior no arranjo de plantas em fileiras simples em relação a fileiras duplas. Isso pode ocasionar maior competição espacial dessas plantas com o arroz. Os valores máximos de cobertura do solo foram próximos a 90%, corroborando Lima et al. (2018) em milho consorciado com feijão de porco.

Além de indicar competitividade espacial, a porcentagem de cobertura do solo pelas plantas consorciadas proporciona benefícios para o SPD como redução do impacto das gotas das chuvas, redução da amplitude térmica do solo e menor evaporação de água do solo.

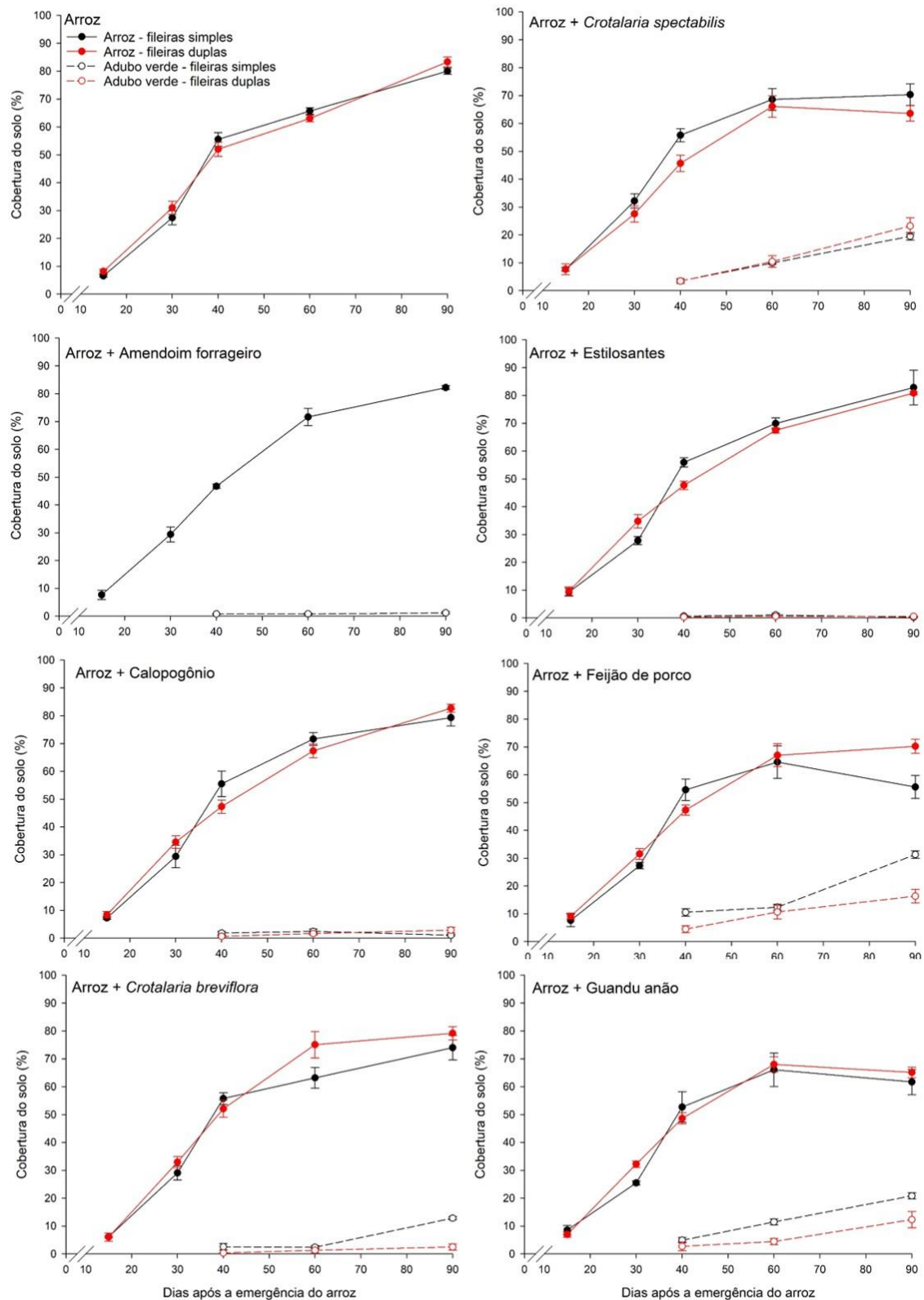


Figura 14. Porcentagem de cobertura do solo por plantas de arroz e de espécies de adubos verdes no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas de arroz.

A perda de produtividade no segundo ano agrícola foi influenciada pela interação dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas (Tabela 7).

De acordo com Gautam et al. (2019), a produtividade de grãos de arroz depende da luz interceptada e da eficiência de conversão dessa luz em massa seca e a repartição e translocação dos fotoassimilados para os grãos.

Tabela 7. Perda de produtividade de grãos de arroz em função dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas.

Sistemas de consórcio	Perda de produtividade %
Arroz + amendoim forrageiro	3,69 c
Arroz + calopogônio	8,11 c
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	7,65 c
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	36,09 a
Arroz + estilosantes	9,59 c
Arroz + feijão de porco	20,82 b
Arroz + guandu anão	35,19 a
Arranjo de plantas	
Fileiras simples	22,99 a
Fileiras duplas	12,95 b
Teste F	
Sistema (S)	8,26**
Arranjo (A)	5,47*
A x M	2,67*
CV(%)	46,91
Média geral	18,35

¹Teste F: **, * e ^{ns} – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

A perda de produtividade de grãos de arroz, em fileiras simples e duplas, foi maior nos consórcios de arroz com guandu anão, *C. spectabilis* e feijão de porco (Tabela 8). A redução de produtividade foi consequência do porte dessas plantas e sua competição por luz com as plantas de arroz. Por essas plantas apresentarem maior porte, ultrapassando a altura do arroz, houve redução de RFAi pelo arroz, massa seca da parte aérea e EUR, resultando em perda de produtividade de grãos.

Nos demais sistemas de consórcio, a perda de produtividade não superou 12%, demonstrando que essas espécies de adubos verdes foram menos competitivas com o arroz, permitindo atingir produtividades próximas ao arroz exclusivo.

A perda de produtividade no consórcio de arroz com guandu anão foi inferior em fileiras duplas de arroz em comparação ao arranjo de plantas em fileiras simples.

Tabela 8. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x arranjo de plantas para perda de produtividade de grãos de arroz.

Tratamentos	Perda de produtividade	
	%	
	Fileiras simples	Fileiras duplas
Arroz + amendoim forrageiro	3,69 b	-
Arroz + calopogônio	8,67 bA	7,55 bA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	12,12 bA	3,19 bA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	48,01 aA	24,17 aB
Arroz + estilosantes	9,36 bA	9,82 bA
Arroz + feijão de porco	23,86 aA	17,76 aA
Arroz + guandu anão	55,20 aA	15,18 aB

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Liu et al. (2017) observaram perda de produtividade de soja quando consorciada com milho em fileiras simples e duplas em relação ao cultivo exclusivo de soja. A redução na produtividade foi mais pronunciada no consórcio em fileiras simples, enquanto no consórcio em fileiras duplas, apesar da produtividade ter sido superior a fileiras simples, foi inferior ao cultivo de soja exclusivo.

3.4 Conclusões

Os adubos verdes semeados simultaneamente ao arroz exercem maior competição por luz, prejudicando o crescimento e desenvolvimento das plantas do cereal, reduzindo a produtividade em comparação à semeadura aos 25 DAE.

As espécies calopogônio, *C. breviflora*, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, na modalidade com semeadura simultânea, causam sombreamento e prejudicam a interceptação de luz pelas plantas de arroz.

Os adubos verdes calopogônio, *C. breviflora* e estilosantes apresentam sincronismo no desenvolvimento com arroz quando consorciado e semeados

aos 25 DAE, em fileiras simples e duplas do cereal, minimizando a competição e a perda de produtividade.

O arranjo de plantas em fileiras duplas permite menor competição de *C. spectabilis* e guandu anão com arroz comparativamente ao fileiras simples.

3.5 Referências

Akanvou R, Kropff MJ, Bastiaans L, Becker M (2002) Evaluating the use of two contrasting legume species as relay intercrop in upland rice cropping systems. **Field Crops Research** 74:23-36.

Arf O, Portugal JR, Buzetti S, Rodrigues RAF, Sá ME (2018) Crop rotation, green manure and nitrogen fertilizers in upland rice under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 48:153-162. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v4851446>

Barthel KU (2004) Color Inspector 3D (2020) Disponível em: <<http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/color-inspector.html>>. Acesso em 09 de junho de 2020.

Calegari A, Carlos JAD (2014) Recomendações de plantio e informações gerais sobre o uso de espécies para adubação verde no Brasil. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD, (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: EMBRAPA; v. 2, p. 451-478.

Cantarella H, van Raij B (1997) Cereais. In: van Raij B, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (Eds.) **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas:IAC, p. 48-49.

Castro AP, Moraes OP, Breseghello F, Lobo VLS, Guimarães CM, Bassinello PZ, Colombari Filho JM, Santiago CM, Furtini IV, Torga PP, Utumi MM, et al. (2014). BRS Esmeralda: cultivar de arroz de terras altas com elevada produtividade e maior tolerância à seca. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 4 p.

Crusciol CAC, Portugal JR, Momesso L, Bossolani JW, Pariz CM, Castilhos AM, Costa NR, Costa CHM, Costa C, Franzluebbbers A, Cantarella H (2020) Overcoming competition from intercropped forages on upland rice with optimized nitrogen input to food production in tropical region. **Frontiers in Sustainable Food Systems** 4:129. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00129>

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 356 p.

Fan Y, Chen J, Cheng Y, Raza MA, Wu X, Wang Z, Liu Q, Wang R, Wang X, Yong T, Liu W, Liu J, Du J, Shu K, Yang W, Yang F (2018) Effect of shading and light recovery on the growth, leaf structure, and photosynthetic performance of soybean in a maize-soybean relay-strip intercropping system. **PLoS ONE** 13(5): e0198159. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198159>

Feng L, Raza MA, Chen Y, Khalid MHB, Meraj TA, Ahsan F, Fan Y, Du J, Wu X, Song C, Liu C, Bawa G, Zhang Z, Yuan S, Yang F, Yang W (2019) Narrow-wide row planting pattern improves the light environment and seed yields of intercrop species in relay intercropping system. **PLoS ONE** 14(2): e0212885. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212885>

Gautam P, Lal B, Nayak AK, Raja R, Panda BB, Tripathi R, Shahid M, Kumar U, Baig MJ, Chatterjee D, Swain CK (2019) Inter-relationship between intercepted radiation and rice yield influenced by transplanting time, method, and variety. **International Journal of Biometeorology** 63:337–349. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-01667-w>

Goes RJ (2012) **Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa na cultura do arroz de terras altas sob efeito de regulador de crescimento e densidades de semeadura**. 68 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção)– UNESP, Ilha Solteira.

Gong WZ, Jiang CD, Wu YS, Chen HH, Liu WY, Yang WY (2015) Tolerance vs. avoidance: two strategies of soybean (*Glycine max*) seedlings in response to shade in intercropping. **Photosynthetica** 53:259–268.

Gong X, Ferdinand U, Dang K, Li J, Chen G, Luo Y, Yang P, Feng B (2020) Boosting proso millet yield by altering canopy light distribution in proso millet/mung bean intercropping systems. **The crop journal** 8:365–377. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.09.009>

Gosse G, Varlet-Grancher C, Bonhomme R, Chartier M, Allirand JM, Lemaire G (1986) Maximum dry matter production and solar radiation intercepted by a canopy. **Agronomie** 6:47–56.

Gou F, van Ittersum MK, van der Werf W (2017) Simulating potential growth in a relay-strip intercropping system: Model description, calibration and testing. **Field Crops Research** 200:122–142. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.015>

Iqbal MA, Bethune BJ, Iqbal A, Abbas RN, Aslam Z, Khan HZ, Ahmad B (2017) Agro-botanical response of forage sorghum-soybean intercropping systems under atypical spatio-temporal pattern. **Pakistan Journal of Botany** 49:987-994.

Iqbal N, Hussain S, Ahmed Z, Yang F, Wang X, Liu W, Yong T, Du J, Shu K, Yang W (2018) Comparative analysis of maize-soybean strip intercropping systems. A review. **Plant Production Science** 22:131–142. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1541137>

Lin C, McGraw R, George M, Garrett H (1999) Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforest Systems** 44:109–119.

Lima PLT, Silva MLN, Quinton JN, Batista PVG, Cândido BMM, Curi N (2018) Relationship among crop systems, soil cover, and water erosion on a typic hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 42:e0170081. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170081>

Lithourgidis AS, Dordas CA, Damalas CA, Vlachostergios DN (2011) Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. **Australian Journal of Crop Science** 5:396-410.

Liu X, Rahman T, Song C, Su B, Yang F, Young T, Wu Y, Zhang C, Yang E (2017) Changes in light environment, morphology, growth and yield of soybean in maize-soybean intercropping systems. **Field Crops Research** 200:38–46. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.10.003>

Monteith JL (1972) Solar radiation and productivity of the tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology** 9:747–766.

Müller M, Rakocevic M, Caverzan A, Chavarria G (2017) Grain yield differences of soybean cultivars due to solar radiation interception. **American Journal of Plant Sciences** 8:2795-2810. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.811189>

Portugal JR, Arf O, Buzetti S, Portugal ARP, Garcia NFS, Meirelles FC, Garé LM, Abrantes FL, Rodrigues, RAF (2020) Do cover crops improve the productivity and industrial quality of upland rice? **Agronomy Journal** 112:327-343. <https://doi.org/10.1002/agj2.20028>

Raza MA, Feng LY, van der Werf W, Cai GR, Khalid MHB, Iqbal N, Hassan MJ, Meraj TA, Naeem M, Khan I, Rehman S, Ansar M, Ahmed M, Yang F, Yang W (2019) Narrow-wide-row planting pattern increases the radiation use efficiency and seed yield of intercrop species in relay-intercropping system. **Food Energy Security** 8:e170. <https://doi.org/10.1002/fes3.170>

Sinclair TR, Muchow RC (1999) Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy** 65, 5–265.

Souza SS, Couto Júnior PA, Flôres JA, Mingotte FLC, Lemos LB (2019) Maize cropping systems and response of common bean in succession subjected to nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 49:e55718. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632019v4955718>

Wang Q, Zhang D, Zhang L, Han S, Werf W van der, Evers, JB, Su Z, Anten NPR (2017) Spatial configuration drives complementary capture of light of the understory cotton in young jujube plantations. **Field Crops Research** 213:21–28. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.016>

Wu Y, Gong W, Yang W (2017) Shade inhibits leaf size by controlling cell proliferation and enlargement in soybean. **Scientific Reports** 7:9259. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10026-5>

Yang F, Huang S, Gao R, Liu W, Yong T, Wang X, Wu X, Yang W (2014) Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red:far-red ratio. **Field Crops Research** 155:245–253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.011>

Yoshida S (1981) Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines, 269.

CAPÍTULO 3 - Estado nutricional de arroz de terras altas consorciado com adubos verdes em diferentes modalidades de cultivo e arranjos de plantas

Resumo – No consórcio de arroz de terras altas com adubos verdes é importante compreender como esse sistema de produção pode interferir no estado nutricional das plantas e consequentemente na necessidade de adequação do manejo da adubação em razão da competitividade interespecífica. Objetivou-se avaliar a absorção e exportação de macronutrientes de arroz de terras altas e adubos verdes quando consorciados em diferentes épocas de semeadura e arranjos de plantas. Foram conduzidos dois experimentos, nos anos agrícolas 2018/19 e 2019/20, no município de Jaboticabal-SP, Brasil, no período de primavera-verão em área com irrigação por aspersão convencional, com a cultivar BRS Esmeralda. O primeiro experimento foi composto por sistemas de cultivo de arroz exclusivo e consorciado com adubos verdes (amendoim forrageiro, calopogônio, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, estilosantes, feijão de porco e guandu anão) e por modalidades de cultivo (arroz com adubos verdes com semeadura simultânea na entrelinha e arroz com adubos verdes com semeadura aos 25 dias após a emergência - DAE - do cereal na entrelinha). O segundo experimento foi constituído pelos mesmos sistemas de cultivo de arroz exclusivo e consorciado com adubos verdes do primeiro experimento e por arranjo de plantas de arroz (arroz semeado em fileiras simples e em fileiras duplas). Para ambos os experimentos o delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. Avaliou-se o teor de macronutrientes na folha bandeira do arroz, bem como o acúmulo de macronutrientes nas plantas de arroz e de adubos verdes, e a exportação nos grãos de arroz. Os sistemas de consórcio de arroz com adubos verdes em semeadura simultânea ou aos 25 DAE, bem como o arranjo de plantas em fileiras simples e duplas permitiram adequada absorção de nutrientes pelo arroz de terras altas. A semeadura dos adubos verdes simultaneamente incrementou os teores de P, K, Ca e Mg nas folhas, plantas de arroz e grãos de arroz (exceto P e K), bem como o acúmulo de macronutrientes nas plantas de adubos verdes. As espécies amendoim forrageiro, *C. spectabilis* e estilosantes aumentaram a exportação de N, P, K, Mg e S nos grãos de arroz. O arranjo de plantas em fileiras simples incrementou o teor de P nas folhas de arroz, enquanto em fileiras duplas aumentou o teor de N, e também o acúmulo de Ca e Mg nas plantas de arroz. Os adubos verdes calopogônio, *C. spectabilis* e guandu anão favoreceram o teor de K e Mg nas folhas de arroz. O arranjo de plantas em fileiras duplas também proporcionou aumento no acúmulo de macronutrientes nos adubos verdes e na exportação de nutrientes em grãos de arroz. As espécies *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão obtiveram maior acúmulo de macronutrientes nas plantas e reduziram a exportação de nutrientes (exceto N) nos grãos de arroz.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., nutrição de plantas, macronutrientes, competição, facilitação

4.1 Introdução

O sistema de cultivo consorciado permite o desenvolvimento de duas ou mais espécies na mesma área e durante um período de convivência entre as plantas. O consórcio proporciona diversos benefícios para o sistema agrícola como melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo, devido à diversificação de espécies, com sistemas radiculares complementares, além de maior cobertura do solo, reduzindo os riscos de erosão, aumentando a infiltração de água no solo e permitindo a redução de amplitude térmica.

Apesar dos benefícios promovidos pelo sistema de consórcio, os ajustes a serem realizados podem determinar o seu sucesso, uma vez que as espécies consorciadas podem competir por água, luz e nutrientes. Em todo o mundo, sistemas de consórcios são estudados, nas diversas modalidades de cultivo, com diferentes arranjos de plantas, espaçamento, densidade de plantas e espécies (Zhang et al., 2017; Arf et al., 2018; Raza et al., 2020; Fan et al., 2020).

As espécies consorciadas devem possuir sincronismo no desenvolvimento para que o efeito da competição seja minimizado e que haja benefícios no seu desenvolvimento e produtividade. A absorção de nutrientes pelas plantas em consórcio está relacionada à produtividade de massa seca, que será afetada pela espécie utilizada, o estágio de desenvolvimento que a espécie se encontra e as características fotossintéticas (Chen et al., 2017).

Entre os sistemas de consórcios utilizados na agricultura, o consórcio de cereais e adubos verdes permite a produção de grãos aliado à massa seca de relação C/N intermediária, beneficiando a decomposição da palhada e liberação de nutrientes para a cultura posterior (Arf et al., 2018). O consórcio de cereais e adubos verdes permite a complementariedade de sistemas radiculares, com crescimento atingindo diferentes profundidades do solo, além de apresentarem exigências nutricionais distintas.

É relatado que em sistemas de consórcio em que ocorre a semeadura das espécies simultaneamente, as plantas se desenvolvem em mesmo estágio, aumentando a competição por água, luz e nutrientes em relação à semeadura que é realizada em cobertura, quando uma espécie já se encontra em um certo estágio de desenvolvimento (Raza et al., 2020). Quando uma espécie é semeada anteriormente à outra, ocorre uma diferenciação temporal na absorção de

nutrientes, dividindo a absorção de um recurso comum no tempo (Zhang et al., 2017).

O arranjo de plantas pode afetar a competição por nutriente entre as plantas consorciadas. A mudança no arranjo de plantas pode alterar a competição espacial das mesmas, isso devido à exploração do solo pelas raízes das plantas. Em sistemas de cultivo consorciado em fileiras alternadas ou simples, a competição espacial interespecífica é superior que em fileiras duplas, onde há mais espaço para as raízes de determinada espécie atingirem maior volume (Raza et al., 2019).

Por outro lado, o consórcio pode facilitar a absorção de nutrientes pelas plantas incrementando o crescimento das mesmas. Assim, as vantagens do consórcio são resultado líquido da competição interespecífica e da facilitação (Böhringer e Leihner, 1997). Li et al. (2003) constataram facilitação na aquisição de fósforo (P) no consórcio de milho e feijão-fava, com concentração nas plantas superiores em relação ao cultivo exclusivo. Essa facilitação pode ocorrer por meio de alguns mecanismos como excreção de compostos pelas raízes disponibilizando P para outra espécie ou através da transferência de nutrientes por hifas de fungos micorrízicos interconectados nas raízes das plantas consorciadas (Walter et al., 1996).

Outro benefício do consórcio na nutrição das plantas é a transferência de nitrogênio (N) de plantas leguminosas, que são capazes de fixar nitrogênio atmosférico pela associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, para não leguminosas quando essas são consorciadas (Ingraffia et al., 2019).

Os nutrientes são fundamentais para o desenvolvimento das plantas e a competição interespecífica pode prejudicar o metabolismo das plantas e causar danos na produtividade. A mobilidade dos nutrientes no solo pode afetar a competição interespecífica, por exemplo, o efeito da competição é mais pronunciado quando ocorre por um elemento móvel (Andersen et al., 2005).

As espécies consorciadas apresentam diferentes níveis de competitividade por alguns nutrientes. Os cereais, geralmente, são mais competitivos que as leguminosas na absorção de nitrato e sulfato (Andersen, 2007). Além disso, a competição interespecífica por um nutriente pode alterar a dinâmica na absorção de outros nutrientes devido às interações que podem ocorrer como sinergismo e antagonismo.

A competição por nutrientes em sistemas consorciados também pode indicar necessidade na alteração do manejo da adubação. Gou et al. (2018) verificaram que a competição por nutrientes no consórcio de milho e trigo não permitiu que a cultura atingisse seu potencial produtivo, mesmo aplicando a quantidade recomendada para ambas culturas em cultivo exclusivo, concluindo a necessidade de fornecimento de maior quantidade de nitrogênio (N) nesse sistema.

No Brasil, o sistema plantio direto destaca-se como sistema de cultivo conservacionista, e a inserção de consórcio de culturas nesse sistema permite produção de alimentos, massa seca para cobertura do solo, e a adoção desse cultivo na rotação de culturas. O consórcio de milho e forrageiras ou leguminosas já vem sendo utilizado (Arf et al., 2018), principalmente na sucessão com a soja.

Para a cultura do arroz de terras altas, o consórcio com forrageiras é utilizado para reforma/renovação de pastagens (Crusciol et al., 2020). Além de haver poucas informações do consórcio desse cereal com adubos verdes, não há relatos da absorção de nutrientes pelas plantas nesse sistema de cultivo. O entendimento da competição por nutrientes ou a facilitação entre as plantas consorciadas pode auxiliar no manejo da adubação das culturas nesse sistema de cultivo.

As hipóteses testadas foram: a) as espécies de maior porte podem proporcionar competição interespecífica por nutrientes no consórcio com arroz, b) a época de semeadura dos adubos verdes no consórcio com arroz pode interferir na absorção de nutrientes e acúmulo na massa seca, c) o arranjo de plantas em fileiras duplas promove complementariedade espacial, reduzindo a competição por nutrientes.

Objetivou-se avaliar a absorção e exportação de macronutrientes de arroz de terras altas e adubos verdes quando consorciados em diferentes modalidades de cultivo e arranjos de plantas.

4.2 Material e Métodos

Os experimentos foram desenvolvidos nas safras 2018/19 e 2019/20 no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil (21° 14' 33" S e 48° 17' 10" O), em

altitude de 565 metros. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa (Embrapa, 2018).

Anteriormente à instalação dos experimentos, a área foi cultivada com milho (*Pennisetum glaucum*), utilizando a cultivar ADR 300, semeado em dezembro de 2017 e 2018 e dessecado em março de 2018 e 2019.

Realizou-se a análise química do solo antes da instalação dos experimentos, com coleta na camada de 0-20 cm. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 1. Os valores para a análise granulométrica do solo foram: argila = 540 g kg⁻¹; silte = 230 g kg⁻¹ e areia = 230 g kg⁻¹.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento.

Ano	MOS ^a g dm ⁻³	P _(resina) mg dm ⁻³	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	CTC	V
							-----mmolc dm ⁻³ -----			%
2018-2019	20	65	5,6	5,9	39	19	29	0	93	69
2019-2020	22	58	6,1	6,4	42	17	20	0	85	77

^aMOS=Matéria orgânica do solo

O clima da região é caracterizado como Aw (tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca de inverno). Os valores de temperaturas máximas, mínimas e de precipitação durante a condução dos experimentos encontram-se na Figura 1.

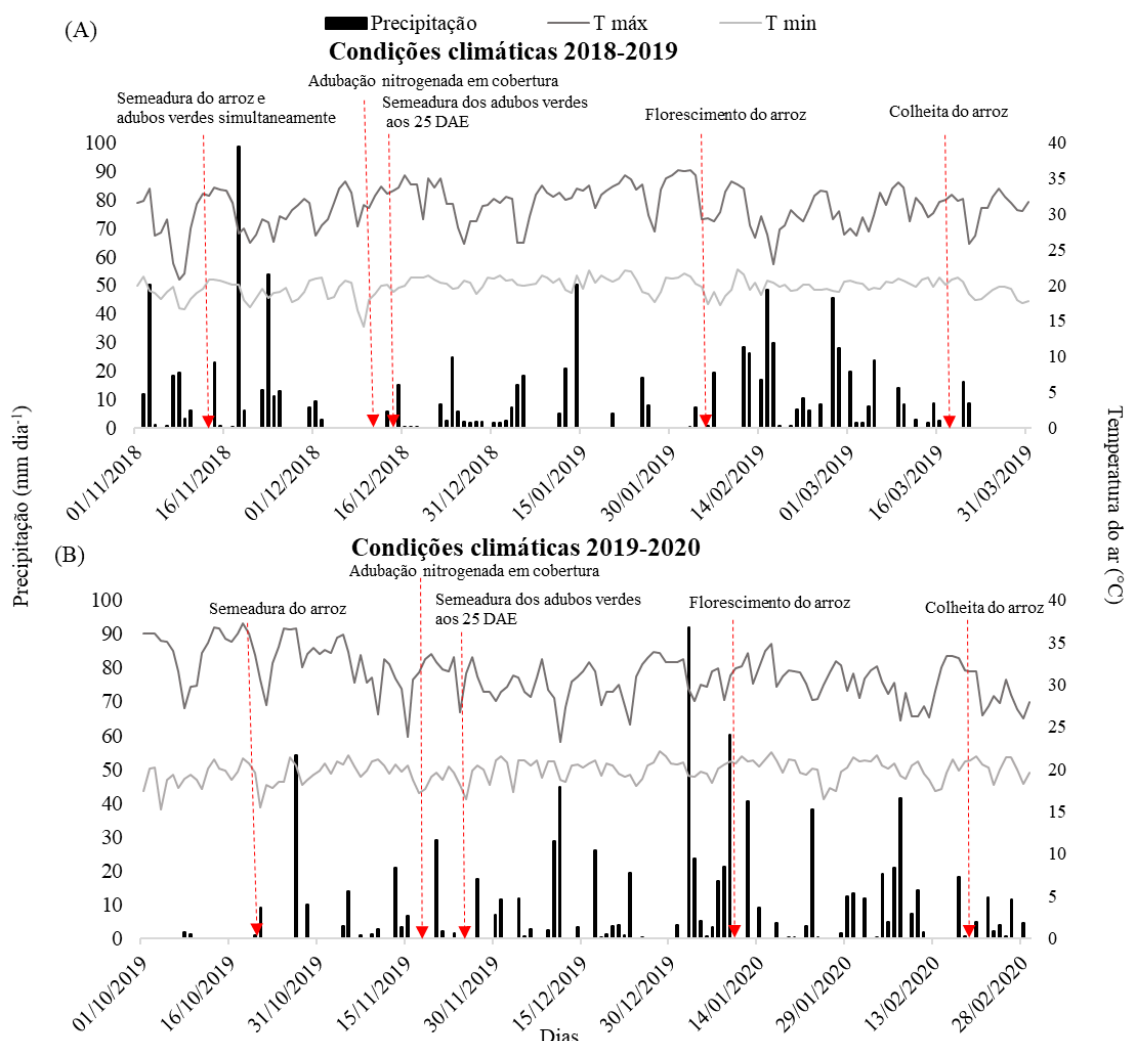


Figura 1. Precipitação diária, temperaturas máximas e mínimas, bem como alguns eventos agrícolas durante a condução dos experimentos nas safras 2018/19 (A) e 2019/20 (B) em Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil.

Os experimentos foram dispostos em delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições, em cada ano agrícola. Os tratamentos foram constituídos por oito sistemas de cultivo de arroz, sendo um exclusivo e sete consorciado com adubos verdes. Os sistemas de cultivo de arroz consorciado com adubos verdes foram: arroz + amendoim forrageiro, arroz + calopogônio, arroz + *Crotalaria breviflora*, arroz + *C. spectabilis*, arroz + estilosantes, arroz + feijão de porco, arroz + guandu anão.

No primeiro ano agrícola, os adubos verdes foram semeados simultaneamente ao arroz e após 25 DAE (dias após a emergência) do cereal.

No segundo ano agrícola, os adubos verdes foram semeados apenas aos 25 DAE em fileiras simples ou duplas de arroz. As espécies de adubos verdes

utilizadas foram as mesmas no primeiro e segundo ano, com exceção do amendoim forrageiro para o arranjo de plantas em fileiras duplas de arroz.

No primeiro ano agrícola, cada parcela foi composta por cinco linhas de arroz de cinco metros de comprimento, com espaçamento entrelinhas da cultura do arroz de 0,45 m e os adubos verdes foram semeados nas entrelinhas de arroz, distanciando-se 0,22 m dessas (Figura 2 A). No segundo ano agrícola, cada parcela foi composta por seis linhas de seis metros de comprimento. No arranjo de plantas em fileiras duplas, os adubos verdes foram semeados entre as linhas 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6 (Figura 2 B). A área útil foi composta pelas linhas centrais, considerando as linhas laterais como bordadura.

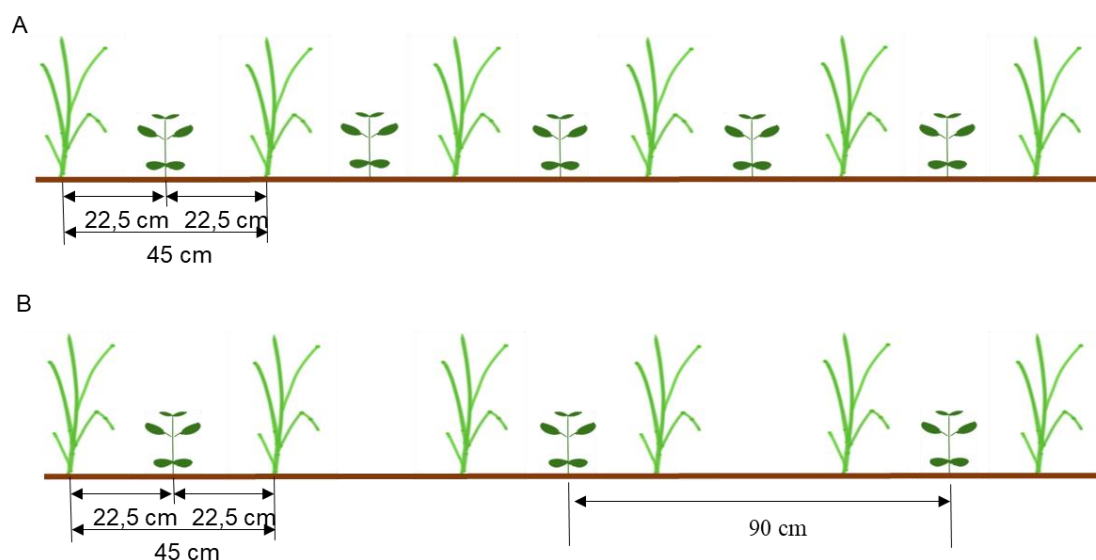


Figura 2. Esquema do sistema consorciado de arroz com adubos verdes semeados aos 25 DAE em fileiras simples (A) e fileiras duplas de arroz (B).

A cultura do arroz foi instalada por meio de semeadura direta. A semeadura do arroz foi realizada em 13 de novembro de 2018 e em 22 de outubro de 2019. A densidade de semeadura de arroz foi de 70 kg ha^{-1} da cultivar BRS Esmeralda. Essa cultivar é caracterizada pelo potencial produtivo atingir 7.525 kg ha^{-1} , além de apresentar altura das plantas variando de 95 a 108 cm. O ciclo até o florescimento é de cerca de 77 dias e até a maturação varia de 105 a 110 dias, além de apresentar grãos longo/fino. Como vantagens dessa cultivar pode-se citar o vigor inicial, com rápido fechamento das entrelinhas, resistência ao acamamento, persistência da coloração verde das folhas na fase de

maturação de grãos (stay green), e também tolerância à seca e resistência moderada a brusone (Castro et al., 2014).

A semeadura dos adubos verdes realizada aos 25 DAE, ocorreu quando as plantas de arroz se encontravam no estágio V₄ (formação do colar da 4ª folha no colmo principal). A quantidade de sementes de adubos verdes utilizada foi a recomendada de acordo com Calegari e Carlos (2014) para *Crotalaria breviflora* D.C. (12 kg ha⁻¹), *Crotalaria spectabilis* Roth (12 kg ha⁻¹), feijão de porco – *Canavalia ensiformis* L. (80 kg ha⁻¹), guandu anão – *Cajanus cajan* L. (35 kg ha⁻¹), calopogônio – *Calopogonium mucunoides* Desv. (8 kg ha⁻¹), amendoim forrageiro – *Arachis pintoii* Krap. e Greg. (8 kg ha⁻¹), estilosantes - *Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala* cv. Campo Grande (4 kg ha⁻¹). As sementes de arroz e de adubos verdes foram tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (5, 45 e 50 mL 100 kg de semente⁻¹, respectivamente).

Para a semeadura dos adubos verdes, realizou-se operação mecanizada com semeadura-adubadora para abertura do sulco e posteriormente foi feita a deposição das sementes de maneira manual, bem como o fechamento do sulco.

Nos dois anos agrícolas, a adubação básica nos sulcos de semeadura da cultura do arroz foi realizada com 210 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16, equivalente a 16,8 kg ha⁻¹ de N, 58,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 33,6 kg ha⁻¹ de K₂O, de acordo com as recomendações de Cantarella e Raij (1997) para a cultura do arroz de terras altas. A adubação de cobertura foi realizada no estágio V₃ (formação do colar da 3ª folha no colmo principal e início do perfilhamento), aos 22 e 20 DAE (dias após emergência), no primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente, na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, usando como fonte sulfato de amônio (Cantarella e Raij, 1997).

Anteriormente à implantação do experimento foi realizado um bioensaio para avaliar herbicidas e doses que não prejudicassem o desenvolvimento dos adubos verdes, principalmente na semeadura simultânea do consórcio. A partir dos resultados obtidos, observou-se que a aplicação de trifluralina (1.080 g ha⁻¹ i.a.) em pré-emergência e bentazona com metade da dose recomendada (360 g ha⁻¹ i.a.) em pós-emergência não prejudicaram o desenvolvimento do arroz e dos adubos verdes.

Assim, o manejo fitossanitário no primeiro ano agrícola, foi realizado com aplicação de trifluralina (1.080 g ha⁻¹ i.a.) para controle de plantas daninhas em pré-emergência logo após a semeadura. Aos 13 DAE (V₂ – formação do colar da

2ª folha no colmo principal) foi feita a aplicação de bentazona ($360 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$) para controle em pós-emergência. A aplicação de inseticida (tiametoxam + lambda-cialotrina ($35,25 \text{ g}$ e $26,5 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$, respectivamente)) e fungicida (picoxistrobina + ciproconazole (80 e $32 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$, respectivamente) aos 63 DAE (R_2 – formação do colar da folha bandeira) e tebuconazole ($187,5 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$) aos 90 DAE (R_5 – expansão do grão em comprimento e largura).

No segundo ano agrícola, após a semeadura do arroz, foi realizada a aplicação de pendimethalin (1.400 g ha^{-1}) para o controle em pré-emergência. Aos 8 DAE (V_1 – formação do colar da 1ª folha do colmo principal) e aos 14 DAE (V_2) foi feita a aplicação de bentazona ($360 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$) para controle em pós-emergência. A aplicação de inseticida (tiametoxam + lambda-cialotrina ($35,25 \text{ g}$ e $26,5 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$, respectivamente) e fungicida (picoxistrobina + ciproconazole (80 e $32 \text{ g ha}^{-1} \text{ i.a.}$, respectivamente) foi feita aos 47 e 79 DAE (R_4 - florescimento)

Houve fornecimento de água de modo suplementar por meio de irrigação utilizando um sistema do tipo aspersão, totalizando uma lâmina de 90 e 75 mm, no primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente.

No primeiro ano agrícola, as avaliações foram realizadas apenas nos sistemas de arroz exclusivo e consorciado com amendoim forrageiro, *C. breviflora* e estilosantes na semeadura simultânea, uma vez que os demais sistemas (consórcio de arroz com calopogônio, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão) inviabilizaram o desenvolvimento e produtividade do arroz. Para a semeadura aos 25 DAE, as análises foram realizadas em todos os sistemas, bem como no segundo ano agrícola.

A avaliação de absorção de macronutrientes foi determinada por ocasião do florescimento das plantas de arroz (R_4), aos 77 e 79 DAE no primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente. Coletou-se 20 folhas bandeira do arroz, por parcela. Realizou-se, também, a coleta de 0,45 m de linha de arroz e de adubos verdes, em dois pontos por parcela, para a determinação de massa seca da parte aérea. O material foi seco em estufa de ventilação forçada à temperatura média de $60-70^\circ\text{C}$ até atingir massa em equilíbrio. Posteriormente o material foi submetido ao processo de moagem e em seguida determinou-se os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Determinou-se o acúmulo de macronutrientes na parte aérea do

arroz e adubos verdes pelo produto do teor de macronutrientes (g kg^{-1}) e os valores de massa seca (kg ha^{-1}).

Após a determinação da produtividade de grãos pela colheita manual de duas linhas de 4,5 metros de arroz, por parcela, sendo os valores convertidos em kg ha^{-1} (13% base úmida), os grãos foram moídos e determinou-se o teor de macronutrientes. A exportação de macronutrientes foi determinada pelo produto dos teores de macronutrientes e da produtividade de grãos.

Os dados de cada ano agrícola foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando constatado significância para o teste F ($<0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (0,05).

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Absorção de nutrientes – Primeiro ano agrícola

No primeiro ano agrícola os teores de P, K, Ca, Mg e S diferiram entre as épocas de semeadura dos adubos verdes. Para o S, também foi verificado efeito dos sistemas de consórcio e houve interação significativa para sistemas de consórcio e modalidade de cultivo para P e Mg (Tabela 2). A semeadura dos adubos verdes simultaneamente ao arroz proporcionou maiores teores de P, K, Ca e Mg em relação à semeadura aos 25 DAE, enquanto para o S a semeadura aos 25 DAE apresentou maior valor.

Isso pode ter ocorrido pois os adubos verdes consorciados com arroz são capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio, e durante esse processo excretam H^+ pelas raízes. Esse processo pode contribuir para a mobilização do fosfato moderadamente solúvel na rizosfera, permitindo maior absorção pelo arroz (Li et al., 2003). O fósforo também pode ter sido transferido por meio de hifas de fungos micorrízicos dos adubos verdes para o arroz (Walter et al., 1996).

Além disso, outros produtos excretados pelas raízes dos adubos verdes, bem como a alteração na microbiota do solo (Bargaz et al., 2017) pode ter favorecido o crescimento das raízes de arroz, permitindo exploração de maior volume de solo e consequentemente maior absorção de nutrientes (Li et al. 2003).

Tabela 2. Teores de macronutrientes na folha bandeira de arroz em função dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo.

Sistemas de consórcio	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
Arroz	32,81	2,12	13,32	4,04	1,51	1,74 b
Arroz + amendoim forrageiro	31,72	2,12	13,20	3,88	1,55	1,84 b
Arroz + calopogônio	31,50	2,08	12,78	3,45	1,42	1,95 a
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	32,11	2,18	12,94	4,06	1,62	1,82 b
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	31,85	2,08	13,12	3,62	1,40	2,02 a
Arroz + estilosantes	32,11	2,02	13,02	3,58	1,54	1,71 b
Arroz + feijão de porco	33,78	2,12	12,40	3,30	1,58	2,10 a
Arroz + guandu anão	32,55	2,10	13,55	3,65	1,45	2,00 a
Modalidade						
Simultâneo	32,09	2,15 a	13,61 a	4,39 a	1,69 a	1,51 b
25 DAE	32,35	2,08 b	12,80 b	3,45 b	1,44 b	2,03 a
Teste F ¹						
Sistema (S)	1,08 ^{ns}	2,11 ^{ns}	0,64 ^{ns}	2,08 ^{ns}	0,92 ^{ns}	17,20**
Modalidade (M)	0,31 ^{ns}	8,41**	8,04**	44,68**	19,75**	455,89**
S x M	0,81 ^{ns}	3,28*	0,12 ^{ns}	1,07 ^{ns}	8,40**	0,35 ^{ns}
CV(%)	4,72	4,01	7,10	12,22	12,20	4,27
Média geral	32,27	2,11	13,07	3,76	1,52	1,86

¹Teste F: ** – significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

A semeadura dos adubos verdes simultaneamente pode ter favorecido a absorção de nutrientes pelo maior tempo de desenvolvimento dessas plantas, permitindo maior quantidade de raízes, com maior liberação de exsudados e contribuindo para fornecimento de nutrientes para o arroz. Segundo Bargaz et al. (2017) as raízes de plantas consorciadas possuem maior desenvolvimento em comparação ao cultivo exclusivo.

De acordo com Gitari et al. (2018), em sistemas consorciados há maior cobertura do solo pelo dossel das plantas, reduzindo a temperatura sob o dossel e evaporação de água no solo. Assim, há maior retenção de água no solo e consequentemente maior solubilização de nutrientes, o que pode ter ocorrido na semeadura simultânea.

Os sistemas de consórcio de arroz com calopogônio, *Crotalaria spectabilis*, feijão de porco e guandu anão resultaram em maior teor de S na folha de arroz em comparação aos demais sistemas de consórcio. Destaca-se que nos consórcios de cereais com adubos verdes, espécies como feijão de porco e guandu anão possuem desenvolvimento radicular em profundidade (Calegari e

Carlos, 2014), sendo capaz de absorver os nutrientes em camadas mais profundas do solo, enquanto o arroz se beneficia da camada superficial.

Apesar da diferença significativa, os valores ficaram próximos, e estão dentro da faixa considerada adequada por Cantarella e Raij (1997) para o arroz, sendo N 27-35 g kg⁻¹; P: 1,8 – 3,0 g kg⁻¹; K: 13 – 30 g kg⁻¹; Ca: 2,5 – 10 g kg⁻¹; Mg: 1,5 – 5,0 g kg⁻¹ e S: 1,4 – 3,0 g kg⁻¹.

A partir do desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para teores de P e Mg em folha bandeira de arroz, observou-se que na semeadura aos 25 DAE não houve diferença entre os sistemas de consórcio, enquanto na semeadura simultânea, os valores de P e Mg foram superiores no consórcio de arroz com *Crotalaria breviflora* (Tabela 3). Nesse sistema de consórcio, os teores de P e Mg foram maiores na semeadura simultânea em comparação aos 25 DAE.

Tabela 3. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para teores de P e Mg em folha bandeira de arroz.

cultivo para testes de P e Mg em linha bandeira de arroz.				
Tratamentos	P		Mg	
	-----g kg ⁻¹ -----			
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz	2,15 bA	2,10 aA	1,60 bA	1,42 aA
Arroz + amendoim forrageiro	2,15 bA	2,10 aA	1,58 bA	1,52 aA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	2,30 aA	2,05 aB	1,98 aA	1,28 aB
Arroz + estilosantes	2,02 bA	2,02 aA	1,62 bA	1,45 aA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

A *C. breviflora* possui maior porte em relação ao amendoim forrageiro e estilosantes, e maior desenvolvimento radicular, que pode ter contribuído para maior liberação de exsudados e estímulo para o crescimento das raízes de arroz ou até mesmo disponibilizando P pela modificação nas condições da rizosfera (Li et al., 2003). A semeadura simultânea pode ter contribuído para maior disponibilidade desses nutrientes para o arroz devido à maior cobertura do solo nesse sistema, consequentemente proporcionando maior umidade no solo, fundamental para transporte e absorção de nutrientes (Gitari et al., 2018).

O acúmulo de P, Ca, Mg e S em plantas de arroz consorciado com adubos verdes foi afetado pela época de semeadura (Tabela 4). A semeadura dos adubos verdes simultaneamente proporcionou maiores acúmulos de P, Ca e Mg em comparação à semeadura aos 25 DAE, enquanto para o S o oposto foi

encontrado. Os sistemas de arroz consorciado influenciaram o acúmulo de S em plantas de arroz, sendo o consórcio de arroz com calopogônio, feijão de porco e guandu anão que permitiram maiores valores em relação aos demais.

Tabela 4. Acúmulo de macronutrientes em plantas de arroz em função dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo.

Sistemas de consórcio	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Arroz	116,58	13,53	110,69	16,45	15,19	8,99 b
Arroz + amendoim forrageiro	111,12	14,08	116,79	14,76	14,73	9,72 b
Arroz + calopogônio	131,33	13,31	124,36	14,06	13,72	12,42 a
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	109,50	13,16	110,52	15,21	14,39	8,85 b
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	110,42	12,56	113,37	13,78	13,56	10,31 b
Arroz + estilosantes	114,41	13,63	117,34	15,13	14,46	9,00 b
Arroz + feijão de porco	111,60	12,45	111,97	13,45	15,04	10,88 a
Arroz + guandu anão	117,75	12,88	118,70	11,63	12,73	11,40 a
Modalidade						
Simultâneo	116,38	15,44 a	120,66	18,07 a	17,01 a	8,04 b
25 DAE	113,60	12,28 b	112,05	12,97 b	13,06 b	10,75 a
Teste F¹						
Sistema (S)	0,38 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,27 ^{ns}	2,96*
Modalidade (M)	0,14 ^{ns}	18,28**	1,10 ^{ns}	26,91**	13,66**	26,78**
S x M	2,03 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,87 ^{ns}
CV(%)	21,43	18,10	23,35	21,91	24,24	17,37
Média geral	114,53	13,34	114,92	14,67	14,38	9,85

¹Teste F: ** – significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

Esses resultados foram semelhantes ao encontrado na diagnose foliar do arroz, sendo atribuído à maior umidade do solo pela sua maior cobertura na semeadura simultânea de arroz e adubos verdes. Para o enxofre, novamente os consórcios de arroz com feijão de porco e guandu anão se destacaram provavelmente pelo crescimento radicular em profundidade, permitindo a aquisição de nutrientes na superfície pelo arroz.

Para o acúmulo de macronutrientes nos adubos verdes foi observado efeito dos sistemas de consórcio, modalidade de cultivo e da interação de sistemas de consórcio e modalidade de cultivo (Tabela 5).

Tabela 5. Acúmulo de macronutrientes em plantas de adubos verdes em função dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo.

Sistemas de consórcio	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Arroz + amendoim forrageiro	4,22 b	0,62 b	6,00 b	3,48 b	0,96 b	0,52 b
Arroz + calopogônio	7,58 b	0,587 b	6,12 b	2,64 b	0,55 b	0,57 b
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	40,91 a	3,53 a	28,16 a	17,74 a	4,88 a	1,94 a
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	14,88 b	0,83 b	13,92 b	4,56 b	1,19 b	1,03 b
Arroz + estilosantes	7,10 b	0,84 b	6,51 b	4,07 b	0,96 b	0,69 b
Arroz + feijão de porco	47,25 a	3,26 a	27,60 a	19,76 a	3,28 a	2,47 a
Arroz + guandu anão	26,65 a	1,58 b	15,78 b	4,09 b	1,20 b	1,30 b
Modalidade						
Simultâneo	32,50 a	3,12 a	25,38 a	15,96 a	4,29 a	1,90 a
25 DAE	14,76 b	0,98 b	9,80 b	4,82 b	0,99 b	0,85 b
Teste F ¹						
Sistema (S)	7,59**	5,22**	4,71**	6,34**	5,52**	4,44**
Modalidade (M)	10,39**	22,86**	16,43**	28,07**	35,68**	14,80**
S x M	944,93**	174,86**	112,64**	147,48**	63,31**	36,88**
CV(%)	43,86	42,42	42,40	42,89	42,50	37,82
Média geral	20,08	1,62	14,48	8,16	1,98	1,17

¹Teste F: ** – significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

Os sistemas de consórcio de arroz com calopogônio, *Crotalaria spectabilis* e feijão de porco proporcionaram maiores acúmulos de P, K, Ca, Mg e S, e juntamente com esses adubos verdes, o guandu anão resultou em maior acúmulo de N. Isso ocorreu provavelmente pelo maior porte dessas plantas, com maior produtividade de massa seca da parte aérea, resultando em maior acúmulo de macronutrientes.

Para o desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para acúmulo de N, o consórcio de arroz com *C. breviflora* proporcionou maior valor, seguido do consórcio com estilosantes na semeadura simultânea (Tabela 6). Na semeadura aos 25 DAE, o consórcio de arroz com *C. breviflora* apresentou maior acúmulo de N em relação ao amendoim forrageiro e estilosantes.

Tabela 6. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para acúmulo de N, P e K em plantas de adubos verdes.

Tratamentos	cultivo para acúmulo de N, P e K em plantas de adubos verdes.					
	N		P		K	
	----- kg ha ⁻¹ -----					
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz + amendoim forrageiro	7,93 cA	1,14 bB	1,13 bA	0,11 aB	10,99 bA	1,02 aB
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	76,25 aA	5,57 aB	6,72 aA	0,34 aB	52,88 aA	3,44 aB
Arroz + estilosantes	13,31 bA	0,90 bB	1,51 bA	0,11 aB	12,25 bA	0,78 aB

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

O acúmulo de P, K, Ca, Mg e S nos adubos verdes, na semeadura simultânea, foi superior no consórcio de arroz com *C. breviflora*, enquanto na semeadura aos 25 DAE não houve diferença (Tabela 7). Para o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S houve maiores valores na semeadura simultânea em relação a 25 DAE para os consórcios de arroz com amendoim forrageiro, *C. breviflora* e estilosantes. O fato de os adubos verdes em semeadura simultânea possuírem maior tempo para desenvolvimento ocasionou maior desenvolvimento e consequentemente maior acúmulo desses nutrientes.

Tabela 7. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para acúmulo de Ca, Mg e S em plantas de adubos verdes.

Tratamentos	cultivo para adubação de Ca, Mg e S em plantas de adubos verdes:					
	Ca		Mg		S	
	----- kg ha ⁻¹ -----					
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz + amendoim forrageiro	6,38 bA	0,59 aB	1,74 bA	0,17 aB	0,89 bA	0,16 aB
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	33,83 aA	1,65 aB	9,31 aA	0,46 aB	3,58 aA	0,30 aB
Arroz + estilosantes	7,69 bA	0,46 aB	1,82 bA	0,90 aB	1,24 bA	0,14 aB

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Houve interação significativa de sistemas de consórcio e modalidade de cultivo para a exportação de N, P, K, Mg e S, bem como influência dos sistemas de consórcio. A exportação de Ca, Mg e S também sofreu interferência da modalidade de cultivo (Tabela 8).

Tabela 8. Exportação macronutrientes em grãos de arroz em função dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo.

Sistemas de consórcio	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Arroz	91,09 a	16,91 a	14,19 a	5,46	6,22 a	6,15 a
Arroz + amendoim forrageiro	80,42 a	15,60 a	14,02 a	5,30	5,95 a	5,85 a
Arroz + calopogônio	77,25 a	13,88 a	11,95 a	6,10	4,55 b	6,22 a
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	66,11 b	11,50 b	10,09 b	3,74	3,95 b	4,52 b
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	78,10 a	14,90 a	15,52 a	4,55	5,25 a	6,00 a
Arroz + estilosantes	84,18 a	14,96 a	13,52 a	4,85	5,34 a	6,05 a
Arroz + feijão de porco	70,82 b	10,35 b	10,40 b	4,58	3,92 b	5,15 a
Arroz + guandu anão	51,00 c	8,05 b	6,75 c	3,18	2,40 c	3,22 b
Modalidade						
Simultâneo	72,47	13,58	11,91	3,48 b	5,38 a	4,50 b
25 DAE	78,86	13,85	12,58	6,12 a	4,69 b	5,97 a
Teste F ¹						
Sistema (S)	4,42**	5,31**	6,17**	2,14 ^{ns}	7,64**	4,53**
Modalidade (M)	2,28 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,74 ^{ns}	18,34**	4,44*	18,86**
S x M	7,45**	12,32**	6,99**	1,38 ^{ns}	6,57**	10,36**
CV(%)	18,00	22,02	20,71	30,85	21,76	20,16
Média geral	76,73	13,76	12,36	4,76	4,92	5,48

¹Teste F: ** – significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

A exportação de N, P, K e S nos consórcios de arroz com amendoim forrageiro, calopogônio, *C. spectabilis* e estilosantes foi semelhante ao cultivo de arroz exclusivo. Para o Mg, apenas os consórcios com amendoim forrageiro *C. spectabilis* e estilosantes obtiveram valores próximos ao arroz exclusivo, sendo superior aos demais sistemas.

A semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE proporcionou maior exportação de Ca e S, e menor de Mg. A diferença ocasionada na exportação de nutrientes foi devido à interferência das plantas de adubos verdes na produtividade de arroz. As espécies com maior porte (*C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão) reduziram a quantidade de nutrientes exportados, devido à sua maior competitividade e menor produtividade de grãos de arroz, bem como observado aumento na exportação de alguns nutrientes na semeadura aos 25 DAE em relação à simultânea.

A partir do desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para exportação de N, P, K, Mg e S em grãos de arroz (Tabela 9 e 10), observou-se menores valores no consórcio de arroz com *C. breviflora* em relação aos demais, na semeadura simultânea. Além disso, a

exportação N, P, K e Mg no consórcio de arroz com *C. breviflora* foi superior na semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE em relação à simultânea.

Tabela 9. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para exportação de N, P e K em grãos de arroz.

Tratamentos	cultivo para exportação de N, P e K em grãos de arroz.					
	N		P		K	
	----- kg ha ⁻¹ -----					
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz	90,20 aA	91,98 aA	17,05 aA	16,78 aA	14,10 aA	14,27 aA
Arroz + amendoim forrageiro	78,20 aA	82,65 aA	15,28 aA	15,92 aA	13,25 aA	14,80 aA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	43,35 bB	88,88 aA	6,67 bB	16,32 aA	6,58 bB	13,60 aA
Arroz + estilosantes	78,15 aA	90,20 aA	15,32 aA	14,60 aA	13,70 aA	13,35 aA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Para a exportação de S nos grãos de arroz, os consórcios de arroz com amendoim forrageiro, *C. breviflora* e estilosantes proporcionaram maiores valores na semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE em relação à semeadura simultânea.

Tabela 10. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para exportação de Mg e S em grãos de arroz.

Tratamentos	cultivo para exportação de Mg e S em grãos de arroz:			
	Mg		S	
	-----kg ha ⁻¹ -----			
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz	6,72 aA	5,72 aA	5,72 aA	6,58 aA
Arroz + amendoim forrageiro	5,82 aA	6,08 aA	5,00 aB	6,70 aA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	2,90 bB	5,00 aA	2,42 bB	6,62 aA
Arroz + estilosantes	6,08 aA	4,60 aA	4,85 aB	7,25 aA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Ressalta-se que no consórcio de arroz com *C. breviflora* na semeadura simultânea, esse adubo verde teve maior desenvolvimento que o amendoim forrageiro e o estilosantes, afetando a produtividade de grãos de arroz. Quando a *C. breviflora* foi semeada aos 25 DAE pode ter ocorrido um sincronismo no desenvolvimento com o arroz, bem como para o amendoim forrageiro e estilosantes, permitindo semelhante produtividade e exportação de nutrientes.

4.3.2 Absorção de nutrientes – Segundo ano agrícola

No segundo ano agrícola, houve efeito dos sistemas de consórcio nos teores de K e Mg na folha bandeira de arroz. Os teores de N e P foram influenciados pelo arranjo de plantas (Tabela 11). Os valores, apesar de serem significativamente distintos, estão próximos e encontram-se adequados de acordo com Cantarella e Raij (1997).

Tabela 11. Teores de macronutrientes na folha bandeira de arroz em função dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas.

Sistemas de consórcio	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
Arroz	30,77	2,67	12,51 a	3,87	1,76 b	2,58
Arroz + amendoim forrageiro	30,05	2,66	13,32 a	3,64	1,60 b	2,57
Arroz + calopogônio	30,16	2,64	13,02 a	3,99	1,89 a	2,76
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	30,30	2,77	11,96 b	3,47	1,67 b	2,62
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	31,23	2,65	12,86 a	3,96	1,87 a	2,64
Arroz + estilosantes	30,71	2,70	11,92 b	3,82	1,71 b	2,64
Arroz + feijão de porco	31,76	2,59	11,91 b	3,81	1,72 b	2,62
Arroz + guandu anão	32,15	2,86	13,04 a	3,74	1,83 a	2,83
Arranjo de plantas						
Fileiras simples	30,31 b	2,75 a	12,63	3,74	1,74	2,64
Fileiras duplas	31,67 a	2,64 b	12,39	3,86	1,80	2,69
Teste F ¹						
Sistema (S)	0,96 ^{ns}	2,23 ^{ns}	2,69*	1,91	2,70*	0,44 ^{ns}
Arranjo (A)	6,27*	7,02*	1,06 ^{ns}	0,96	2,49 ^{ns}	0,19 ^{ns}
S x A	1,10 ^{ns}	2,29 ^{ns}	1,95 ^{ns}	2,37 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,86 ^{ns}
CV(%)	6,77	6,02	7,37	8,99	8,98	13,91
Média geral	30,95	2,69	12,52	3,80	1,77	2,66

¹Teste F: ** – significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

Portugal et al. (2020), cultivando arroz de terras altas em sistema plantio direto há cinco anos, com rotação de arroz e milho na primavera/verão, e trigo e feijão no outono/inverno em região de Cerrado, utilizando a cultivar BRS Esmeralda, observaram valor semelhante de P, e pouco superior de N, K, Ca e Mg.

O teor de N foi superior no arranjo de plantas em fileiras duplas em comparação a fileiras simples. A absorção de N é prejudicada quando ocorre sombreamento (Gu et al., 2017). Assim, a distribuição da luz do dossel das

plantas de arroz consorciadas com adubos verdes em fileiras duplas pode ter sido favorecida, recebendo maior intensidade de luz, uma vez que havia mais espaço para seu desenvolvimento. A maior radiação incidente pode aumentar a transpiração nas folhas de arroz, provocando aumento na absorção de N que ocorre, em sua maior parte, por fluxo de massa (Prado, 2008).

O arranjo de plantas em fileiras simples proporcionou maior teor de P nas folhas de arroz em comparação a fileiras duplas. Quando os adubos verdes foram semeados entre cada linha de arroz (fileiras simples) pode ter ocorrido maior volume de solo explorado pelas raízes dessas plantas e maior contato com as raízes do arroz. Isso pode ter ocasionado maior liberação de exsudados e H^+ resultante da FBN, disponibilizando P (Li et al., 2003). Ae et al. (1990) verificaram que alguns adubos verdes, como o guandu anão, exsudam ácido piscídico e derivados p-O-metil liberando o P ligado ao ferro (Fe) por quelação de Fe^{3+} .

O cultivo de arroz exclusivo ou consorciado com amendoim forrageiro, calopogônio, *C. spectabilis* e guandu anão proporcionaram maiores teores de K em relação aos demais sistemas. Inal et al. (2007) também constataram aumento no teor de K nas culturas de amendoim e milho consorciadas. Para o teor de Mg, observou-se maiores teores no consórcio de arroz com calopogônio, *C. spectabilis* e guandu anão, sendo os valores superiores até mesmo ao arroz exclusivo.

Para o acúmulo de macronutrientes nas plantas de arroz, apenas o Ca e Mg foram influenciados pelo arranjo de plantas, com maiores valores em fileiras duplas em comparação a fileiras simples (Tabela 12). No arranjo de plantas em fileiras duplas, pode ocorrer menor competição por espaço e por nutrientes pelas plantas de adubos verdes e arroz. Além disso, o consórcio em fileiras duplas permite maior interceptação da radiação solar nas plantas de arroz, favorecendo o fluxo de massa. Raza et al. (2019) também verificaram maior acúmulo de nutrientes em plantas de soja em consórcio com milho em fileiras duplas em relação a fileiras simples.

Tabela 12. Acúmulo de macronutrientes em plantas de arroz em função dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas.

Sistemas de consórcio	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
Arroz	126,09	19,02	125,42	15,62	16,30	12,99
Arroz + amendoim forrageiro	112,40	12,62	105,38	13,05	13,18	11,65
Arroz + calopogônio	100,75	16,69	101,44	12,85	13,45	11,39
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	96,86	16,36	92,35	11,19	11,44	11,19
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	104,56	16,71	100,74	13,82	13,51	11,98
Arroz + estilosantes	109,41	17,81	112,12	12,75	14,78	11,74
Arroz + feijão de porco	108,29	15,44	94,98	12,84	12,68	12,62
Arroz + guandu anão	102,51	16,82	112,68	12,96	13,62	10,88
Arranjo de plantas						
Fileiras simples	103,02	16,58	99,22	11,91 b	12,46 b	11,60
Fileiras duplas	112,16	16,81	113,00	14,54 a	15,01 a	12,05
Teste F ¹						
Sistema (S)	0,87 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Arranjo (A)	1,71 ^{ns}	0,05 ^{ns}	2,98 ^{ns}	7,29**	6,76*	0,37 ^{ns}
S x A	0,97 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,49 ^{ns}
CV(%)	25,19	24,13	29,21	28,69	27,75	24,18
Média geral	107,29	16,69	105,66	13,14	13,65	11,81

¹Teste F: ** – significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

Houve diferença significativa nos sistemas de consórcio e arranjo de plantas para o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nas plantas de adubos verdes (Tabela 13). O acúmulo de K também foi afetado pela interação dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas.

Tabela 13. Acúmulo de macronutrientes em plantas de adubos verdes em função dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas.

Sistemas de consórcio	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----					
Arroz + amendoim forrageiro	1,15 d	0,20 d	1,40 c	0,95 e	0,28 e	0,25 c
Arroz + calopogônio	11,09 c	0,81 c	8,30 b	3,80 d	1,15 d	0,67 b
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	15,22 c	1,22 c	12,72 b	6,19 c	1,74 c	0,95 b
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	24,39 b	1,92 b	29,28 a	10,15 b	2,86 b	1,84 a
Arroz + estilosantes	2,46 d	0,54 d	2,42 c	1,66 e	0,40 e	0,45 c
Arroz + feijão de porco	33,05 a	2,59 a	27,91 a	26,42 a	3,72 a	2,02 a
Arroz + guandu anão	37,36 a	2,59 a	31,72 a	9,05 b	2,90 b	2,11 a
Arranjo de plantas						
Fileiras simples	15,88 b	1,21 b	14,28 b	7,98 b	1,50 b	1,09 b
Fileiras duplas	22,86 a	1,84 a	21,02 a	9,94 a	1,55 a	1,45 a
Teste F ¹						
Sistema (S)	56,63**	32,00**	45,74**	112,46**	68,57**	25,67**
Arranjo (A)	24,92**	25,09**	21,96**	9,78**	80,00**	9,87**
S x A	1,05 ^{ns}	1,97 ^{ns}	2,58*	1,04 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,41 ^{ns}
CV(%)	26,32	29,94	29,67	25,30	21,48	32,50
Média geral	19,10	1,50	17,39	8,88	1,99	1,26

¹Teste F: ** – significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

Os adubos verdes *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão obtiveram maiores acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S em relação aos demais. Isso provavelmente ocorreu pelo maior porte dessas plantas resultando em maior massa seca (Calegari e Carlos, 2014) e consequentemente maior acúmulo de nutrientes. O consórcio em fileiras duplas proporcionou maior acúmulo de macronutrientes em comparação ao fileiras simples. Nesse arranjo de plantas pode ter ocorrido menor competição do arroz com os adubos verdes por nutrientes, uma vez que o cereal possuía mais espaço para seu desenvolvimento.

No desdobramento da interação sistemas de consórcio x arranjo de plantas para acúmulo de K em plantas de adubos verdes, verificou-se maiores valores no consórcio de arroz com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão, em fileiras simples e duplas (Tabela 14). Novamente destaca-se o maior porte e produtividade de massa seca dessas plantas.

Para o consórcio de arroz com *C. spectabilis* o arranjo de plantas em fileiras duplas proporcionou maior acúmulo de K em comparação a fileiras simples. As gramíneas possuem maior competitividade na absorção de cátions

monovalentes (Fageria e Moreira, 2011), como o K, por isso provavelmente no arranjo de plantas em fileiras simples o arroz teve vantagem na absorção desse nutriente em relação à *C. spectabilis*.

Tabela 14. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x arranjo de plantas para acúmulo de K em plantas de adubos verdes.

Tratamentos	K	
	kg ha ⁻¹	
	Fileiras simples	Fileiras duplas
Arroz + amendoim forrageiro	1,40 b	-
Arroz + calopogônio	6,90 bA	9,70 cA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	11,22 bA	14,22 cA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	21,58 aB	36,98 aA
Arroz + estilosantes	1,85 bA	3,00 dA
Arroz + feijão de porco	29,28 aA	26,55 bA
Arroz + guandu anão	27,80 aA	35,65 aA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Para a exportação de P, K, Ca, Mg e S nos grãos de arroz, houve interação significativa dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas. A exportação de N foi influenciada pelo arranjo de plantas, sendo superior em fileiras duplas em comparação a fileiras simples (Tabela 15).

Tabela 15. Exportação de macronutrientes em grãos de arroz em função dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas.

Sistemas de consórcio	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Arroz	65,77	14,33 a	20,24 a	2,98 a	7,54 a	5,97 a
Arroz + amendoim forrageiro	65,17	13,27 a	18,53 a	3,16 a	6,60 a	5,36 a
Arroz + calopogônio	63,31	12,78 a	17,32 a	2,89 a	6,68 a	5,34 a
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	66,19	14,46 a	20,14 a	2,82 a	7,65 a	5,79 a
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	49,92	9,80 b	12,93 b	2,14 b	4,87 b	3,98 b
Arroz + estilosantes	60,47	13,83 a	18,39 a	3,02 a	6,98 a	5,60 a
Arroz + feijão de porco	57,88	10,86 b	15,23 b	2,34 b	5,40 b	4,20 b
Arroz + guandu anão	55,38	10,77 b	14,61 b	2,08 b	5,40 b	3,82 b
Arranjo de plantas						
Fileiras simples	56,51 b	11,65 b	15,78 b	2,42 b	5,84 b	4,50 b
Fileiras duplas	64,42 a	13,40 a	18,57 a	2,91 a	6,99 a	5,53 a
Teste F ¹						
Sistema (S)	2,17 ^{ns}	5,45**	6,03**	3,08*	5,66**	6,00**
Arranjo (A)	7,96**	9,78**	12,57**	8,46**	12,59**	16,19**
S x A	2,16 ^{ns}	3,79**	4,14**	2,61*	2,90*	2,52*
CV(%)	18,02	17,33	17,81	24,55	19,49	19,92
Média geral	60,20	12,46	17,08	2,64	6,38	4,98

¹Teste F: ** – significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

Para o desdobramento da interação dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas para exportação, observou-se que a exportação de P, K, Ca, Mg e S (Tabela 16 e 17), em fileiras simples, foi inferior nos consórcios de arroz com *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão. O arranjo de plantas em fileiras duplas proporcionou menores valores de exportação de P, K e Mg nos consórcios de arroz com calopogônio, *C. spectabilis* e feijão de porco. Os adubos verdes *C. spectabilis* e feijão de porco possuem maior porte e podem ser mais competitivos com o arroz, refletindo na produtividade de grãos e na exportação de nutrientes.

Para o S, os consórcios de arroz com *C. breviflora* e estilosantes obtiveram valores semelhantes ao arroz exclusivo em fileiras duplas e somada a esses calopogônio e amendoim forrageiro em fileiras simples, enquanto os demais adubos verdes apresentaram valores inferiores (Tabela 17).

Tabela 16. Desdobramento da interação dos sistemas de consórcio x arranjo de plantas para exportação de P, K e Ca em grãos de arroz.

Tratamentos	plantas para exportação de P, K e Ca em grãos de arroz.					
	P		K		Ca	
	----- kg ha ⁻¹ -----					
	Fileiras simples	Fileiras duplas	Fileiras simples	Fileiras duplas	Fileiras simples	Fileiras duplas
Arroz	13,88 aA	14,77 aA	19,61 aA	20,88 aA	2,89 aA	3,07 aA
Arroz + amendoim forrageiro	13,27 a	-	18,53 a	-	3,16 a	-
Arroz + calopogônio	13,00 aA	12,56 bA	17,22 aA	17,43 bA	2,85 aA	2,93 aA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	14,36 aA	14,57 aA	19,56 aA	20,72 aA	2,78 aA	2,86 aA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	8,28 bA	11,33 bA	10,75 cA	15,12 bA	1,80 bA	2,47 aA
Arroz + estilosantes	12,74 aA	14,91 aA	17,18 aA	19,60 aA	2,65 aA	3,38 aA
Arroz + feijão de porco	10,48 bA	11,24 bA	14,38 bA	16,08 bA	2,01 bA	2,67 aA
Arroz + quandu anão	7.18 bB	14.37 aA	9.04 cB	20.18 aA	1.20 bB	2.97 aA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Em relação aos arranjos de plantas, apenas o consórcio de arroz com guandu anão apresentou maior exportação de P, K, Ca e Mg em fileiras duplas com relação a fileiras simples, pela maior competitividade que esse adubo verde pode ter proporcionado sobre o arroz, visto que é uma planta com alto porte e com sistema radicular agressivo (Calegari e Carlos, 2014).

Tabela 17. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x arranjo de plantas para exportação de Mg e S em grãos de arroz.

Tratamentos	Mg		S	
	----- kg ha ⁻¹ -----			
	Fileiras simples	Fileiras duplas	Fileiras simples	Fileiras duplas
Arroz	7,07 aA	8,02 aA	5,46 aA	6,48 aA
Arroz + amendoim forrageiro	6,60 a	-	5,36 a	-
Arroz + calopogônio	6,64 aA	6,73 bA	5,43 aA	5,24 bA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	7,56 aA	7,75 aA	5,12 aA	6,45 aA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	4,03 bA	5,71 bA	3,13 bB	4,83 bA
Arroz + estilosantes	6,32 aA	7,64 aA	4,81 aB	6,40 aA
Arroz + feijão de porco	5,10 bA	5,70 bA	4,10 bA	4,31 bA
Arroz + quandu anão	3,44 bB	7,35 aA	2,60 bB	5,03 bA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Para o enxofre houve maior exportação no arranjo em fileiras duplas para os consórcios de arroz com *C. spectabilis*, estilosantes e guandu anão em comparação a fileiras simples.

Para todos os sistemas de consórcio e arranjo de plantas verificou-se que as plantas de arroz estavam adequadamente nutridas. Isso demonstra que para os atributos químicos desse solo somados à adubação realizada, a quantidade de nutrientes foi suficiente para atender o sistema de consórcio arroz e adubos verdes, não sendo necessária a alteração da recomendação nessas condições. Além disso, o fornecimento de água somado à precipitação (Figura 1) permitiram adequada absorção dos nutrientes.

A alteração da exportação de nutrientes pelos grãos pode ter ocorrido devido à interferência das plantas de adubos verdes na produtividade. Apesar de não haver prejuízos na nutrição das plantas, a produtividade é afetada por outros fatores como interceptação da radiação solar, que é prejudicada em sistemas de consórcio com plantas de maior porte que causam sombreamento.

4.4 Conclusões

Os sistemas de consórcio em semeadura simultânea e aos 25 DAE, bem como o arranjo de plantas em fileiras simples e duplas permitiram adequada absorção de nutrientes pelo arroz de terras altas.

A semeadura dos adubos verdes simultaneamente incrementou os teores de P, K, Ca e Mg nas folhas, plantas de arroz e grãos de arroz (exceto P e K), bem como o acúmulo de macronutrientes nas plantas de adubos verdes.

As espécies amendoim forrageiro e estilosantes proporcionaram exportação de N, P, K, Mg e S nos grãos de arroz semelhante ao cultivo exclusivo do cereal, em semeadura simultânea e somada a essas, a *C. breviflora* na semeadura aos 25 DAE.

O arranjo de plantas em fileiras simples incrementou o teor de P nas folhas de arroz, enquanto em fileiras duplas aumentou o teor de N, e o acúmulo de Ca e Mg nas plantas de arroz. Os adubos verdes calopogônio, *C. spectabilis* e guandu não favoreceram o teor de K e Mg nas folhas de arroz. Esse arranjo de plantas também proporcionou aumento no acúmulo de macronutrientes nos adubos verdes e na exportação de nutrientes em grãos de arroz.

As espécies *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu não obtiveram maior acúmulo de macronutrientes nas plantas e reduziram a exportação de nutrientes (exceto N) nos grãos de arroz, em fileiras simples e duplas do cereal.

4.5 Referências

Ae N, Arihara J, Okada K, Yoshihara T, Johnson C (1990). Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. **Science** 248:477–480.

Andersen MK (2005) **Competition and complementarity in annual intercrops - the role of plant available nutrients**. 123 f. Thesis (PhD in Agronomy). The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark.

Andersen MK, Hauggard-Nilsen H, Høgh-Jensen H, Jense ES (2007) Competition for and utilisation of sulfur in sole and intercrops of pea and barley. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 77:143–153. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-006-9053-7>

Arf O, Portugal JR, Buzetti S, Rodrigues RAF, Sá ME (2018) Crop rotation, green manure and nitrogen fertilizers in upland rice under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 48:153-162. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v4851446>

Bargaz A, Noyce GL, Fulthorpe R, Carlsson G, Furze JR, Jensen ES, Dhiba D, Isaac ME (2017) Species interactions enhance root allocation, microbial diversity and P acquisition in intercropped wheat and soybean under P deficiency. **Applied Soil Ecology** 120:179–188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.011>

Böhringer A, Leihner DE (1997) A comparison of alley cropping and block planting systems in sub-humid Benin. **Agroforestry Systems** 35: 117–130.

Calegari A, Carlos JAD (2014) Recomendações de plantio e informações gerais sobre o uso de espécies para adubação verde no Brasil. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD, (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: EMBRAPA; v. 2, p. 451-478.

Cantarella H, van Raij B (1997) Cereais. In: van Raij B, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (Eds.) **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, p. 43-49.

Castro AP, Moraes OP, Breseghello F, Lobo VLS, Guimarães CM, Bassinello PZ, Colombari Filho JM, Santiago CM, Furtini IV, Torga PP, Utumi MM, et al. (2014). BRS Esmeralda: cultivar de arroz de terras altas com elevada produtividade e maior tolerância à seca. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 4 p.

Chen P, Du Q, Liu X, Zhou LI, Hussain S, Lei LU, Song C, Wang X, Liu W, Yang F, Shu K, Liu J, Du J, Yang W, Yong T (2017) Effects of reduced nitrogen inputs on crop yield and nitrogen use efficiency in a long-term maize-soybean relay strip intercropping system. **PLoS ONE** 12:e0184503. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184503>

Crusciol CAC, Portugal JR, Momesso L, Bossolani JW, Pariz CM, Castilhos AM, Costa NR, Costa CHM, Costa C, Franzluebbbers A, Cantarella H (2020) Overcoming competition from intercropped forages on upland rice with optimized nitrogen input to food production in tropical region. **Frontiers in Sustainable Food Systems** 4:129. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00129>

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 356 p.

Fageria NK, Moreira A (2011) The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy** 110:251-331. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9>

Fan Y, Wang Z, Liao D, Raxa MA, Wang B, Zhang J, Chen J, Feng L, Wu X, Liu C, Yang W, Yang F. Uptake and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium as related to yield advantage in maize soybean intercropping under different row configurations. **Scientific Reports** 10:9504. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66459-y>

Gitari HI, Karanja NN, Gachene CKK, Kamau S, Sharma K, Schulte-Geldermann E (2018) Nitrogen and phosphorous uptake by potato (*Solanum tuberosum* L.) and their use efficiency under potato-legume intercropping systems. **Field Crops Research** 222:78–84. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.019>

Gou F, van Ittersum MK, Couëdel A, Zhang Y, Wang Y, van der Putten PEL, Zhang L, van der Werf W (2018) Intercropping with wheat lowers nutrient uptake and biomass accumulation of maize, but increases photosynthetic rate of the ear leaf. **AoB Plants** 10:ply010. <http://dx.doi.org/10.1093/aobpla/ply010>

Gu J, Chen Y, Zhang H, Li Z, Zhou Q, Yu C, Kong X, Liu L, Wang Z, Yang J (2017) Canopy light and nitrogen distributions are related to grain yield and nitrogen use efficiency in rice. **Field Crops Research** 206:74–85.

Inal A, Gunes A, Zhang F, Cakmak I (2007) Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shots. **Plant Physiology and Biochemistry** 45:350e356.

Ingraffia R, Amato G, Frenda AS, Giambalvo D (2019) Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake, N₂ fixation, N transfer, and growth in a wheat/faba bean intercropping system. **PLoS ONE** 14:e0213672. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213672>

Li L., Zhang F., Li X., Christie P., Sun J., Yang S., Tang C (2003) Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 65: 61–71.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira AS (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. ed. 2. Piracicaba: POTAFOS, 319 p.

Portugal JR, Arf O, Buzetti S, Portugal ARP, Garcia NFS, Meirelles FC, Garé LM, Abrantes FL, Rodrigues, RAF (2020) Do cover crops improve the productivity and industrial quality of upland rice? **Agronomy Journal** 112:327-343. <https://doi.org/10.1002/agj2.20028>

Prado RM (2008) Nutrição de plantas. Jaboticabal: FUNEP, 407 p.

Raza MA, Khalid MHB, Zhang X, Feng LY, Khan I, Hassan MJ, Ahmed M, Ansar M, Chen YK, Fan YF, Yang F, Yang W (2019) Effect of planting patterns on yield, nutrient accumulation and distribution in maize and soybean under relay intercropping systems. **Scientific Reports**, 9:4947. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41364-1>

Raza ML, Feng LY, Werf W van der, Iqbal N, Khan I, Khan A, Din AMU, Naeem M, Meraj TA, Hassan MJ, Khan A, Lu FZ, Liu X, Ahmed M, Yang F, Yang W (2020) Optimum strip width increases dry matter, nutrient accumulation, and seed yield of intercrops under the relay intercropping system. **Food Energy Security** 9:e199. <https://doi.org/10.1002/fes3.199>

Walter LEF, Hartnett DC, Hetrick BAD, Schwab AP (1996) Interspecific nutrient transfer in a tallgrass prairie plant community. **American Journal of Botany** 83: 180–184.

Zhang, WP, Liu GC, Sun JH, Fornara D, Xiang LZ, Zhang FF, Li L (2017) Temporal dynamics of nutrient uptake by neighbouring plant species: evidence from intercropping. **Functional Ecology** 31:469–479. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12732>

CAPÍTULO 4 - Modalidades de cultivo e arranjo de plantas de arroz de terras altas consorciado com adubos verdes: desempenho agrônômico e qualitativo

Resumo - O consórcio de arroz e adubos verdes permite aliar a produção de alimentos e a diversidade das espécies cultivadas, proporcionando incrementos na qualidade do solo e melhorando a sustentabilidade de cultivo. Entretanto, a produtividade de grãos depende das espécies consorciadas e da configuração das plantas. Objetivou-se verificar os efeitos do consórcio de arroz de terras altas com espécies de adubos verdes, em duas modalidades de cultivo e arranjos de plantas, no desempenho agrônômico e qualitativo do arroz, bem como a produtividade de massa seca para o sistema plantio direto. Foram conduzidos dois experimentos, nos anos agrícolas 2018/19 e 2019/20, no município de Jaboticabal-SP, Brasil, no período de primavera-verão em área com irrigação por aspersão convencional, com a cultivar BRS Esmeralda. O primeiro experimento foi composto por sistemas de cultivo de arroz exclusivo e consorciado com adubos verdes (amendoim forrageiro, calopogônio, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria spectabilis*, estilosantes, feijão de porco e guandu anão) e por modalidades de cultivo (arroz com adubos verdes com semeadura simultânea na entrelinha e arroz com adubos verdes com semeadura aos 25 dias após a emergência do cereal na entrelinha). O segundo experimento foi constituído pelos mesmos sistemas de cultivo de arroz exclusivo e consorciado com adubos verdes do primeiro experimento e por arranjo de plantas de arroz (arroz semeado em fileiras simples e em fileiras duplas). Para ambos experimentos o delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. Avaliou-se os componentes de produção, produtividade, massa seca total e qualidade dos grãos de arroz. No geral, os consórcios de arroz com amendoim forrageiro e estilosantes permitiram produtividades semelhantes ao arroz exclusivo na semeadura realizada simultaneamente, somadas a essas espécies o calopogônio e a *C. breviflora* também apresentaram essa resposta na semeadura aos 25 DAE em fileiras simples e duplas. O teor de proteína nos grãos foi superior nos consórcios em que houve redução de produtividade. No primeiro ano, os tratamentos que prejudicaram a produtividade afetaram negativamente a qualidade dos grãos, enquanto no segundo ano não houve interferência. O consórcio de arroz com *C. breviflora* proporcionou maior produtividade de massa seca total sem afetar a produtividade e a qualidade dos grãos quando semeada aos 25 DAE em fileiras simples em comparação ao cultivo de arroz exclusivo. É possível consorciar arroz com leguminosas sem afetar a produtividade e qualidade de grãos de arroz. O cultivo dessas espécies consorciadas, melhora a diversidade de cultivo, além de proporcionar benefícios como aumento de matéria orgânica e fixação biológica de nitrogênio.

Palavras-chave: Plantas de cobertura, época de semeadura, policultivo, fileiras simples e duplas.

2.1 Introdução

Sistemas de cultivo sustentáveis/conservacionistas têm sido apontados como alternativas fundamentais para o incremento na produção de alimentos com qualidade para atender à crescente demanda junto ao aumento populacional. De acordo com a FAO (2017) a previsão é de que até 2050 a população mundial seja de aproximadamente 10 bilhões de pessoas, que necessitarão de 50% a mais de alimentos. Esses sistemas de cultivo conservacionistas preconizam o manejo sustentável do solo, proteção do meio ambiente e mitigação das mudanças climáticas (FAO, 2017).

O sistema plantio direto (SPD) é um sistema de cultivo conservacionista que tem como premissas o mínimo revolvimento do solo, a cobertura vegetal e a rotação de culturas. Essas medidas permitem menor exposição do solo a processos erosivos, redução da temperatura, maior retenção de água, incrementos da comunidade microbiana e aumento da fertilidade do solo (Triplett e Dick, 2008) e redução da emissão de gases de efeito estufa pela retenção de carbono (Valkama et al., 2020).

Nesse sistema de cultivo podem ser inseridas plantas denominadas de adubos verdes ou plantas de cobertura. Os adubos verdes são plantas que possuem como função descompactação biológica do solo, diversidade de cultivo, melhorias químicas, físicas e biológicas do solo, reduzindo os riscos de erosão, além de contribuir para a ciclagem de nutrientes, incrementar a matéria orgânica e a biodiversidade microbiana do solo, auxiliando na redução de população de patógenos (Reicosky e Forcella, 1998). Quando os adubos verdes são cultivados de maneira exclusiva, acabam reduzindo a área disponível para a produção de grãos. Para aliar a produção de grãos e a produção de biomassa para a cobertura do solo, recomenda-se o consórcio de culturas.

O consórcio entre culturas também é uma prática agrícola sustentável, e tem se destacado mundialmente na produção de alimentos (Martin-Guay et al., 2018) e de massa seca para o SPD de qualidade (Mingotte et al., 2020). O consórcio entre adubos verdes e cereais apresenta como vantagens a diversificação de cultivos de espécies, com sistemas radiculares complementares, promovendo a facilitação na aquisição de nutrientes e água, produção de biomassa para cobertura do solo (Li et al., 2006), redução da

temperatura do dossel pela transpiração (Zafarani e Valizadeh, 2015). Além disso, os adubos verdes são capazes de fixar nitrogênio atmosférico e fornecer parte desse nutriente para plantas em consórcio.

No Brasil, os principais sistemas consorciados são milho com forrageiras (*Urochloa ruziziensis* e *U. brizantha*) que possuem como finalidade a produção de grãos e a produção de biomassa para o SPD (Nascente et al., 2015), também são utilizados no sistema integração lavoura-pecuária, que após a colheita do milho, a forrageira é mantida para alimentação de bovinos. O milho também é consorciado com leguminosas (*Crotalaria spectabilis*, guandu, *C. juncea*, feijão de porco), que além da produção de grãos, tem como intuito a produção de biomassa para o SPD e o fornecimento de nutrientes para a cultura posterior através da decomposição da palhada (Arf et al., 2018).

O arroz de terras altas também tem sido utilizado no sistema de consórcio com forrageiras (*Urochloa ruziziensis* e *U. brizantha*) principalmente para a renovação total ou parcial das pastagens (Crusciol et al., 2020). Além disso, o consórcio de arroz com culturas alimentares como mandioca e feijão é utilizada por pequenos produtores na agricultura de subsistência. O arroz tem sido cultivado em SPD (Nascente et al., 2015; Portugal et al., 2020) e o seu consórcio com adubos verdes pode ser viável para esse sistema, visando a produção de alimentos e de biomassa para manutenção do solo coberto.

O arroz é um dos principais alimentos básicos para o consumo humano, sendo responsável por fornecer 20% de energia per capita, além de ser fonte de vitaminas. O cultivo de arroz mundialmente representa 167 milhões de hectares (ha), com produção de 532 milhões de toneladas (t), sendo que o consumo do cereal deve aumentar 8,8% até 2028 (Oecd e Fao, 2020). No Brasil, a área cultivada com arroz é 1,7 milhões de ha, com produção de 10,9 milhões de t, e produtividade de 6.430 kg ha⁻¹ (Conab, 2021). Na literatura, há poucos trabalhos abordando o consórcio de arroz e adubos verdes da família Fabaceae. Um dos motivos da pouca informação é a dificuldade de sincronismo no desenvolvimento das plantas em consórcio, devido ao desenvolvimento mais rápido dos adubos verdes e ao maior porte dessas plantas em relação ao arroz, além do arroz ser uma planta C3 e possuir crescimento lento nos primeiros 30-40 dias (Akanvou et al., 2002).

Para minimizar o efeito negativo na produtividade de grãos que a competição das plantas em consórcio pode ocasionar, ajuste na época de implantação das culturas consorciadas pode ser uma ferramenta determinante, auxiliando no sincronismo do desenvolvimento das plantas. A espécie implantada primeiro terá vantagem no desenvolvimento inicial, sem competição com outra espécie. A segunda espécie, se for semeada muito tardiamente, pode sofrer competição da primeira espécie e ter o desenvolvimento prejudicado (Yu et al., 2016).

O arranjo de plantas também pode ser alterado para reduzir o efeito da competição entre as espécies consorciadas, como por exemplo, a inserção de uma fileira de adubo verde a cada duas fileiras da espécie comercial, de modo que não ocorra prejuízos na produtividade e qualidade dos grãos da cultura comercial. O arranjo de plantas em fileiras duplas aumenta a interceptação de luz solar, bem como a área foliar das plantas resultando em produtividade (Feng et al., 2019).

As hipóteses testadas foram: a) as espécies de adubo verde de maior porte podem influenciar no desempenho agrônomo e qualitativo do arroz, bem como na produtividade de massa seca, b) a época de semeadura dos adubos verdes em consórcio com arroz pode promover sincronismo no desenvolvimento das culturas, c) o arranjo de plantas em fileiras duplas do cereal pode reduzir a competitividade espacial das espécies, proporcionando interferências mínimas na produtividade e qualidade de grãos.

Objetivou-se verificar os efeitos do consórcio de arroz de terras altas com espécies de adubos verdes, em duas modalidades de cultivo e arranjos de plantas, no desempenho agrônomo e qualitativo do arroz, bem como a produtividade de massa seca para o SPD.

2.2 Material e métodos

O experimento foi desenvolvido na primavera-verão durante a safra 2018/19 e 2019/20, no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, localizado na latitude de 21° 14' 33" S e longitude de 48° 17' 10" W, a altitude média de 565 metros.

O solo local é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa (Embrapa, 2018). A área experimental encontrava em SPD por 5 anos e antecedendo ao cultivo de arroz e dos adubos verdes, foi cultivada com milho, braquiária, feijão e milho.

Previamente ao cultivo de sistemas de arroz, a área experimental foi cultivada com milho (*Pennisetum glaucum*), ADR 300, nos meses de dezembro de 2017 a março de 2018 e entre dezembro de 2018 e março de 2019. Após a dessecação do milho, a área permaneceu em pousio até a instalação do experimento.

Anteriormente à instalação do experimento foi realizada a análise química do solo com coleta na camada de 0-20 cm. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 1. Os valores para a análise granulométrica do solo foram: argila = 540 g kg⁻¹; silte = 230 g kg⁻¹ e areia = 230 g kg⁻¹.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento.

Ano	MOS ^a g dm ⁻³	P _(resina) mg dm ⁻³	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	CTC	V
							-----mmol _c dm ⁻³ -----			%
2018-2019	20	65	5,6	5,9	39	19	29	0	93	69
2019-2020	22	58	6,1	6,4	42	17	20	0	85	77

^aMOS=Matéria orgânica do solo

O clima da região é caracterizado como Aw (tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca de inverno). Os valores de temperaturas máximas, mínimas e de precipitação durante a condução dos experimentos encontram-se na Figura 1.

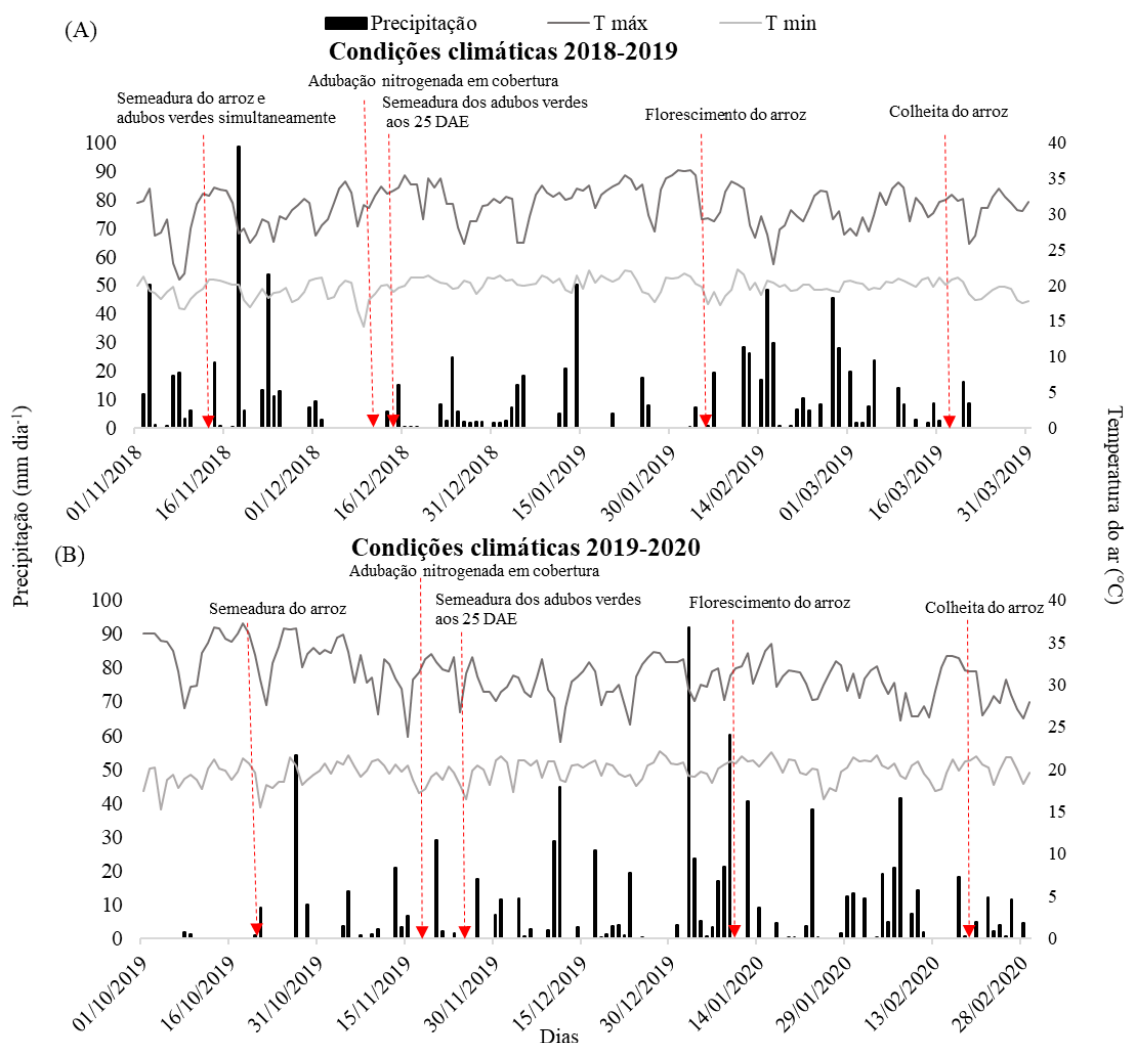


Figura 1. Precipitação diária, temperaturas máximas e mínimas, bem como alguns eventos agrícolas durante a condução dos experimentos nas safras 2018/19 (A) e 2019/20 (B) em Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil.

O delineamento experimental de cada ano agrícola foi em blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por oito sistemas de cultivo de arroz, sendo um exclusivo e sete consorciado com adubos verdes. Os sistemas de cultivo de arroz consorciado com adubos verdes foram: arroz + amendoim forrageiro, arroz + calopogônio, arroz + *Crotalaria breviflora*, arroz + *C. spectabilis*, arroz + estilosantes, arroz + feijão de porco, arroz + guandu anão.

No primeiro ano de cultivo, os adubos verdes foram semeados simultaneamente ao arroz e após 25 DAE (dias após a emergência) do cereal.

No segundo ano de cultivo, os adubos verdes foram semeados apenas aos 25 DAE em fileiras simples ou duplas de arroz. As espécies de adubos

verdes utilizadas foram as mesmas no primeiro e segundo ano, com exceção do amendoim forrageiro para o arranjo de plantas em fileiras duplas de arroz.

No primeiro ano agrícola, cada parcela foi composta por cinco linhas de arroz de cinco metros de comprimento, com espaçamento entrelinhas da cultura do arroz de 0,45 m e os adubos verdes foram semeados nas entrelinhas de arroz, distanciando-se 0,22 m dessas (Figura 2 A). No segundo ano agrícola, cada parcela foi composta por seis linhas de seis metros de comprimento. No arranjo de plantas em fileiras duplas, os adubos verdes foram semeados entre as linhas 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6 (Figura 2 B). A área útil foi composta pelas linhas centrais, considerando as linhas laterais como bordadura.

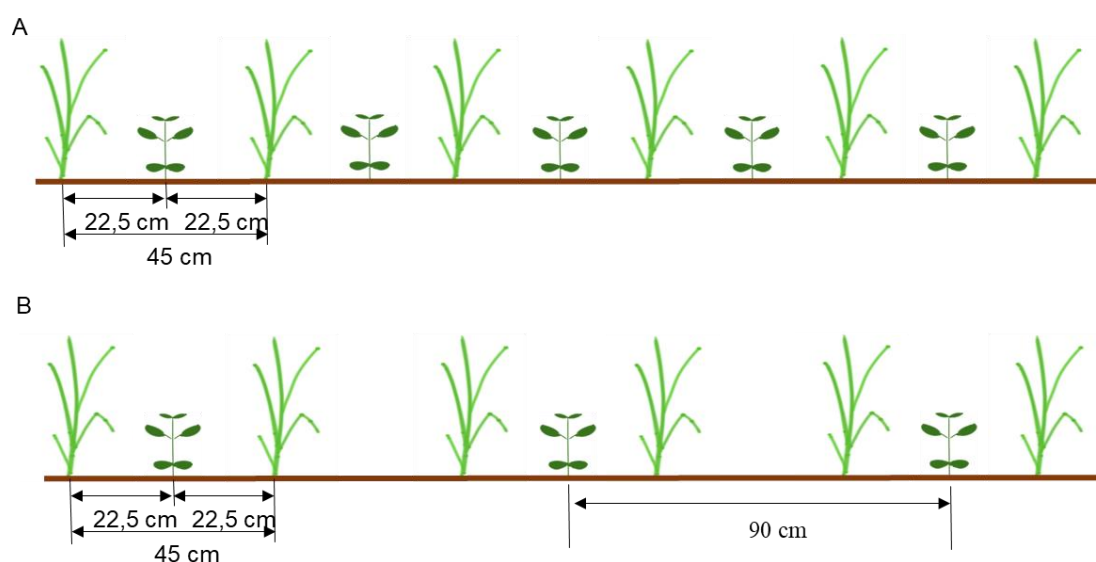


Figura 2. Esquema do sistema consorciado de arroz com adubos verdes semeados aos 25 DAE em fileiras simples (A) e fileiras duplas de arroz (B).

A semeadura do arroz foi realizada mecanicamente em 13 de novembro de 2018 e em 22 de outubro de 2019, por meio de semeadura direta. A densidade de semeadura de arroz foi de 70 kg ha^{-1} da cultivar BRS Esmeralda, a qual possui potencial produtivo de 7.525 kg ha^{-1} , altura das plantas variando de 95 a 108 cm, ciclo até o florescimento de cerca de 77 dias e até a maturação podendo variar de 105 a 110 dias, além de apresentar grãos longo/fino. Essa cultivar se destaca pelo vigor inicial, com rápido fechamento entrelinhas, resistência ao acamamento, persistência da coloração verde das folhas na fase de maturação de grãos (stay green), bem como tolerância à seca e resistência moderada a brusone (Castro et al., 2014).

A semeadura dos adubos verdes realizada 25 dias após a emergência do arroz (DAE), ocorreu quando as plantas de arroz se encontravam no estágio V₄ (formação do colar da 4ª folha no colmo principal) (Counce et al., 2000). A quantidade de sementes de adubos verdes utilizada foi a recomendada de acordo com Calegari e Carlos (2014) para *Crotalaria breviflora* D.C. (12 kg ha⁻¹), *Crotalaria spectabilis* Roth (12 kg ha⁻¹), feijão de porco – *Canavalia ensiformis* L. (80 kg ha⁻¹), guandu anão – *Cajanus cajan* L. (35 kg ha⁻¹), calopogônio – *Calopogonium mucunoides* Desv. (8 kg ha⁻¹), amendoim forrageiro – *Arachis pintoi* Krap. e Greg. (8 kg ha⁻¹), estilosantes - *Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala* cv. Campo Grande (4 kg ha⁻¹). As sementes de arroz e de adubos verdes foram tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (5, 45 e 50 mL 100 kg de semente⁻¹, respectivamente).

Para a semeadura dos adubos verdes, realizou-se operação mecanizada com semeadura-adubadora para abertura do sulco e posteriormente foi feita a deposição das sementes de maneira manual, bem como o fechamento do sulco.

Nos dois anos agrícolas, a adubação básica nos sulcos de semeadura da cultura do arroz foi realizada com 210 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16, equivalente a 16,8 kg ha⁻¹ de N, 58,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 33,6 kg ha⁻¹ de K₂O, de acordo com as recomendações de Cantarella e Raij (1997) para a cultura do arroz. A adubação de cobertura foi realizada no estágio V₃ (formação do colar da 3ª folha no colmo principal e início do perfilhamento), aos 22 e 20 DAE (dias após emergência), no primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente, na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, usando como fonte sulfato de amônio (Cantarella e Raij, 1997).

Anteriormente à implantação do experimento foi realizado um bioensaio para avaliar herbicidas e doses que não prejudicassem o desenvolvimento dos adubos verdes, principalmente na semeadura simultânea do consórcio. A partir dos resultados obtidos, observou-se que a aplicação de trifluralina (1.080 g ha⁻¹ i.a.) em pré-emergência e bentazona com metade da dose recomendada (360 g ha⁻¹ i.a.) em pós-emergência não prejudicaram o desenvolvimento do arroz e dos adubos verdes.

Assim, o manejo fitossanitário, no primeiro ano agrícola, foi realizado com aplicação de trifluralina (1.080 g ha⁻¹ i.a.) para controle de plantas daninhas em pré-emergência logo após a semeadura. Aos 13 DAE (V₂ – formação do colar da 2ª folha no colmo principal) foi feita a aplicação de bentazona (360 g ha⁻¹ i.a.)

para controle em pós-emergência. A aplicação de inseticida (tiametoxam + lambda-cialotrina (35,25g e 26,5 g ha⁻¹ i.a., respectivamente)) e fungicida (picoxistrobina + ciproconazole (80 e 32 g ha⁻¹ i.a., respectivamente) aos 63 DAE (R₂ – formação do colar da folha bandeira) e tebuconazole (187,5 g ha⁻¹ i.a.) aos 90 DAE (R₅ – expansão do grão em comprimento e largura).

No segundo ano agrícola, após a semeadura do arroz, foi realizada a aplicação de pendimethalin (1.400 g ha⁻¹) para o controle em pré-emergência. Aos 8 DAE (V₁ – formação do colar da 1ª folha do colmo principal) e aos 14 DAE (V₂) foi feita a aplicação de bentazona (360 g ha⁻¹ i.a.) para controle em pós-emergência. A aplicação de inseticida (tiametoxam + lambda-cialotrina (35,25g e 26,5 g ha⁻¹ i.a., respectivamente) e fungicida (picoxistrobina + ciproconazole (80 e 32 g ha⁻¹ i.a., respectivamente) foi feita aos 47 e 79 DAE (R₄ - florescimento)

Houve fornecimento de água de modo suplementar por meio de irrigação utilizando um sistema do tipo aspersão, totalizando uma lâmina de 90 e 75 mm, no primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente. A colheita do arroz foi realizada em 19 de março de 2019 (120 DAE) e em 20 de fevereiro de 2020 (113 DAE), manualmente.

A determinação dos componentes de produção do arroz foi feita pelo número de panículas por metro quadrado, avaliado pela contagem das panículas em 2,0 m de fileira de plantas e posteriormente calculou-se por metro quadrado. O número total de espiguetas por panícula foi calculado pela média do número de grãos de vinte panículas coletadas ao acaso no momento da colheita. Após a separação dos grãos, provenientes das vinte panículas, por fluxo de ar, obteve-se o número de espiguetas granadas e chochas por panícula. A massa de 100 grãos foi avaliada pela pesagem de quatro amostras de 100 grãos em cada parcela (13% base úmida). A produtividade foi determinada pela pesagem dos grãos provenientes de duas linhas centrais de 4,5 metros de cada parcela, no primeiro ano agrícola, e nas linhas 2 e 3 no segundo ano agrícola, e convertidas em kg ha⁻¹ (13% base úmida).

A produtividade de massa seca total proveniente dos sistemas de cultivo de arroz com adubos verdes, no primeiro ano agrícola, foi avaliada pela coleta do material vegetal com uma armação de madeira (0,45 x 0,55 m) em dois pontos de cada parcela, após a colheita do arroz e o manejo do material vegetal com trituradores mecânico (Triton®). No segundo ano agrícola, a coleta da massa seca

total foi realizada anteriormente à colheita do arroz. Foi coletado dois pontos de 0,45 m das culturas de arroz e adubos verdes, posteriormente foi descontado o valor de produtividade de grãos para obter-se a massa seca do arroz. A massa seca total foi resultante da somatória da massa seca do arroz e dos adubos verdes. O material foi seco em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 60-70 °C até atingir massa em equilíbrio, e os valores convertidos em kg ha⁻¹.

Posteriormente determinou-se o teor de carbono (Tedesco et al., 1995) e de nitrogênio (Malavolta et al., 1997), obtendo-se a relação C/N. A determinação da relação C/N foi realizada no primeiro ano agrícola apenas nos sistemas de consórcio de arroz com amendoim forrageiro, *C. breviflora* e estilosantes na semeadura realizada simultaneamente, devido os demais sistemas nessa modalidade inviabilizarem a produtividade de grãos. Para a semeadura realizada aos 25 DAE, determinou-se essa variável para todos os sistemas de consórcio, bem como para o segundo ano agrícola.

A qualidade dos grãos de arroz foi determinada para os sistemas de consórcio que permitiram produtividade de grãos de arroz (arroz consorciado com amendoim forrageiro, *Crotalaria breviflora* e estilosantes na semeadura simultânea, e todos os sistemas de consórcio na semeadura aos 25 DAE e no arranjo de plantas em fileiras simples e duplas).

O conteúdo de proteína bruta foi obtido pela multiplicação do conteúdo de N nos grãos por 5,95. Para o rendimento de engenho, uma amostra de 100 g de arroz com casca de cada parcela, foi processada em moinho por 1 minuto. Após esse processo, os grãos polidos foram pesados e o valor obtido considerado como rendimento de engenho. Os grãos resultantes desse processo colocados no trieur nº 0 por 30 segundos. Os grãos que permaneceram no trieur foram pesados para determinação de grãos inteiros e os demais considerados grãos quebrados.

Os dados de cada ano foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando constatado significância para o teste F (<0,05), as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (0,05). Os dados apresentados em porcentagem foram transformados (raiz quadrada) para atender os pressupostos da análise de variância.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Componentes de produção, produtividade de grãos e massa seca total – Primeiro ano agrícola

No primeiro ano agrícola, houve interação dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo para o número de panículas m^{-2} , espiguetas totais, granadas e chochas por panícula (Tabela 2).

Tabela 2. Número de panículas m^{-2} , espiguetas totais, granadas e chochas por panícula de arroz em função dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo.

Sistemas de consórcio	Panículas m^{-2}	Espiguetas Totais	Espiguetas granadas	Espiguetas chochas
	----- nº -----			
Arroz	272 a	148 a	128 a	21 b
Arroz + amendoim forrageiro	258 a	162 a	138 a	24 b
Arroz + calopogônio	132 b	75 b	61 b	14 c
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	227 a	154 a	132 a	22 b
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	122 b	74 b	58 b	16 c
Arroz + estilosantes	181 b	159 a	139 a	20 b
Arroz + feijão de porco	115 b	69 b	60 b	9 c
Arroz + guandu anão	110 b	76 b	43 c	33 a
Modalidade				
Simultâneo	110 b	74 b	64 b	10 b
25 DAE	253 a	155 a	126 a	30 a
Teste F ¹				
Sistema (S)	10,29**	98,82**	119,34**	11,50**
Modalidade (M)	98,50**	666,90**	506,13**	171,76**
S x M	7,21**	61,74**	50,29**	24,74**
CV(%)	33,37	11,01	11,56	30,86
Média geral	177	114	95	20

¹Teste F: ** – significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). CV – Coeficiente de variação.

O arroz consorciado simultaneamente com amendoim forrageiro e estilosantes permitiram número de panículas m^{-2} , espiguetas totais e granadas semelhantes ao cultivo de arroz exclusivo (Tabela 3), enquanto o consórcio com *Crotalaria breviflora* reduziu a quantidade de panículas em 26%. Ainda na modalidade de cultivo simultânea, as espécies calopogônio, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão tiveram forte competição com o arroz, de forma que inviabilizou o desenvolvimento e produtividade da cultura (Tabela 3). As espécies *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão possuem porte maior que as

demais, podendo atingir altura de 1,5, 1,0 e 1,5 m, respectivamente (Calegari e Carlos, 2014). Além disso, algumas dessas espécies como a *C. spectabilis* (Sousa et al., 2019) e o feijão de porco possuem desenvolvimento inicial rápido, sendo que esse último tem alta capacidade de cobertura do solo, podendo atingir até 93% de cobertura do solo em seu florescimento (Maceno, 2019).

O arroz, por sua vez, possui desenvolvimento inicial lento nos primeiros 30-40 dias, além da cultivar escolhida (BRS Esmeralda) apresentar altura até 1,08 m. Assim, esses fatores podem ter contribuído para o sombreamento do arroz por esses adubos verdes, inviabilizando seu desenvolvimento, uma vez que o sombreamento reduz o desenvolvimento de células em folhas jovens e velhas, prejudicando a área foliar (Wu et al., 2017), além de diminuir a absorção e utilização de nutrientes (Taiz et al., 2017).

Quando os adubos verdes foram semeados aos 25 DAE do arroz, todas as espécies permitiram o desenvolvimento do arroz e a produtividade de grãos, porém os consórcios com feijão de porco e guandu anão reduziram a quantidade de panículas (16 e 17%, respectivamente em relação ao arroz exclusivo) e esse último tratamento reduziu em 33% o número de espiguetas granadas por panícula (Tabela 3).

Tabela 3. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para número de panículas m⁻² e espiguetas granadas por panícula.

Tratamentos	Panículas m ⁻²		Espiguetas granadas	
	-----n°-----			
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz	271 aA	273 aA	126 aA	129 bA
Arroz + amendoim forrageiro	254 aA	262 aA	136 aA	140 aA
Arroz + calopogônio	0 cB	264 aA	0 bB	123 bA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	200 bA	254 aA	117 aB	146 aA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	0 cB	243 aA	0 bB	116 bA
Arroz + estilosantes	266 aA	278 aA	134 aA	144 aA
Arroz + feijão de porco	0 cB	230 bA	0 bB	121 bA
Arroz + quandu anão	0 cB	220 bA	0 bB	86 cA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

O arroz consorciado com amendoim forrageiro, *C. breviflora* e estilosantes proporcionaram maior quantidade de espiguetas granadas e totais em relação aos demais tratamentos (Tabelas 3 e 4), quando a semeadura dos adubos verdes foi realizada aos 25 DAE. O consórcio de arroz com guandu anão proporcionou

maior número de espiguetas chochas por panícula, sendo quase três vezes superior ao arroz exclusivo.

Para o desdobramento da modalidade de cultivo em cada sistema de consórcio foi possível verificar que os tratamentos que inviabilizaram o desenvolvimento do arroz (calopogônio, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão) na semeadura simultânea, permitiram o desenvolvimento adequado na semeadura aos 25 DAE. Além disso, o sistema de arroz consorciado com *C. breviflora* proporcionou maior número de espiguetas granadas por panícula na modalidade de cultivo com semeadura aos 25 DAE (25% superior à semeadura simultânea).

Quando o período de convivência entre as espécies é reduzido, o que ocorre quando uma espécie é semeada posteriormente, nesse estudo aos 25 DAE do arroz, observa-se que a competição é minimizada. Isso ocorre porque que a primeira espécie semeada tem uma certa vantagem por inicialmente se desenvolver sozinha, enquanto a segunda espécie pode sofrer os efeitos do sombreamento e da competição da primeira espécie (Feng et al., 2019). Dessa forma, pode ser minimizada a competição por recursos como luz e nutrientes, demonstrando diferenciação de nicho, com efeito de complementariedade temporal entre as espécies (Brooker et al., 2015).

Tabela 4. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para número de espiguetas chochas e totais por panícula.

Tratamentos	Espiguetas chochas		Espiguetas totais	
	-----nº-----			
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz	18 aA	24 bA	143 aA	152 bA
Arroz + amendoim forrageiro	21 aA	27 bA	158 aA	167 aA
Arroz + calopogônio	0 bB	27 bA	0 bB	150 bA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	21 aA	23 bA	138 aA	169 aA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	0 bB	31 bA	0 bB	147 bA
Arroz + estilosantes	18 aA	23 bA	152 aA	167 aA
Arroz + feijão de porco	0 bB	18 bA	0 bB	138 bA
Arroz + quandu anão	0 bB	66 aA	0 bB	151 bA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Para a massa de 100 grãos, produtividade e relação C/N da massa seca total também houve interação para os sistemas de consórcio e modalidade de cultivo no primeiro ano agrícola (Tabela 5).

Tabela 5. Massa de 100 grãos, produtividade de grãos, massa seca total e relação C/N em função dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo.

Sistemas de consórcio	M100 grãos	Produtividade de grãos	Massa seca total	Relação C/N
	g	-----kg ha ⁻¹ -----		-
Arroz	2,69 a	6.896 a	4.856 c	70,8 a
Arroz + amendoim forrageiro	2,72 a	6.265 b	5.456 c	60,2 b
Arroz + calopogônio	1,34 c	3.058 d	5.671 c	38,3 c
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	2,65 b	4.717 c	7.317 b	54,4 b
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	1,30 c	2.737 d	7.048 b	45,2 c
Arroz + estilosantes	2,74 a	6.503 b	5.736 c	55,3 b
Arroz + feijão de porco	1,33 c	2.560 d	7.348 b	42,1 c
Arroz + guandu anão	1,30 c	1.427 e	9.970 a	46,4 c
Modalidade				
Simultâneo	1,35 b	2.722 b	7.124 a	60,2 a
25 DAE	2,66 a	5.818 a	6.226 b	51,6 b
Teste F¹				
Sistema (S)	1797,04**	142,09**	11,50**	13,08**
Modalidade (M)	11216,55**	617,48**	7,00*	15,51**
S x M	1644,49**	48,63**	1,69 ^{ns}	3,38*
CV(%)	2,46	11,67	20,34	13,10
Média geral	2,01	4.270	6.675	54,44

¹Teste F: **, * e ^{ns} – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

Para a semeadura simultânea de arroz e adubos verdes, os consórcios com calopogônio, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão por prejudicarem o desenvolvimento do arroz, conseqüentemente anularam a produtividade de grãos (Tabela 6). Quando o consórcio foi realizado com a *C. breviflora*, houve redução na massa de 100 grãos (4%) e produtividade de grãos (60% em relação ao arroz exclusivo).

Para a semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE, a massa de 100 grãos foi prejudicada no consórcio de arroz com *C. spectabilis* e guandu anão em relação aos demais tratamentos. O arroz consorciado com guandu anão reduziu em 58% a produtividade de grãos devido ao menor número de espiguetas granadas. Os consórcios de arroz com *C. spectabilis* e feijão de porco também reduziram a produtividade de grãos (20 e 25% em relação ao arroz exclusivo, respectivamente), porém essas foram superiores ao consórcio com guandu anão (Tabela 6).

Tabela 6. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para massa de 100 grãos e produtividade de grãos de arroz.

Tratamentos	M100 grãos		Produtividade de grãos	
	g		kg ha ⁻¹	
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz	2,72 aA	2,67 aA	6.875 aA	6.917 aA
Arroz + amendoim forrageiro	2,75 aA	2,68 aA	6.090 aA	6.440 aA
Arroz + calopogônio	0 cB	2,68 aA	0 cB	6.116 aA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	2,62 bB	2,69 aA	2.681 bB	6.752 aA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	0 cB	2,60 bA	0 cB	5.474 bA
Arroz + estilosantes	2,74 aA	2,73 aA	6.131 aA	6.875 aA
Arroz + feijão de porco	0 cB	2,66 aA	0 cB	5.120 bA
Arroz + guandu anão	0 cB	2,60 bA	0 cB	2.854 cA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Também foi possível observar que a semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE permitiu maior desempenho do arroz em relação à semeadura simultânea, sendo essa diferença menos acentuada no consórcio com amendoim forrageiro e estilosantes. Isso pode ser atrelado ao menor porte e produtividade de massa seca dessas plantas, bem como sincronismo no desenvolvimento do arroz e desses adubos verdes (amendoim forrageiro, calopogônio, *C. breviflora* e estilosantes) quando implantados 25 DAE do arroz. Devido a esses fatores, favoreceram a transmissão de luz e a interceptação da mesma pelas plantas de arroz (Li et al., 2020).

Akanvou et al. (2002) em experimento de arroz consorciado com guandu e estilosantes, também observaram maior competitividade do guandu, reduzindo a produtividade de grãos de arroz. Os autores ainda relatam que a semeadura dos adubos verdes realizada a partir dos 28 dias após a semeadura do arroz reduziu a competitividade entre as plantas e as perdas na produtividade, sendo essa redução ainda mais acentuada quando a instalação dos adubos verdes foi feita aos 56 dias após a semeadura do arroz.

A produtividade de massa seca total no primeiro ano agrícola foi superior nos sistemas de consórcio de arroz com guandu anão, feijão de porco, *C. spectabilis* e *C. breviflora*, sendo que apenas esse último sistema permitiu produtividade de grãos de arroz, porém esse valor foi reduzido (Tabela 5). Os valores encontrados nesses sistemas de consórcio, variaram de 7.048 a 9.970 kg ha⁻¹, considerados adequados para a viabilidade do SPD, e consequentemente para a realização de uma agricultura conservacionista e

sustentável, uma vez que permite a cobertura do solo, contribuindo para redução de processos erosivos, pelo menor impacto das gotas de chuva no solo, possibilitando maior infiltração de água no solo e menor escoamento superficial.

Para que haja adequada cobertura do solo nesse sistema de produção é recomendado que seja produzido de 7,0 a 8,0 t ha⁻¹ ano⁻¹ de massa seca, em regiões tropicais e subtropicais no bioma de Cerrado (Aidar et al., 2007). Os demais sistemas de consórcio obtiveram valores entre 4.856 e 5.736 kg ha⁻¹, valores inferiores ao preconizado para o SPD.

A modalidade de cultivo também influenciou sobre essa variável, assim, a semeadura simultânea proporcionou maior produtividade de massa seca em relação à semeadura dos adubos verdes realizada aos 25 DAE (Tabela 5). Isso ocorreu pelo maior tempo para desenvolvimento dos adubos verdes na semeadura simultânea, o que também prejudicou o desenvolvimento do arroz.

A relação C/N diferiu entre os sistemas de consórcio (Tabela 5), sendo o arroz exclusivo com maior valor (70). Os consórcios de arroz com amendoim forrageiro, *C. breviflora* e estilosantes apresentaram valores intermediários (54-60), enquanto os demais valores inferiores (38-46).

A redução da relação C/N nos sistemas consorciados ocorreu devido à maior concentração de N nos adubos verdes, devido à composição das folhas que possuem até 50% de suas proteínas composta por RuBPCarboxylase (RuBisCO), a qual exige grande quantidade de N na sua constituição (Leegood, 1996).

A semeadura de arroz e adubos verdes simultaneamente também proporcionou maior relação C/N em relação à semeadura aos 25 DAE. Isso pode ter ocorrido pelo maior tempo de desenvolvimento dos adubos verdes semeados simultaneamente em relação aos 25 DAE, proporcionando maior produtividade de massa seca, a qual possui maior concentração de N que a do arroz.

A partir do desdobramento da interação consórcio x modalidade de cultivo para relação C/N, observou-se que na modalidade de semeadura simultânea, os sistemas de arroz exclusivo e consorciado com amendoim forrageiro obtiveram maiores valores para essa variável em relação ao consórcio de arroz com *C. breviflora* e estilosantes. Além disso, a relação C/N para o consórcio de arroz com estilosantes foi superior na semeadura aos 25 DAE em comparação com a simultânea.

Tabela 7. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para relação C/N.

Tratamentos	Relação C/N	
	Simultâneo	25 DAE
Arroz	73,8 aA	67,8 aA
Arroz + amendoim forrageiro	65,5 aA	54,8 aA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	52,8 bA	56,0 aA
Arroz + estilosantes	48,6 bB	61,9 aA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

2.3.2 Componentes de produção, produtividade de grãos e massa seca total – Segundo ano agrícola

No segundo ano agrícola, em que os adubos verdes foram semeados aos 25 DAE do arroz em fileiras simples e duplas, o número de espiguetas granadas e chochas por panícula foram influenciados pelos sistemas de consórcio, enquanto para o número de panícula m^{-2} e espiguetas totais por panícula não foi observado esse comportamento (Tabela 8).

O número de espiguetas granadas por panícula foi reduzido nos consórcios com *C. spectabilis* (25%), feijão de porco (14%) e guandu anão (31%), já para o número de espiguetas chochas houve aumento nesses consórcios (61, 26 e 75%, respectivamente) em relação ao arroz exclusivo (Tabela 8).

Tabela 8. Número de panículas m⁻², espiguetas granadas, chochas e totais por panícula de arroz em função dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas.

Sistemas de consórcio	Panículas m ⁻²	Espiguetas granadas	Espiguetas chochas	Espiguetas totais
-----nº-----				
Arroz	246	136 a	36 b	172
Arroz + amendoim forrageiro	248	154 a	26 b	180
Arroz + calopogônio	248	136 a	38 b	174
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	250	136 a	37 b	173
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	239	102 b	58 a	160
Arroz + estilosantes	236	138 a	33 b	170
Arroz + feijão de porco	232	117 b	49 a	166
Arroz + guandu anão	237	94 b	63 a	158
Arranjo de plantas				
Fileiras simples	242	126	40	167
Fileiras duplas	240	123	47	170
Teste F ¹				
Sistema (S)	0,42 ^{ns}	5,36**	5,50**	1,08 ^{ns}
Arranjo (A)	0,06 ^{ns}	0,31 ^{ns}	2,86 ^{ns}	0,37 ^{ns}
S x A	1,35 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,53 ^{ns}
CV(%)	11,65	18,51	33,26	11,19
Média geral	242	125	44	168

¹Teste F: ** e ^{ns} – significativo a 1 % e não significativo, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

Não houve diferença estatística para massa de 100 grãos (Tabelas 9), já para a produtividade de grãos e massa seca total foi observado interação entre sistemas de consórcio e arranjo de plantas. Para a relação C/N da massa seca, houve diferença entre os sistemas de consórcio.

Tabela 9. Massa de 100 grãos, produtividade de grãos, massa seca total e relação C/N em função dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas.

Sistemas de consórcio	M100 grãos g	Produtividade de grãos kg ha ⁻¹	Massa seca total kg ha ⁻¹	Relação C/N -
Arroz	2,68	5.916 a	7.911 b	68,2 a
Arroz + amendoim forrageiro	2,72	5.777 a	7.974 b	71,9 a
Arroz + calopogônio	2,70	5.572 a	8.577 b	63,4 a
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	2,72	5.691 a	8.487 b	67,1 a
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	2,68	3.774 c	10.702 a	56,5 b
Arroz + estilosantes	2,70	5.503 a	6.842 b	70,2 a
Arroz + feijão de porco	2,71	4.713 b	9.443 b	45,8 b
Arroz + guandu anão	2,64	3.896 c	12.129 a	53,2 b
Arranjo de plantas				
Fileiras simples	2,69	4.693 b	10.359 a	60,8
Fileiras duplas	2,68	5.480 a	7.612 b	62,0
Teste F				
Sistema (S)	0,81 ^{ns}	10,02**	4,55**	8,38**
Arranjo (A)	0,58 ^{ns}	19,84**	22,75**	0,27 ^{ns}
S x A	0,55 ^{ns}	2,67*	6,60*	1,44 ^{ns}
CV(%)	2,66	15,79	24,49	14,11
Média geral	2,69	5.060	9.079	61,4

¹Teste F: **, * e ^{ns} – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

A interferência dos sistemas de consórcio nos componentes de produção resultou na redução da produtividade de grãos de arroz (Tabela 10) no consórcio com *C. spectabilis* e guandu anão, em fileiras simples (48 e 56% em relação ao arroz exclusivo respectivamente), e somado a esses o feijão de porco em fileiras duplas (24, 15 e 18% em relação ao arroz exclusivo, respectivamente).

Foi possível verificar um aumento na produtividade de grãos no sistema de fileiras duplas em relação ao fileiras simples (Tabela 10), sendo essa diferença expressiva nos consórcios de arroz com *C. spectabilis* (50%) e guandu anão (108%). Essas duas espécies apresentam maior porte em relação às demais (Calegari e Carlos, 2014), e quando elas são inseridas em todas as entrelinhas do arroz (fileira simples) exercem maior sombreamento nas plantas de arroz. Assim, quando os adubos verdes são instalados a cada duas fileiras de arroz, ocorre redução desse sombreamento e da competição por luz (Feng et al., 2019), favorecendo o desenvolvimento e produtividade de grãos de arroz.

Tabela 10. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x arranjo de plantas para produtividade de grãos de arroz e massa seca total.

Tratamentos	Produtividade de grãos -----kg ha ⁻¹ -----		Massa seca total	
	Fileiras simples	Fileiras duplas	Fileiras simples	Fileiras duplas
Arroz	5.810 aA	6.022 aA	7.375 cA	8.447 A
Arroz + amendoim forrageiro	5.777 a	-	7.974 c	-
Arroz + calopogônio	5.436 aA	5.708 aA	8.345 cA	8.808 A
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	5.155 aA	6.226 aA	10.866 bA	6.108 B
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	3.043 bB	4.506 bA	12.661 bA	8.744 B
Arroz + estilosantes	5.298 aA	5.708 aA	7.721 cA	5.963 A
Arroz + feijão de porco	4.496 aA	4.930 bA	11.255 bA	7.656 B
Arroz + guandu anão	2.533 bB	5.259 bA	16.677 aA	7.580 B

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Vale ressaltar que os valores de produtividade de grãos encontrados, tanto no primeiro quanto no segundo ano agrícola, com exceção de alguns tratamentos em que houve redução drástica, estão acima da média mundial (4.100 kg ha^{-1}) e próximos da média brasileira, que é de 6.020 kg ha^{-1} (IRRI, 2020). Esses resultados se devem também ao adequado manejo cultural, com destaque para a escolha da cultivar BRS Esmeralda, que apresenta grande estabilidade e adaptabilidade em diversas regiões do Brasil (Castro et al., 2014).

Com relação às condições climáticas ocorridas durante o primeiro ano agrícola (Figura 1A), foi observado três períodos de veranicos: 03/12/2018 até 14/12/2018, 15/01/2019 até 24/01/2019 e 28/01/19 até 05/02/2019, enquanto no segundo ano agrícola apenas na fase inicial do desenvolvimento do arroz houve período de veranico. De acordo com Guimarães et al. (2016) veranicos de 10 dias podem causar redução de 31 e 51% na produtividade de grãos de arroz quando ocorre na fase de emissão da panícula (R_3) e de expansão do grão em comprimento (R_5), respectivamente. O fornecimento de água foi realizado nos períodos de veranico por meio de irrigação suplementar, onde a lâmina d'água fornecida via irrigação foi de 90 e 75 mm, somada a 830 e 830,4 mm provenientes da chuva no restante do ciclo do arroz, no primeiro e segundo ano agrícola, respectivamente.

Destaca-se também que a cultivar BRS Esmeralda apresenta tolerância à seca (Castro et al., 2014) e os atributos físicos e químicos do solo como textura argilosa, possuindo maior capacidade de armazenar água, baixa acidez, bem como altos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, contribuíram para o

desenvolvimento radicular e a nutrição das plantas, refletindo positivamente na produtividade de grãos.

Houve interação significativa para produtividade de massa seca total no segundo ano agrícola (Tabela 9). Para o arranjo de plantas em fileiras simples, os consórcios de arroz com guandu anão, feijão de porco, *C. spectabilis* e *C. breviflora* obtiveram maior massa seca total, variando de 10.866 a 16.677 kg ha⁻¹ (Tabela 10). Os demais sistemas de consórcio, apresentaram valores semelhantes ao arroz exclusivo, sendo a produtividade de massa seca total entre 7.375 e 8.345 kg ha⁻¹.

Para o arranjo de plantas em fileiras duplas não houve diferença entre os sistemas de consórcio, com valores variando de 5.963 a 8.808 kg ha⁻¹. Em relação ao desdobramento arranjo de plantas em cada sistema de consórcio, verificou-se que o arroz consorciado com *C. breviflora*, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão produziram maior quantidade de massa seca quando cultivados em fileiras simples de arroz em relação a fileiras duplas.

Outro aspecto importante refere-se aos resultados de produtividade de massa seca serem semelhantes ao encontrado por Souza et al. (2019) em consórcio de milho com *C. spectabilis* (7.450 kg ha⁻¹) e por Arf et al. (2018) em consórcio de milho com os adubos verdes feijão de porco, guandu e *Crotalaria spectabilis* (média de 11.302, 12.843 e 11.886 kg ha⁻¹, respectivamente). Esses resultados mostram que o consórcio de arroz com adubos verdes pode proporcionar produtividade de massa seca semelhante ao milho consorciado com essas plantas, manejo muito utilizado no Brasil na sucessão com soja no SPD.

A relação C/N foi inferior nos consórcios de arroz com *Crotalaria spectabilis*, feijão de porco e guandu anão em relação aos demais sistemas (Tabela 9). Essas plantas apresentam maior desenvolvimento em relação aos demais adubos verdes, que pode ter proporcionado maior produtividade de massa seca, aliado à concentração de N nas folhas por serem leguminosas.

A relação C/N da massa seca total resultante do consórcio é importante no processo de decomposição do material. Em condições de Cerrado, onde altas temperaturas favorecem a decomposição, que é ainda mais intensificado na presença de umidade, baixa relação C/N pode proporcionar rápida decomposição, expondo o solo a processos erosivos e prejudicando o SPD.

Assim, massa seca residual com valores intermediários de relação C/N podem proporcionar um equilíbrio entre cobertura do solo e decomposição para posterior liberação de nutrientes para cultura subsequente.

2.3.3 Qualidade de grãos – Primeiro ano agrícola

Para a qualidade dos grãos (teor de proteína bruta, rendimento de engenho e grãos inteiros) houve interação de sistemas de consórcio e modalidade de cultivo no primeiro ano agrícola (Tabela 11).

Tabela 11. Teor de proteína bruta, rendimento de engenho, grãos inteiros e quebrados em função dos sistemas de consórcio e modalidade de cultivo.

Sistemas de consórcio	Proteína bruta	Rendimento de engenho	Grãos inteiros	Grãos quebrados
	-----n°-----			
Arroz	8,2 c	69,3 a	67,6 a	1,6 b
Arroz + amendoim forrageiro	7,8 c	69,0 a	67,4 a	1,6 b
Arroz + calopogônio	8,5 c	68,5 a	66,7 a	1,8 a
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	9,3 b	66,5 b	65,0 b	1,6 a
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	9,3 b	67,6 b	66,0 a	1,6 b
Arroz + estilosantes	8,0 c	68,7 a	67,1 a	1,5 b
Arroz + feijão de porco	8,3 c	65,7 b	63,8 b	1,9 a
Arroz + guandu anão	11,4 a	65,1 d	64,0 b	1,2 b
Modalidade				
Simultâneo	8,7	67,8	66,1	1,6
25 DAE	8,7	67,8	66,3	1,5
Teste F				
Sistema (S)	7,48**	5,40**	4,70**	2,72*
Modalidade (M)	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,01 ^{ns}
S x M	11,46**	7,68**	6,37**	0,12 ^{ns}
CV(%)	4,43	1,19	1,25	8,80
Média geral	8,7	67,8	66,2	1,58

¹Teste F: **, * e ^{ns} – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

O consórcio de arroz com *C. breviflora* semeados simultaneamente aumentou o teor de proteína bruta nos grãos de arroz (Tabela 12), bem como os consórcios de arroz com *C. spectabilis* e guandu anão, na semeadura aos 25 DAE (30, 11 e 35% em relação ao arroz exclusivo, respectivamente). Isso foi causado pela redução na produtividade de grãos nesses tratamentos, causando efeito de concentração de proteína nos grãos (Jarrel e Beverly, 1981). O mesmo efeito foi observado no desdobramento da modalidade de cultivo em cada

sistema de consórcio, em que houve aumento no teor de proteína no consórcio de arroz com *C. breviflora* semeado simultaneamente em relação à semeadura aos 25 DAE.

Tabela 12. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para teor de proteína bruta e rendimento de engenho.

Tratamentos	Proteína bruta		Rendimento de engenho	
	-----%		-----%	
	Simultâneo	25 DAE	Simultâneo	25 DAE
Arroz	8,0 bA	8,3 cA	69,5 aA	69,2 aA
Arroz + amendoim forrageiro	7,9 bA	7,8 cA	68,7 aB	69,2 aA
Arroz + calopogônio	-	8,5 c	-	68,5 a
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	10,6 aA	8,0 cB	64,2 bB	68,8 aA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	-	9,3 b	-	67,6 a
Arroz + estilosantes	8,2 bA	7,9 cA	68,9 aA	68,3 aA
Arroz + feijão de porco	-	8,3 c	-	65,7 b
Arroz + guandu anão	-	11,4 a	-	65,1 b

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

O rendimento de engenho e de grãos inteiros foi prejudicado no consórcio de arroz com *C. breviflora* na semeadura simultânea, enquanto para a semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE, os consórcios com feijão de porco e guandu anão proporcionaram esse resultado, sendo os valores cerca de 5% inferiores ao arroz exclusivo (Tabelas 12 e 13).

Essas plantas provocaram o sombreamento do arroz devido ao seu maior porte. Esse sombreamento reduziu a qualidade dos grãos de arroz, uma vez que ocorre redução no conteúdo de amilase nos grãos e aumenta a porcentagem de gessados (Chen et al., 2019). Esses grãos gessados são opacos e ocorrem devido ao arranjo de grânulos de amidos e proteínas nas células, podendo resultar em maior quantidade de grãos quebrados (Marchezan et al., 1992). O sombreamento das plantas de arroz, provavelmente modifica a clorofila nas folhas de arroz, que consequentemente inibe a síntese de produtos fotossintéticos. Esse processo irá alterar, também, o transporte desses produtos até os grãos, onde afetará a síntese de amido, reduzindo a amilose e consequentemente a qualidade dos grãos (Chen et al., 2019).

Com exceção do sistema de consórcio de arroz com estilosantes, houve redução no rendimento de engenho na semeadura simultânea em relação à semeadura realizada aos 25 DAE (Tabela 12). Esse fato pode ser atribuído à

competição causada pelas espécies de adubos verdes no arroz, uma vez que na semeadura simultânea, houve maior período de convivência entre as espécies. Para os grãos inteiros, apenas o consórcio de arroz com *C. breviflora* reduziu os grãos inteiros na modalidade de cultivo simultânea (Tabela 13).

Na semeadura dos adubos verdes realizada aos 25 DAE, os consórcios de arroz com feijão de porco e guandu anão reduziram a porcentagem de grãos inteiros em relação aos demais sistemas de consórcio (Tabela 13).

Tabela 13. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x modalidade de cultivo para rendimento de grãos inteiros e quebrados.

Tratamentos	Grãos inteiros ----- % -----	
	Simultâneo	25 DAE
Arroz	67,4 aA	67,7 aA
Arroz + amendoim forrageiro	67,0 aA	67,8 aA
Arroz + calopogônio	-	66,7 a
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	62,5 bB	67,4 aA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	-	66,0 a
Arroz + estilosantes	67,3 aA	67,0 aA
Arroz + feijão de porco	-	63,8 b
Arroz + guandu anão	-	64,0 b

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

2.3.4 Qualidade de grãos – Segundo ano agrícola

No segundo ano agrícola, foi observada interação significativa entre sistemas de consórcio e arranjo de plantas para o teor de proteína bruta. O rendimento de benefício e grãos inteiros não foram afetados pelos sistemas de consórcio, enquanto os grãos quebrados foram influenciados (Tabela 14).

Tabela 14. Teor de proteína bruta, rendimento de engenho, grãos inteiros e quebrados em função dos sistemas de consórcio e arranjo de plantas.

Sistemas de consórcio	Proteína bruta	Rendimento de engenho	Grãos inteiros	Grãos quebrados
	-----%-----			
Arroz	6,9 b	68,1	66,8	1,3 a
Arroz + amendoim forrageiro	6,5 b	68,5	67,2	1,2 b
Arroz + calopogônio	6,7 b	68,6	67,2	1,4 a
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	7,2 b	68,4	67,2	1,3 a
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	9,1 a	67,4	66,2	1,2 b
Arroz + estilosantes	6,9 b	68,1	66,7	1,5 a
Arroz + feijão de porco	7,6 b	67,0	65,6	1,3 a
Arroz + guandu anão	8,6 a	66,1	65,0	1,1 b
Arranjo de plantas				
Fileiras simples	7,5	68,0	66,8	1,3
Fileiras duplas	7,4	67,4	66,0	1,4
Teste F ¹				
Sistema (S)	11,41**	2,06 ^{ns}	1,77 ^{ns}	2,70*
Arranjo (A)	0,06 ^{ns}	2,25 ^{ns}	3,00 ^{ns}	3,44 ^{ns}
S x A	3,23*	0,62 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,08 ^{ns}
CV(%)	4,26	1,23	1,24	7,09
Média geral	7,9	67,7	66,4	1,3

¹Teste F: **, * e ^{ns} – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott (P<0,05). CV – Coeficiente de variação.

Os consórcios de arroz com *C. spectabilis* e guandu anão favoreceram o teor de proteína bruta (Tabela 15), em ambos arranjos de plantas, devido ao efeito de concentração. Em relação ao arranjo de plantas em cada sistema de consórcio, apenas no consórcio de arroz com *C. spectabilis* o teor de proteína bruta nos grãos foi inferior quando cultivado em fileiras duplas de arroz comparado a fileiras simples. Esse resultado pode ser justificado pela menor competição entre o arroz e a *C. spectabilis* no arranjo em fileiras duplas, refletindo em menor interferência na produtividade e consequentemente minimizando o efeito concentração.

Tabela 15. Desdobramento da interação sistemas de consórcio x arranjo de plantas para teor proteína bruta em grãos de arroz.

Tratamentos	Proteína bruta -----%-----	
	Fileiras simples	Fileiras duplas
Arroz	6,8 cA	7,0 bA
Arroz + amendoim forrageiro	6,5 cA	-
Arroz + calopogônio	6,4 cA	7,1 bA
Arroz + <i>Crotalaria breviflora</i>	7,3 cA	7,2 bA
Arroz + <i>Crotalaria spectabilis</i>	10,1 aA	8,0 aB
Arroz + estilosantes	6,7 cA	7,0 bA
Arroz + feijão de porco	7,7 cA	7,4 bA
Arroz + guandu anão	8,8 bA	8,4 aA

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Deve-se destacar que, os valores de teor de proteína bruta encontrados nos dois anos agrícolas estão dentro da faixa preconizada para o cereal, podendo variar de 5,1 a 11,3% (Champagne et al., 1999).

Em relação aos grãos quebrados, os consórcios de arroz com amendoim forrageiro, *C. spectabilis* e guandu anão apresentaram menores valores, porém essa diferença foi inferior 0,2% em relação ao arroz exclusivo.

A caracterização dos grãos pelo rendimento de engenho, inteiros e quebrados, afeta o valor comercial dos grãos. Quanto maior a quantidade de grãos inteiros, maior valor comercial terá o produto (Laenoi et al., 2018).

No Brasil, preconiza-se que no arroz o rendimento de benefício seja acima de 68% (Fornasier Filho e Fornasier, 2006), sendo que a maioria dos sistemas de consórcio, nos dois anos agrícolas, apresentaram valores próximos a esse.

Os valores de rendimento de benefício e inteiros foram semelhantes ao encontrado por Portugal et al. (2020) em cultivo de arroz no SPD, para a cultivar BRS Esmeralda. A qualidade do arroz também é avaliada pela porcentagem de grãos quebrados e quirera. A classificação varia em categoria de 1 a 5, na qual 1 tolera até 7,5% de grãos quebrados e a categoria 5, até 45% de grãos quebrados e quirera (Brasil, 2010).

No presente trabalho, em todos os sistemas de consórcio de arroz, o percentual foi inferior a 3%, indicando que se enquadram no tipo 1. Essa característica confere maior valorização do produto na comercialização, pois o consumidor tem preferência pelo arroz com grãos uniformes e inteiros.

2.4 Conclusões

Na semeadura simultânea de arroz e adubos verdes, os consórcios de arroz com amendoim forrageiro, estilosantes e *Crotalaria breviflora* permitiram produtividade de grãos de arroz, porém o consórcio com *C. breviflora* reduziu em 61% a produtividade de grãos, com prejuízos na qualidade dos grãos.

Os consórcios realizados com semeadura aos 25 DAE, em fileiras simples e duplas, nos dois anos agrícolas para os adubos verdes amendoim forrageiro, calopogônio, *C. breviflora* e estilosantes proporcionaram produtividades e qualidade de grãos semelhantes ao arroz exclusivo.

A modalidade de cultivo com semeadura dos adubos verdes aos 25 DAE proporciona maiores produtividades em relação à semeadura dos adubos verdes simultânea.

O consórcio realizado em arranjo de fileiras duplas favorece a produtividade de grãos de arroz.

Os sistemas de consórcio de arroz com *Crotalaria breviflora*, *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão proporcionaram maior produtividade de massa seca na semeadura simultânea e aos 25 DAE em fileiras simples, porém apenas a *C. breviflora* não reduziu a produtividade de grãos na semeadura aos 25 DAE.

As espécies de adubos verdes não influenciaram a produtividade de massa seca no arranjo de plantas em fileiras duplas.

A produtividade de massa seca é superior na semeadura simultânea em relação aos 25 DAE. O arranjo de plantas em fileiras simples proporciona maior produtividade de massa seca comparado a fileiras duplas.

2.5 Referências

Aidar H, Kluthcouski J, Cobucci T (2007) Palhada de braquiária: redução dos riscos e do custo de produção das lavouras. In: Paula Júnior TJ (Ed.) **Integração lavoura-pecuária**. Belo Horizonte: EPAMIG, p.30-38.

Akanvou R, Kropff MJ, Bastiaans L, Becker M (2002) Evaluating the use of two contrasting legume species as relay intercrop in upland rice cropping systems. **Field Crops Research** 74:23-36.

Arf O, Portugal JR, Buzetti S, Rodrigues RAF, Sá ME (2018) Crop rotation, green manure and nitrogen fertilizers in upland rice under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 48:153-162. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v4851446>

BRASIL (2010) Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Instrução Normativa n.12 de 12 de março de 2010. Brasília: MAPA/ACS. 4 p.

Brooker RW, Bennett AE, Cong WF, Daniell TJ, George TS, Hallett PD, Hawes C, Iannetta PP, Jones HG, Karley AJ (2015) Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytologist** 206:107-117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>

Calegari A, Carlos JAD (2014) Recomendações de plantio e informações gerais sobre o uso de espécies para adubação verde no Brasil. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD, (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: EMBRAPA; v. 2, p. 451-478.

Cantarella H, van Raij B (1997) Cereais. In: van Raij B, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (Eds.) **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas:IAC, p. 48-49.

Castro AP, Moraes OP, Breseghello F, Lobo VLS, Guimarães CM, Bassinello PZ, Colombari Filho JM, Santiago CM, Furtini IV, Torga PP, Utumi MM, et al. (2014). BRS Esmeralda: cultivar de arroz de terras altas com elevada produtividade e maior tolerância à seca. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 4 p.

Champagne ET, Bett-Garber KL, Vinyard BT, McClung AM, Barton IIFE, Moldenhauer K, Linscombe S, McKenzie K (1999) Correlation between cooked rice texture and rapid visco analyzer measurements. **Cereal Chemistry** 76:764–771.

Chen H, Li QP, Zeng YL, Deng F, Ren EJ (2019) Effect of different shading materials on grain yield and quality of rice. **Scientific Reports** 9:9992. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46437-9>

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira grãos, v.8 Safra 2017/18 - sexto levantamento, Brasília, p. 1-106, março, 2021.

Counce PA, Keisling TC, Mitchell AL (2000) A uniform and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science** 40:436-443.

Crusciol CAC, Portugal JR, Momesso L, Bossolani JW, Pariz CM, Castilhos AM, Costa NR, Costa CHM, Costa C, Franzluebbbers A, Cantarella H (2020) Overcoming competition from intercropped forages on upland rice with optimized nitrogen input to food production in tropical region. **Frontiers in Sustainable Food Systems** 4:129. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00129>

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 356 p.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2017) The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome, 163 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

Feng L, Raza MA, Chen Y, Khalid MHB, Meraj TA, Ahsan F, et al. (2019) Narrow-wide row planting pattern improves the light environment and seed yields of intercrop species in relay intercropping system. **PLoS ONE** 14:e0212885. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212885>

Fornasieri Filho D, Fornasieri JL (2006) Manual of rice crop. Jaboticabal: FUNEP, 589 p.

Guimarães CM, Stone LF, Silva ACL (2016) Evapotranspiration and grain yield of upland rice as affected by water deficit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 20:441-446. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p441-446>

IRRI. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (2020) World Rice Statistics. Disponível em: <<http://ricestat.irri.org/>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

Jarrel WM, Beverly RB (1981) The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy** 34:197-224.

Laenoi S, Rerkasem B, Lordkaew S, Promuthai C (2018) Seasonal variation in grain yield and quality in different rice varieties. **Field Crops Research** 221:350-357. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.006>

Leegood RC (1996) Primary photosynthate production: physiology and metabolism. In: Zamski E, Schaffer AA (Ed.) Photoassimilate distribution in plants and crops. Source-sink relationships. New York: Marcel Dekker, p. 21-42.

Li L, Sum J, Zhang F, Guo T, Bao X, Smith FA, Smith SE (2006) Root distribution and interactions between intercropped species. **Oecologia** 147:280-290. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0256-4>

Li Y, Ma L, Wu P, Zhao X, Chen X, Gao X (2020) Yield, yield attributes and photosynthetic physiological characteristics of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.)/maize (*Zea mays* L.) strip intercropping. **Field Crops Research** 248:107656. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107656>

Maceno E (2019) **The effects of jack bean [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.] and sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) as legume cover crops on soil physical, biological and chemical properties in an agricultural field in Puerto Rico.** 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Porto Rico, Río Piedras.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 319 p.

Marchezan E, Daria GJA, Torres S (1992) Ocorrência de grãos gessados em três cultivares de arroz. **Scientia Agricola** 49:87-91. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161992000400012>

Martin-Guay M, Paquette A, Dupras J, Rivest D (2018) The new Green Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. **Science of the Total Environment** 615:767-772. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.024>

Mingotte FLC, Jardim CA, Yada MM, Amaral CB, Chiamolera TPLC, Coelho AP, Lemos LB, Fornarieri Filho D (2020) Impact of crop management and no-tillage system on grain and straw yield of maize crop. **Cereal Research Communications.** <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00051-y>

Nascente AS, Crusciol CAC, Cobucci T (2013) The no-tillage system and cover crops—Alternatives to increase upland rice yields. **European Journal of Agronomy** 45:124-131. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.09.004>

OECD, FAO. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION (2020) Agricultural Outlook. Disponível em: <<https://stats.oecd.org>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

Portugal JR, Arf O, Buzetti S, Portugal ARP, Garcia NFS, Meirelles FC, Garé LM, Abrantes FL, Rodrigues, RAF (2020) Do cover crops improve the productivity and industrial quality of upland rice? **Agronomy Journal** 112:327-343. <https://doi.org/10.1002/agj2.20028>

Reicosky DC, Forcella F (1998) Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. **Journal of Soil and Water Conservation** 53:224-229.

Sarruge JR, Haag HP (1974) Análises químicas de plantas. Piracicaba: ESALQ, 56 p.

Sousa DC, Medeiros JC, Lacerda JJ, Rosa JD, Boechat CL, Sousa MNG, Rodrigues PCF, Oliveira Filho EG, Mafra AL (2019) Dry mass accumulation, nutrients and decomposition of cover plants. **Journal of Agricultural Science** 1:152-160. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p152>

Souza SS, Couto Júnior PA, Flôres JA, Mingotte FLC, Lemos LB (2019) Maize cropping systems and response of common bean in succession subjected to nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 49:e55718. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632019v4955718>

Taiz L, Zeiger E, Møller IA, Murphy A (2017) Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. Porto Alegre: ARTMED, 858 p.

Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ (1995) Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 174p.

Triplett Jr GB, Dick WA (2008) No-tillage crop production: A revolution in agriculture! **Agronomy Journal** 100:S-153–S-165. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0005c>

Valkama E, Kunyipyayeva G, Zhapayev R, Karabayev M, Zhusupbekov E, Perego A, Schillaci C, Sacco D, Moretti B, Grignani C, Acutis M (2020) Can conservation agriculture increase soil carbon sequestration? A modelling approach. **Geoderma** 369:114298. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114298>

Yu Y, Stomph TJ, Makowski D, Zhang L, van der Werf W (2016). A meta-analysis of relative crop yields in cereal/legume mixtures suggests options for management. **Field Crops Research** 198, 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.001>

Wu Y, Gong W, Yang W (2017) Shade Inhibits Leaf Size by Controlling Cell Proliferation and Enlargement in Soybean. **Scientific Reports** 7:9259. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10026-5>

Zafarani M, Valizadeh J (2015) Investigating Light Absorption and Some Canopy Properties in Monocultures and Intercropping Culture of Safflower and Chickpea. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**. 3:1182-1187.

CAPÍTULO 5 – Considerações finais

O trabalho foi desenvolvido em região de Cerrado, em solo fértil, e com uso de irrigação suplementar por aspersão para amenizar os efeitos de veranicos. Além disso, a adoção do espaçamento de 0,45 m entre linhas de arroz e a escolha da cultivar de arroz BRS Esmeralda foi fundamental para a possibilidade de consorciação devido às características agronômicas como porte ereto, resistência ao acamamento e potencial produtivo.

Diante das condições no presente trabalho, verificou-se que a consorciação de arroz com adubos verdes pode favorecer o sistema de produção. A compreensão da interação das espécies consorciadas em relação à interceptação de luz, crescimento, absorção de nutrientes é necessária para a adequação desse sistema.

Observou-se que a competição entre os adubos verdes e o arroz foi principalmente devido ao porte das plantas, que causaram sombreamento no arroz, prejudicando a interceptação da radiação solar.

A escolha do sistema de consórcio depende da sua finalidade como fornecimento de alimento para bovinos, produção de massa seca para o SPD, redução da população de nematoides com o uso de espécies não hospedeiras. No presente trabalho, a finalidade do consórcio foi a diversificação de cultivo para produção de grãos e massa seca para o SPD.

Para a semeadura simultânea, apenas os consórcios de arroz de terras altas com amendoim forrageiro e estilosantes não afetaram a produtividade e qualidade de grãos, e apesar de não haver incremento significativo na produção de massa seca, o sistema contribui para a diversificação das espécies proporcionando benefícios ao agroecossistema, sendo que essas espécies podem ser utilizadas para a alimentação de bovinos.

Quanto a semeadura dos adubos verdes realizada aos 25 DAE, em fileiras simples e duplas, os consórcios de arroz de terras altas com amendoim forrageiro, calopogônio, *Crotalaria breviflora* e estilosantes proporcionaram produtividade e qualidade de grãos semelhantes ao arroz exclusivo. Dentre esses consórcios, destaca-se o de arroz de terras altas com *C. breviflora*, em fileiras simples, por incrementar significativamente a produção de massa seca visando o SPD.

A otimização operacional é fator importante no desenvolvimento e consequentemente adoção do sistema de consórcio entre o arroz de terras altas e os adubos verdes. Quanto a realização da semeadura das espécies, destaca-se que já existe no mercado, semeadoras-adubadoras com a terceira caixa, bem como a desenvolvida pela Embrapa em parceria com a empresa Jumil para o "Sistema Antecipe" (<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/57360395/sistema-antecipe-diminui-riscos-de-plantio-para-milho-safrinha>).

No que se refere a colheita mecanizada do arroz, verificou-se que é possível de ser realizada, sem qualquer prejuízo à qualidade dos grãos. No presente trabalho, após a colheita manual da área útil da parcela, foi utilizada uma colhedora automotriz de parcelas da marca Wintersteiger, na qual realizou a operação de colheita em área total, demonstrando excelente desempenho no tocante ao corte das plantas do cereal e adubos verdes, recolhimento e limpeza dos grãos.

Deve-se destacar que, diversas práticas agronômicas podem ser ajustadas ao sistema de produção em questão, podendo ser o foco de novas pesquisas como espaçamento de plantas, densidade de sementes, cultivares de arroz tolerantes a herbicidas, outras modalidades de semeadura, forma e momento de aplicação de fertilizantes, sucessão ou rotação de culturas, possibilitando a realização de estudos a longo prazo.

APÊNDICE

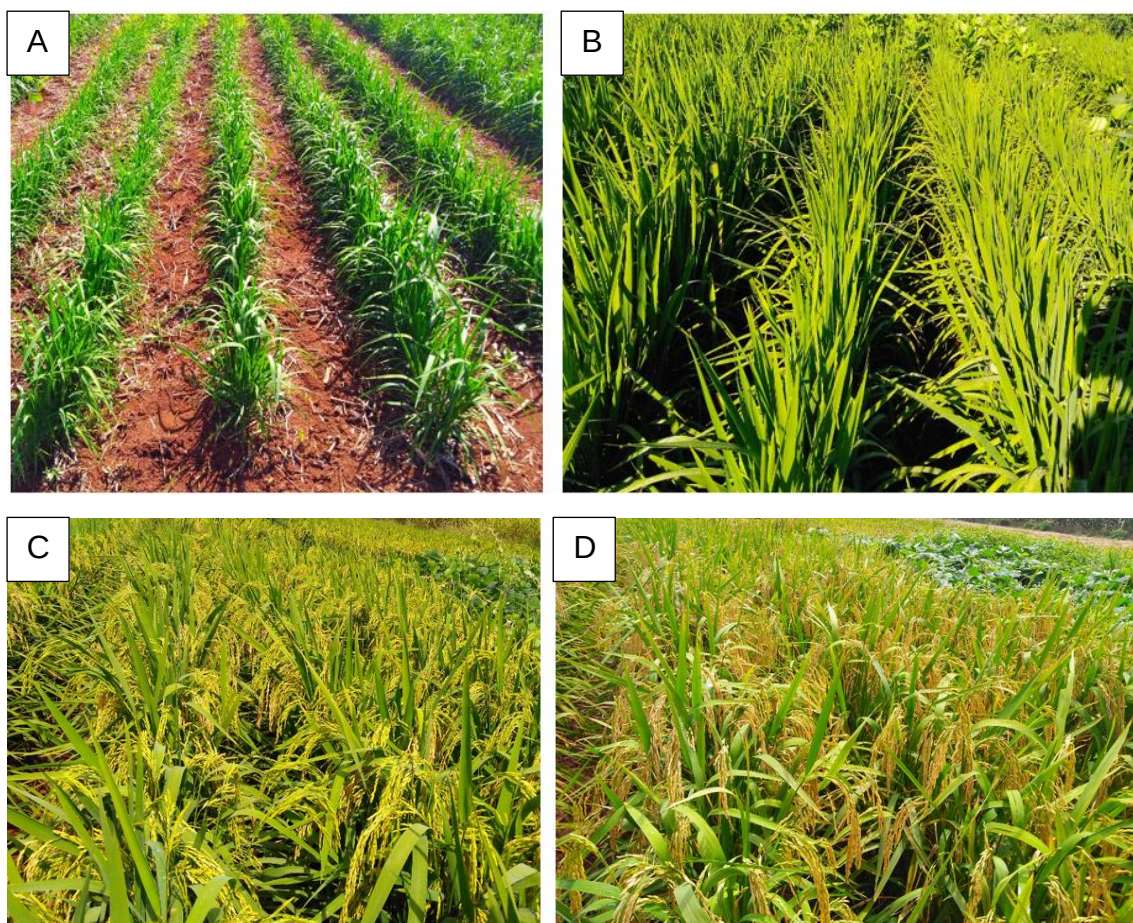


Figura 1. Arroz exclusivo aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

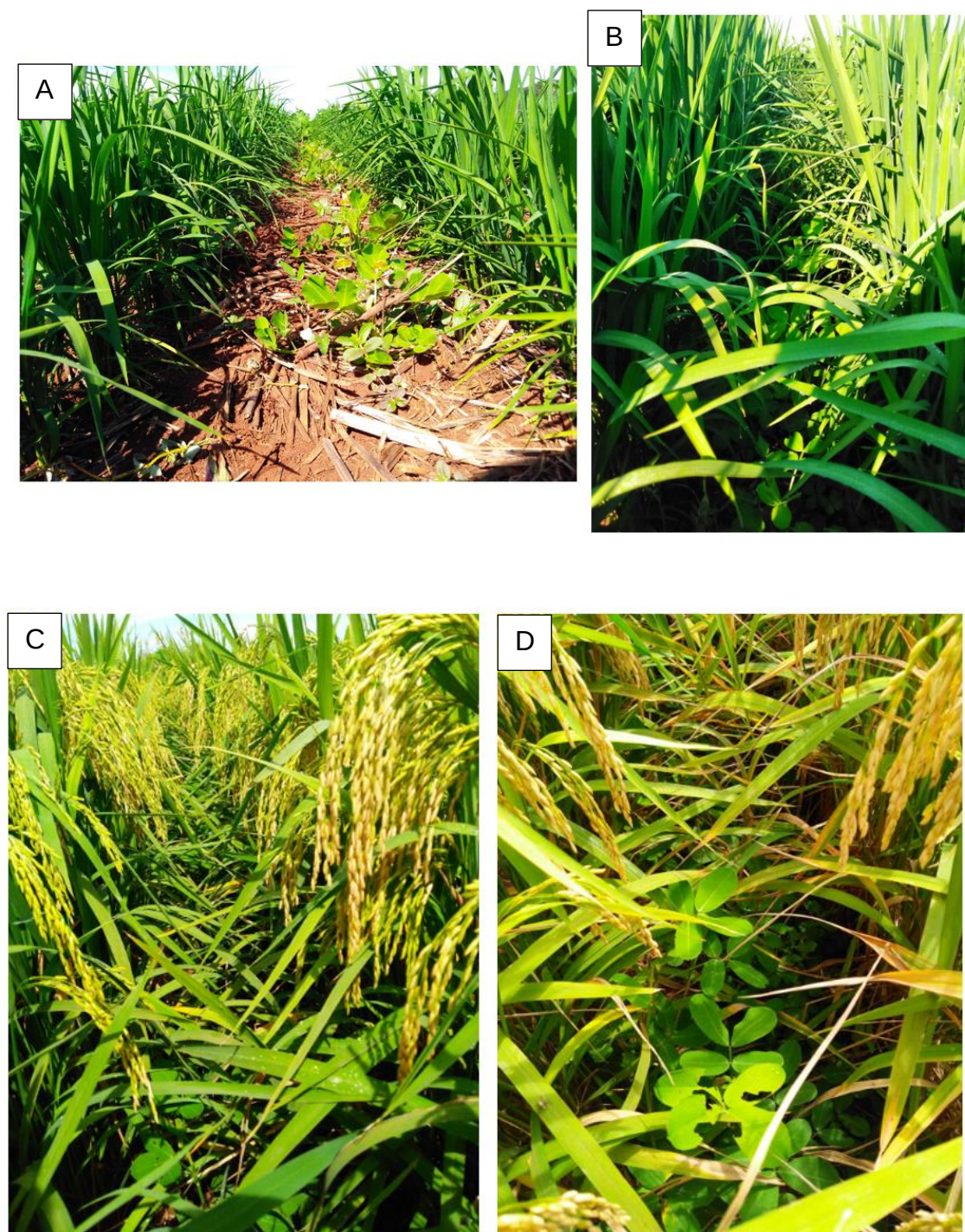


Figura 2. Arroz consorciado com amendoim forrageiro, com semeadura simultânea, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

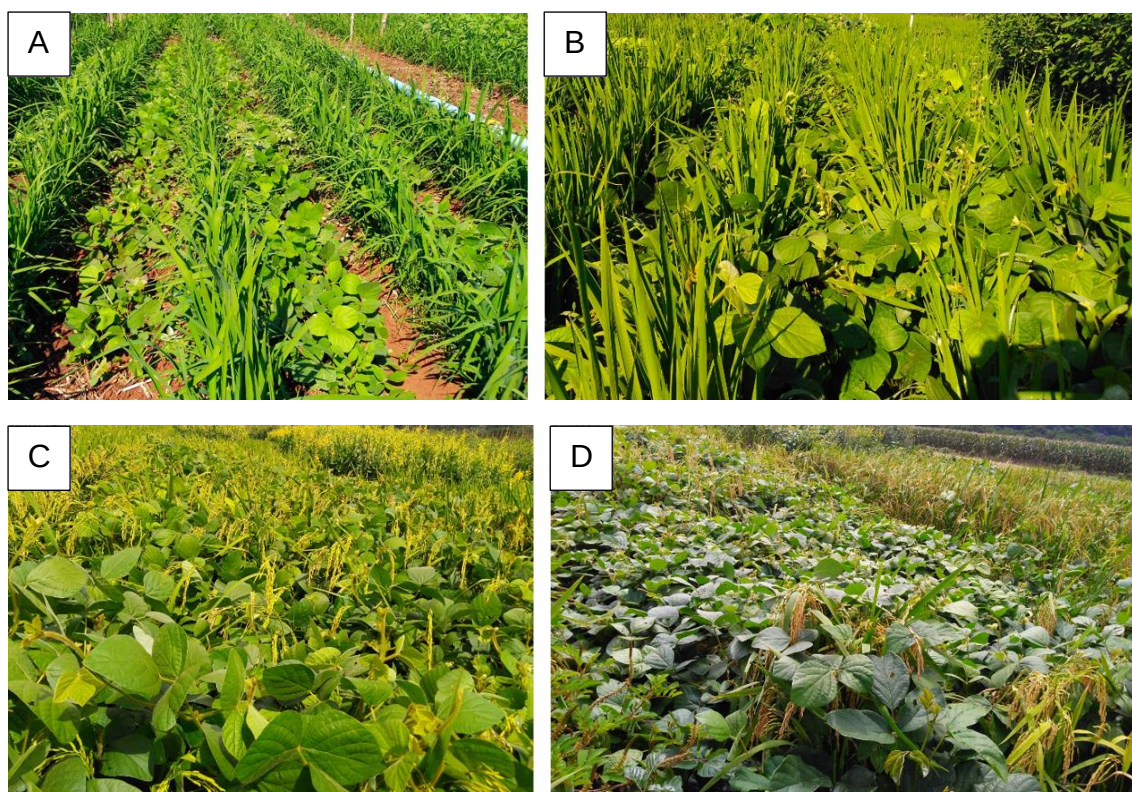


Figura 3. Arroz consorciado com calopogônio, com semeadura simultânea, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

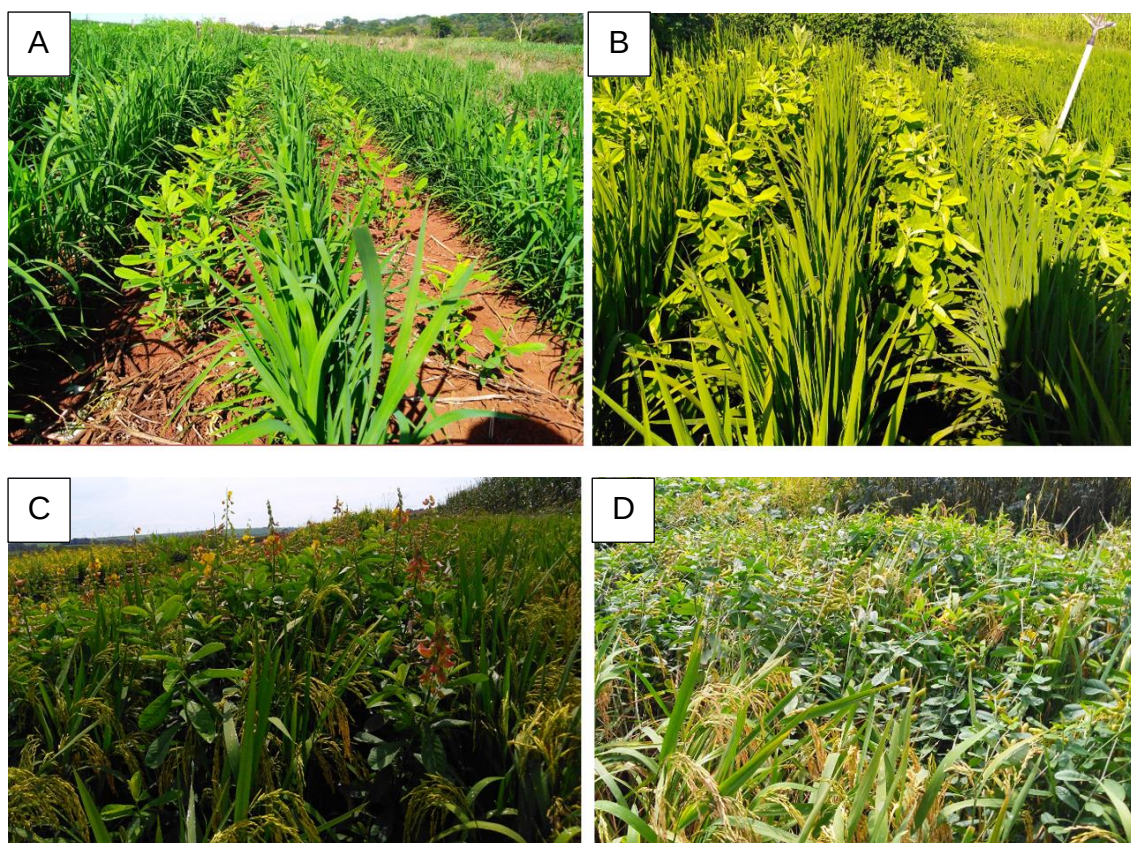


Figura 4. Arroz consorciado com *Crotalaria breviflora*, com semeadura simultânea, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

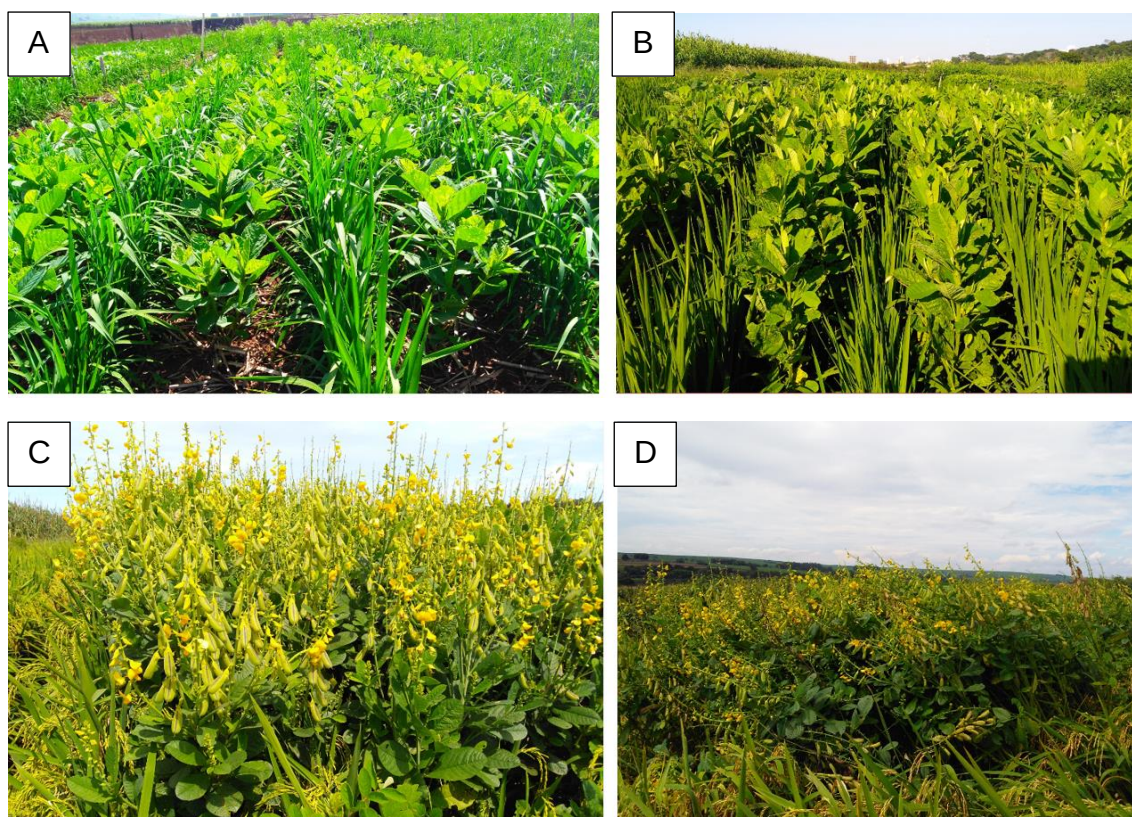


Figura 5. Arroz consorciado com *Crotalaria spectabilis*, com semeadura simultânea, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

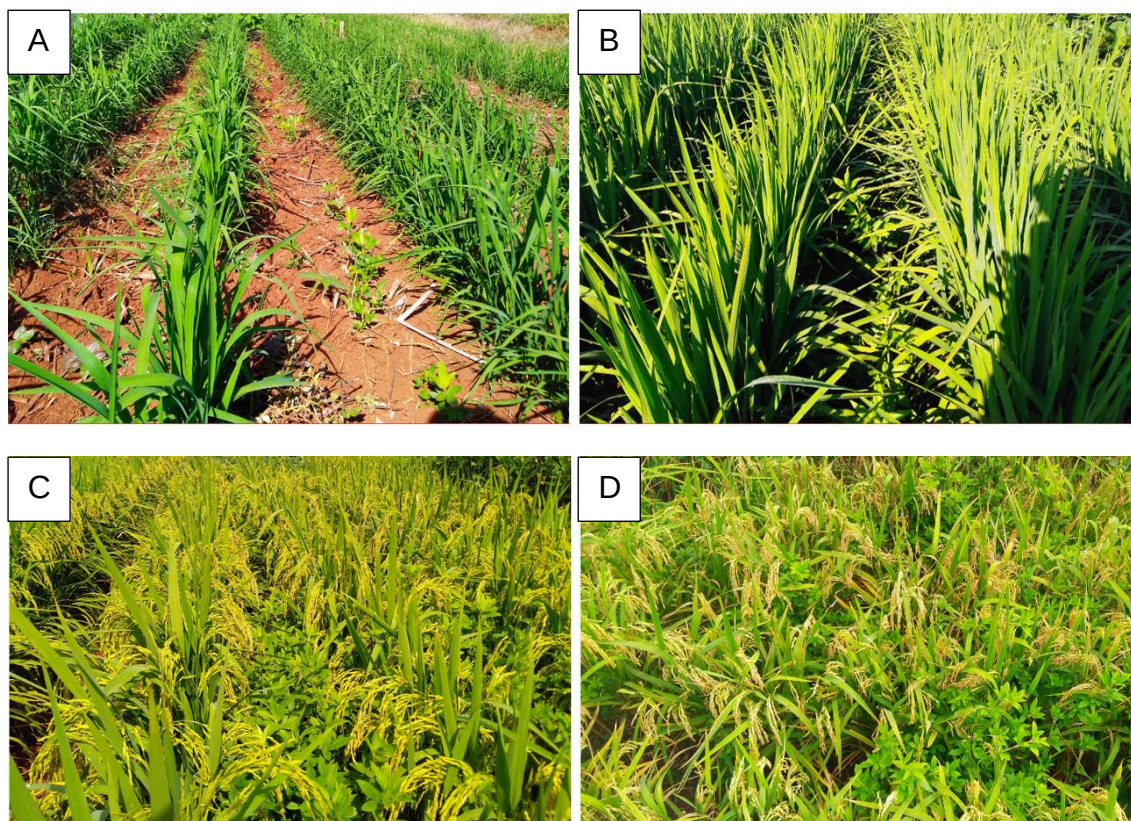


Figura 6. Arroz consorciado com estilosantes, com semeadura simultânea, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.



Figura 7. Arroz consorciado com feijão de porco, com semeadura simultânea, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

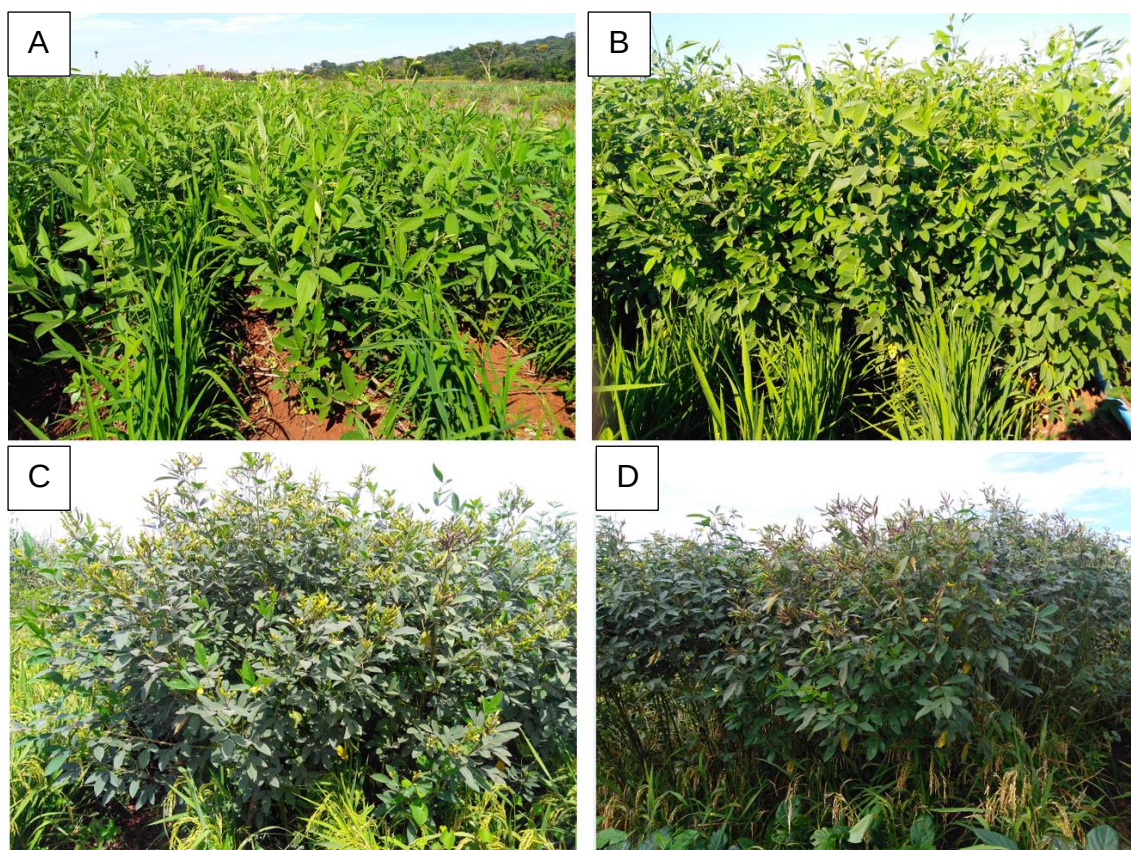


Figura 8. Arroz consorciado com guandú anão, com semeadura simultânea, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

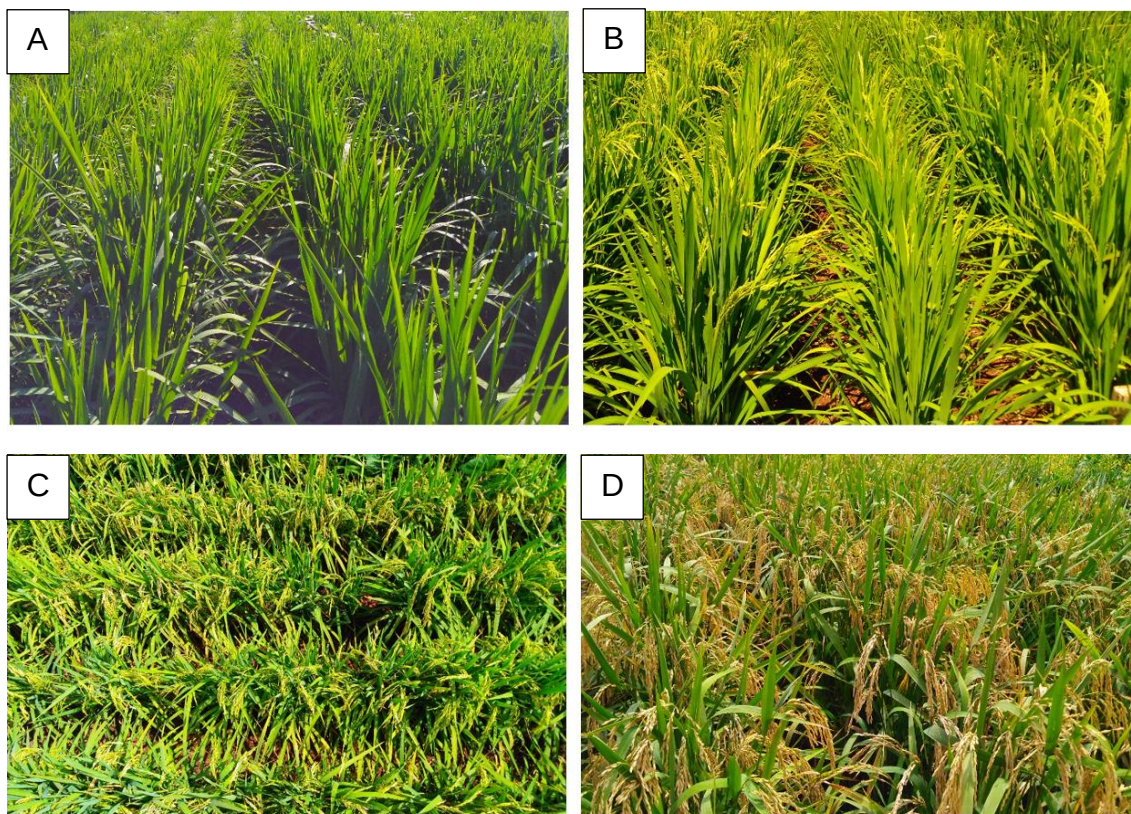


Figura 9. Arroz exclusivo aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

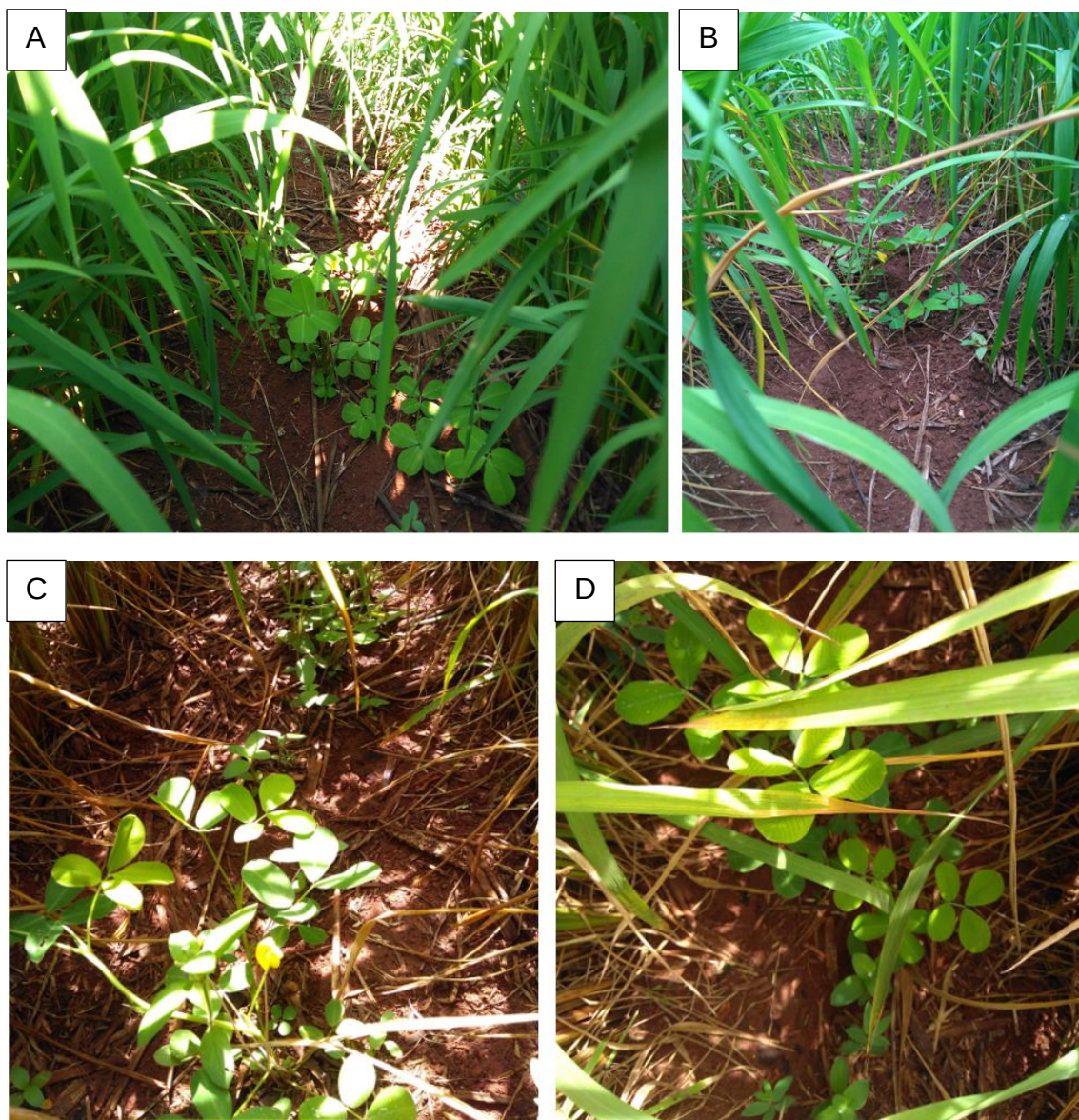


Figura 10. Arroz consorciado com amendoim forrageiro, com semeadura aos 25 DAE em fileiras simples, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

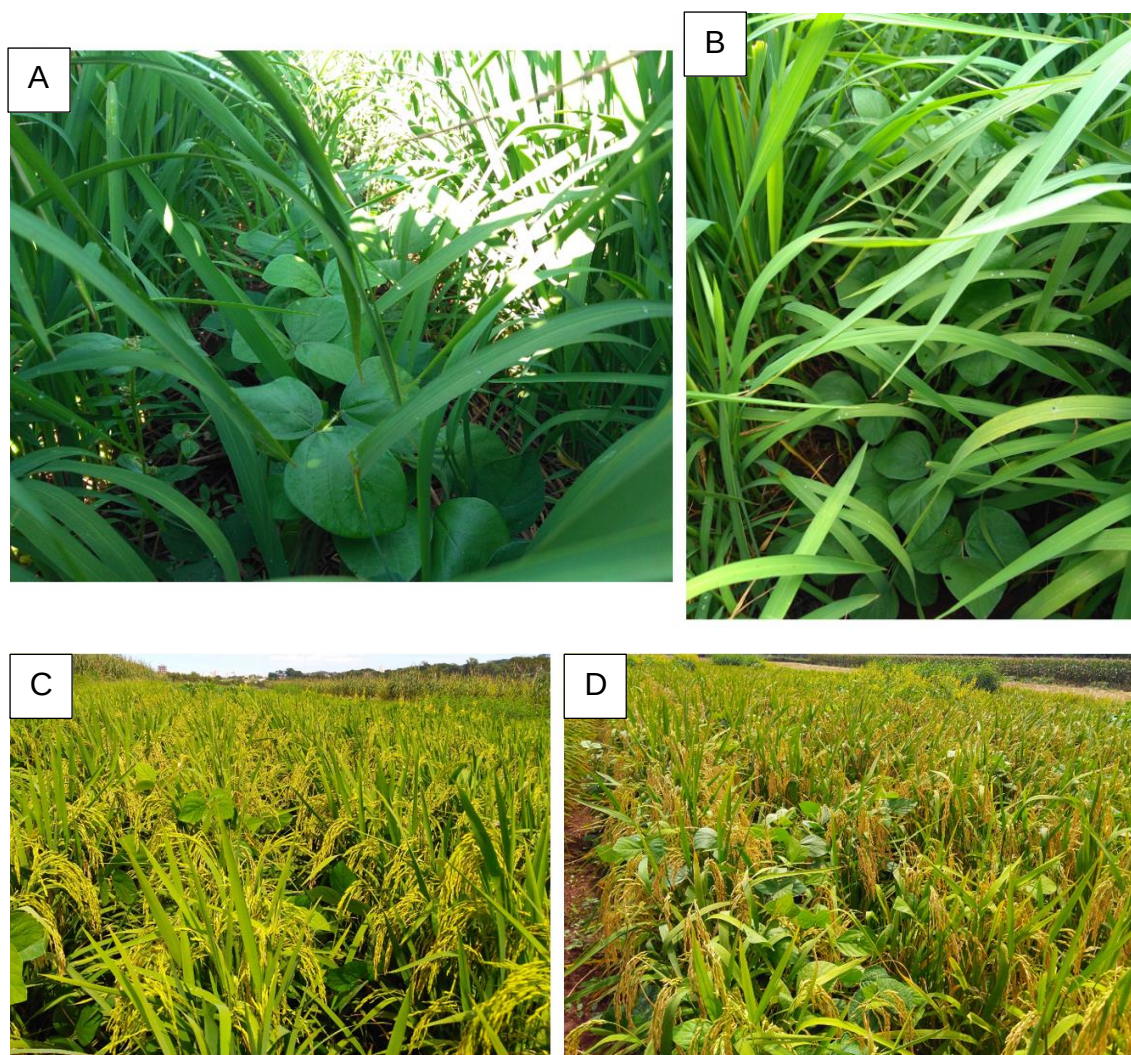


Figura 11. Arroz consorciado com calopogônio, com semeadura aos 25 DAE em fileiras simples, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

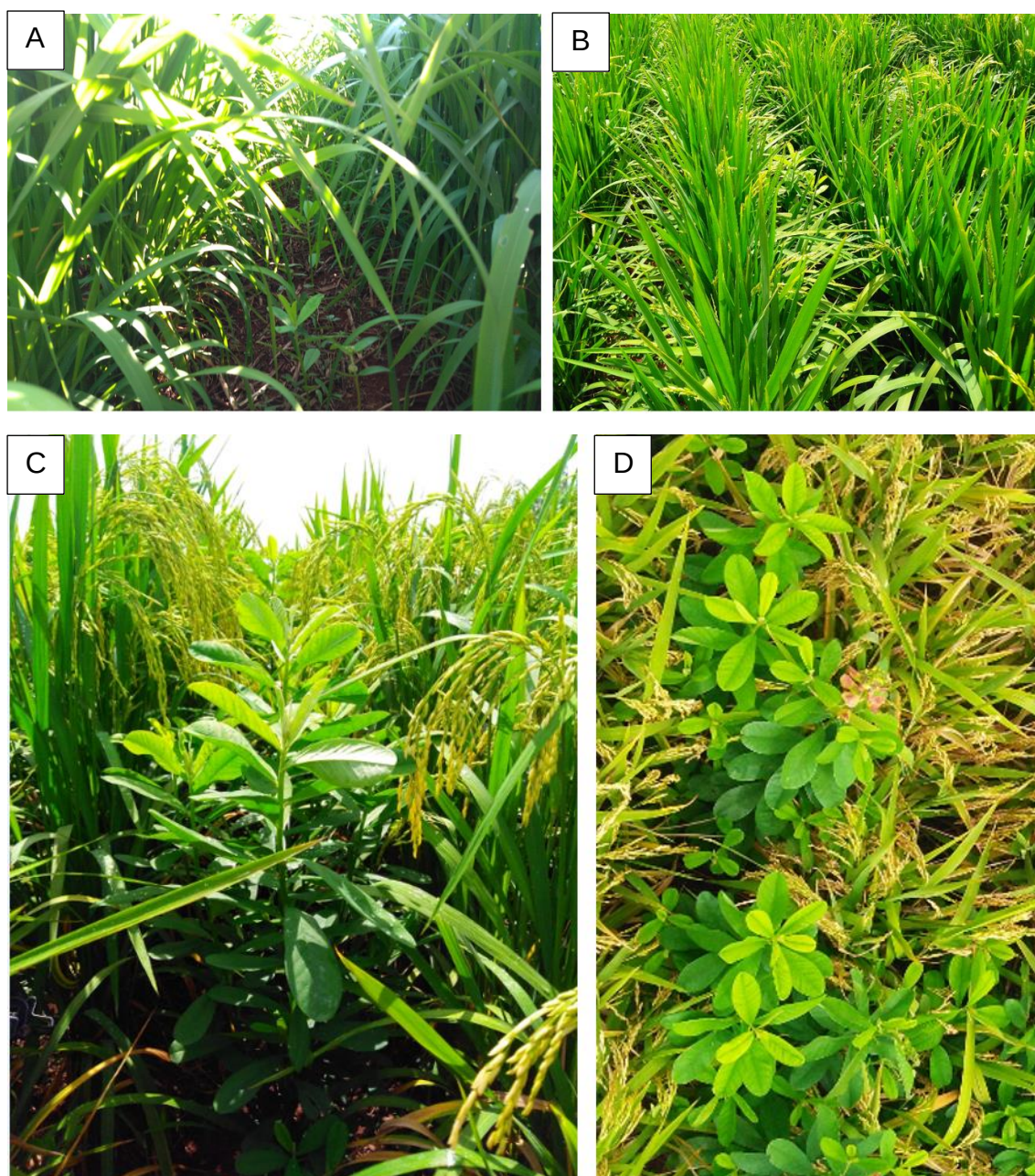


Figura 12. Arroz consorciado com *Crotalaria breviflora*, com semeadura aos 25 DAE em fileiras simples, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

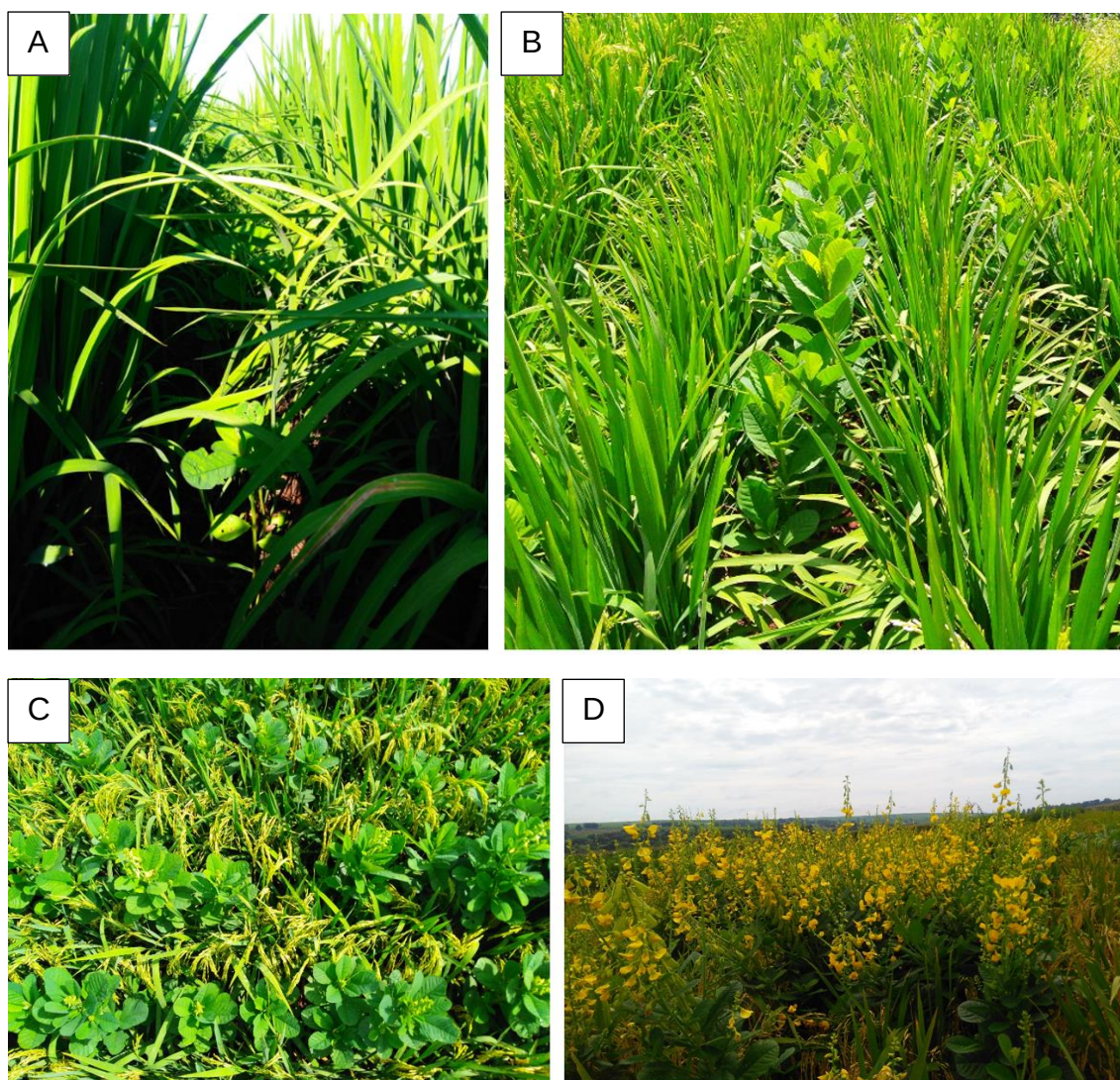


Figura 13. Arroz consorciado com *Crotalaria spectabilis*, com semeadura aos 25 DAE em fileiras simples, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

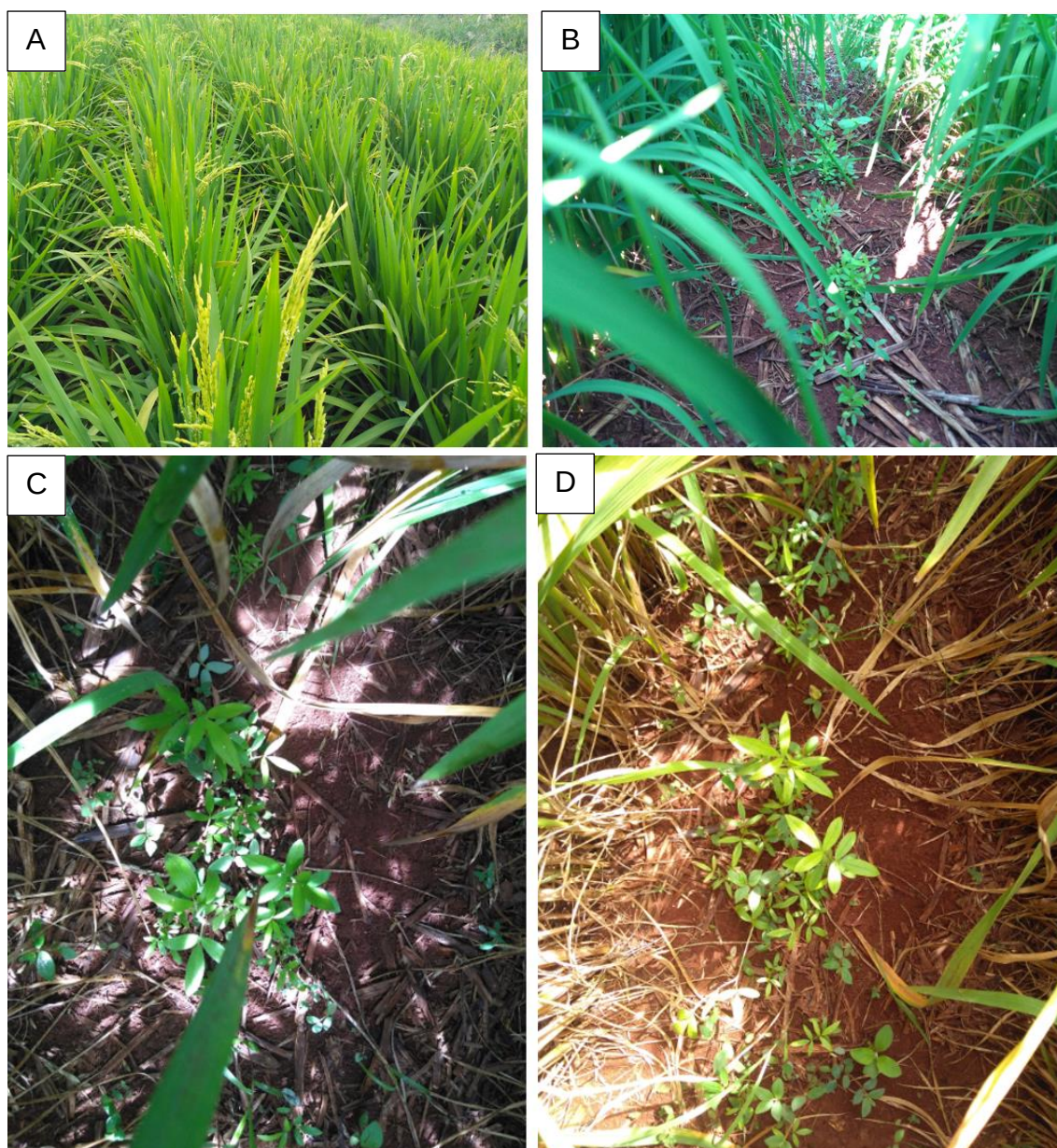


Figura 14. Arroz consorciado com estilosantes, com semeadura aos 25 DAE em fileiras simples, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

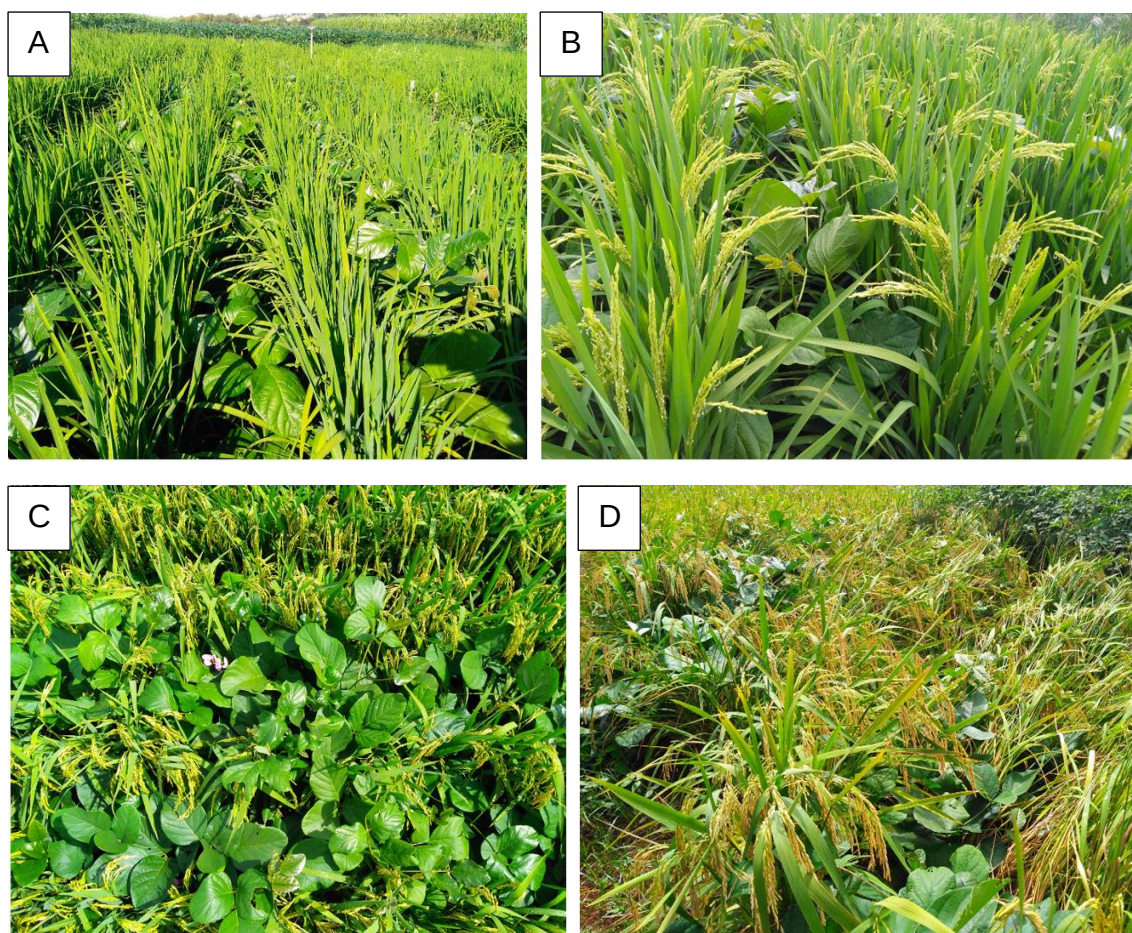


Figura 15. Arroz consorciado com feijão de porco, com semeadura aos 25 DAE em fileiras simples, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

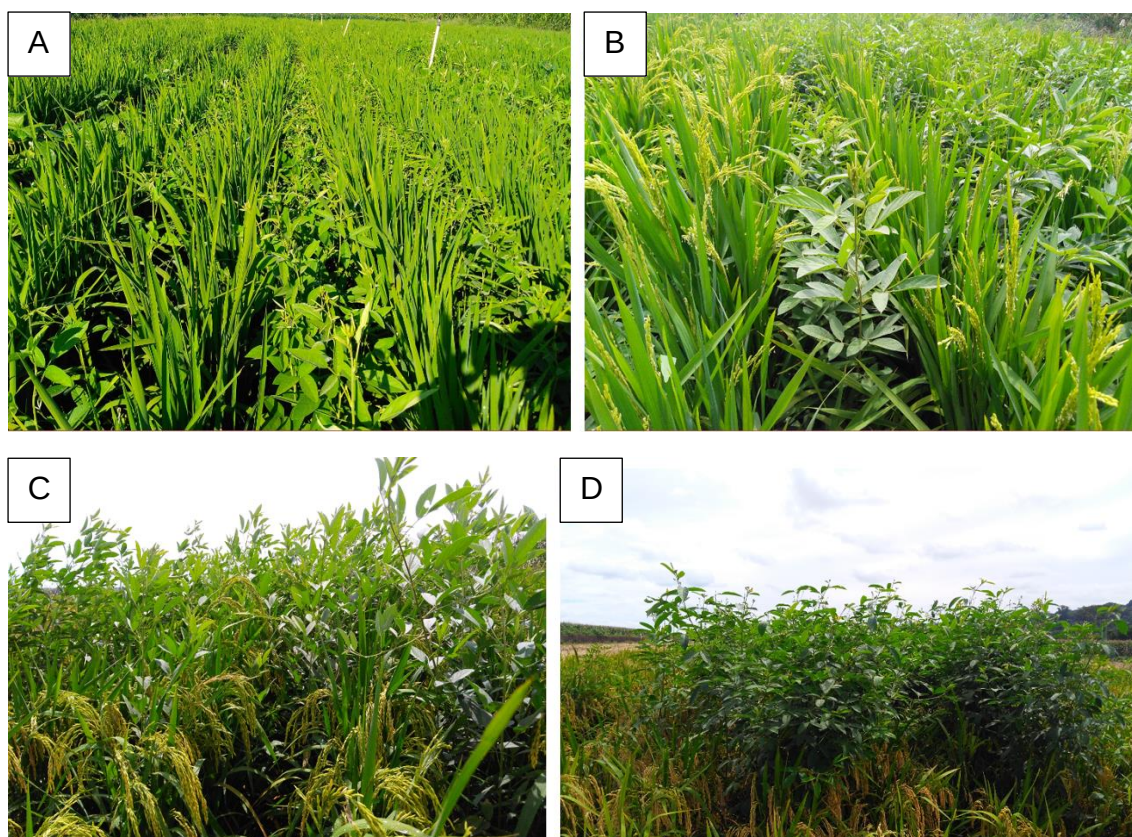


Figura 16. Arroz consorciado com guandú anão, com semeadura aos 25 DAE em fileiras simples, aos 33 (A), 65 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no primeiro ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

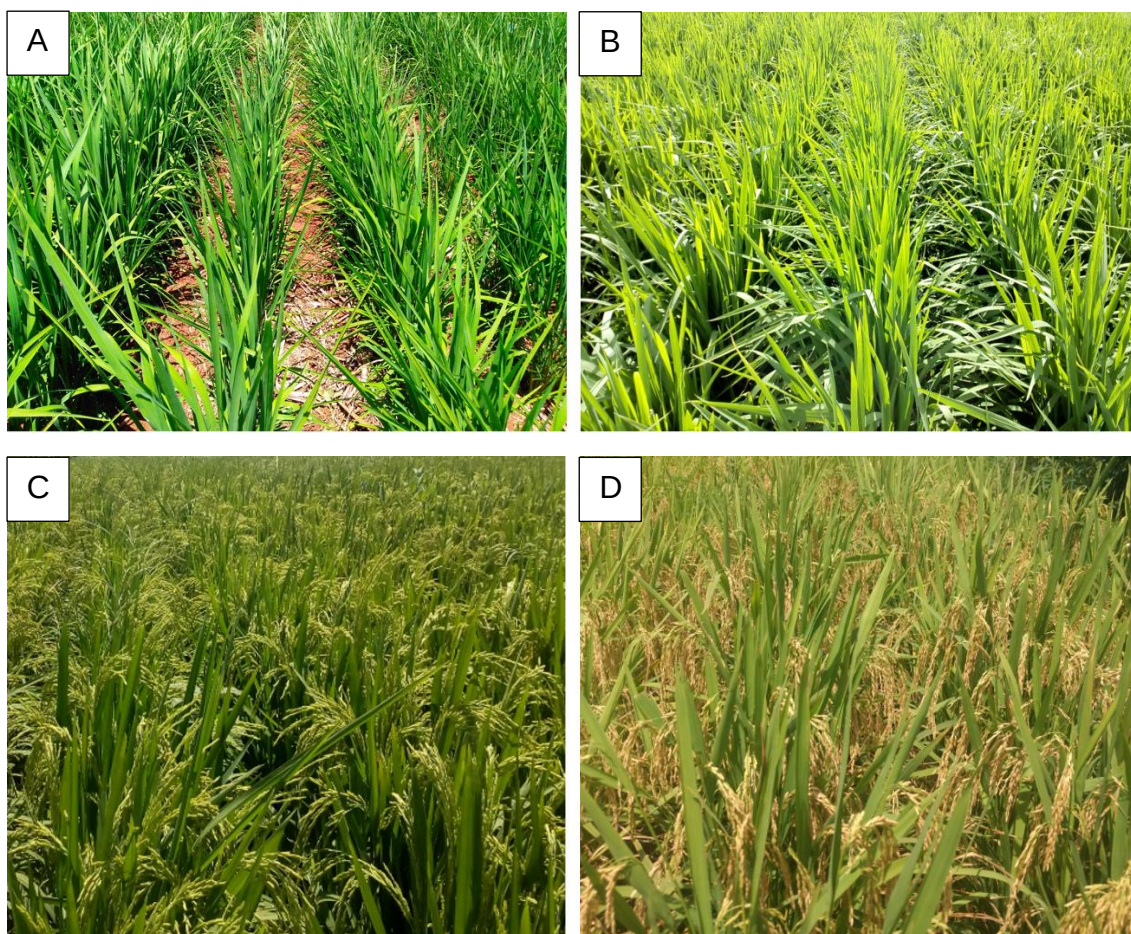


Figura 17. Arroz exclusivo aos 58 (A), 72 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no segundo ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

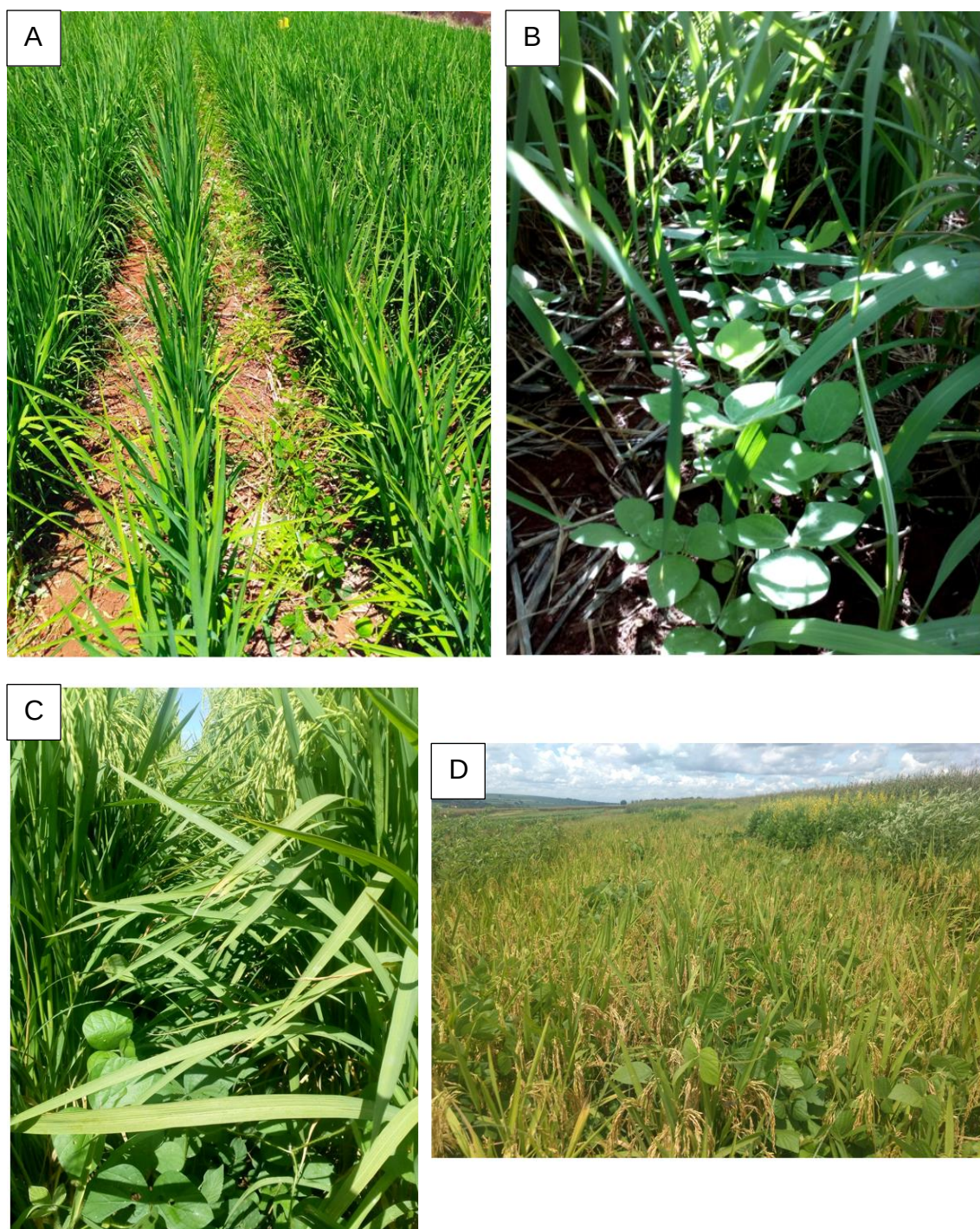


Figura 18. Arroz consorciado com calopogônio, com semeadura aos 25 DAE em fileiras duplas de arroz, aos 58 (A), 72 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no segundo ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

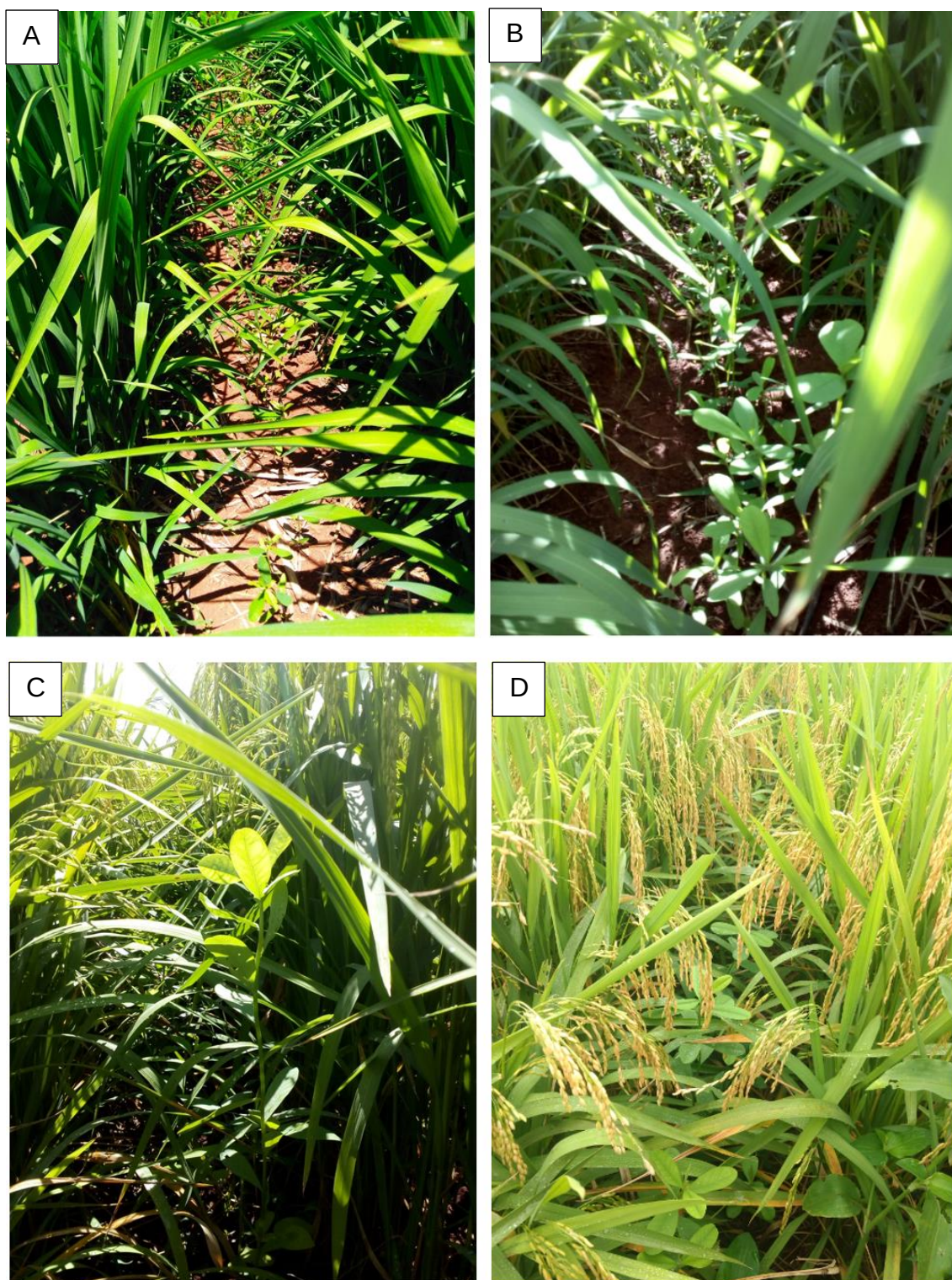


Figura 19. Arroz consorciado com *Crotalaria breviflora*, com semeadura aos 25 DAE em fileiras duplas de arroz, aos 58 (A), 72 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no segundo ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

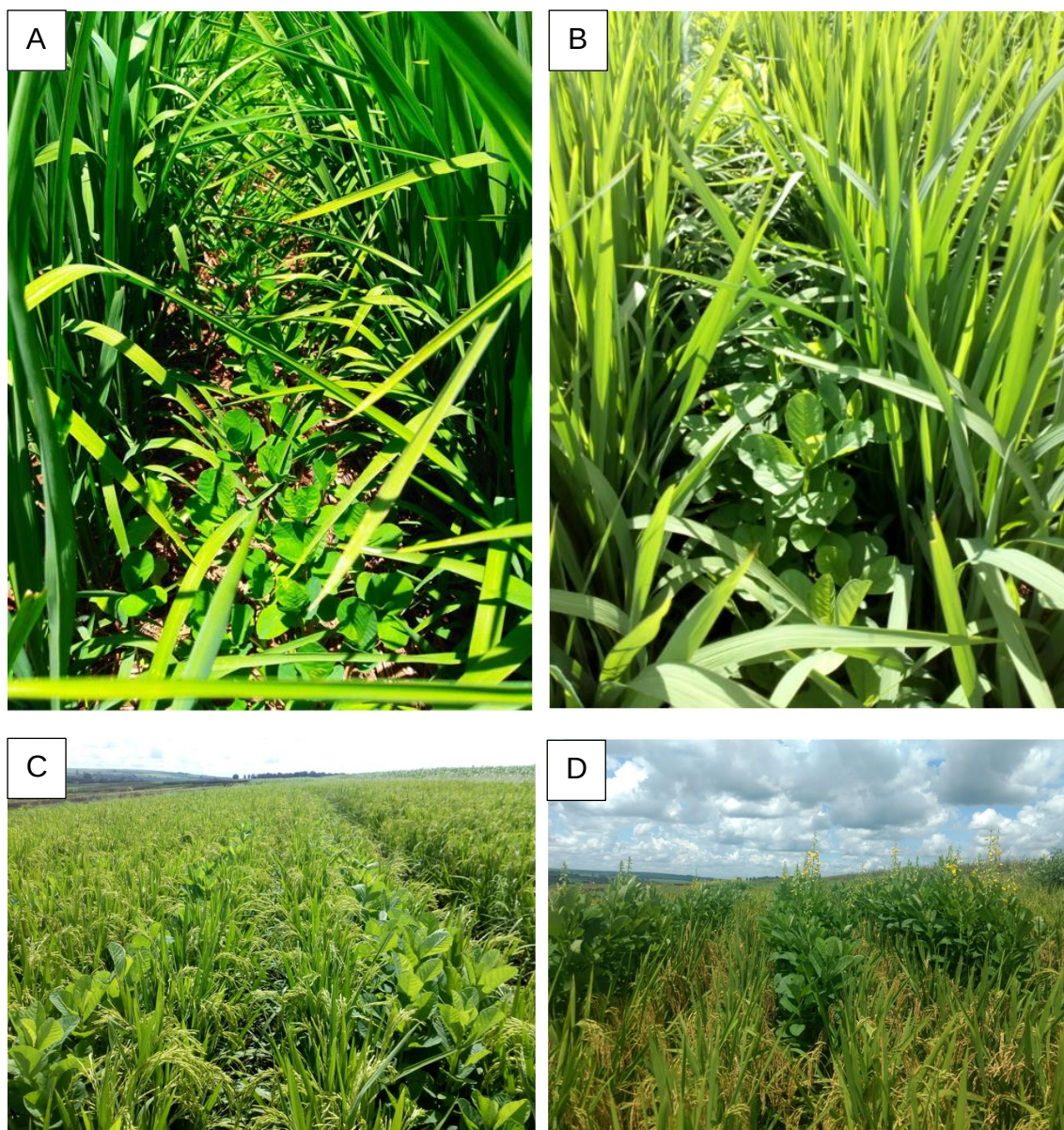


Figura 20. Arroz consorciado com *Crotalaria spectabilis*, com semeadura aos 25 DAE em fileiras duplas de arroz, aos 58 (A), 72 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no segundo ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.



Figura 21. Arroz consorciado com estilosantes, com semeadura aos 25 DAE em fileiras duplas de arroz, aos 58 (A), 72 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no segundo ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

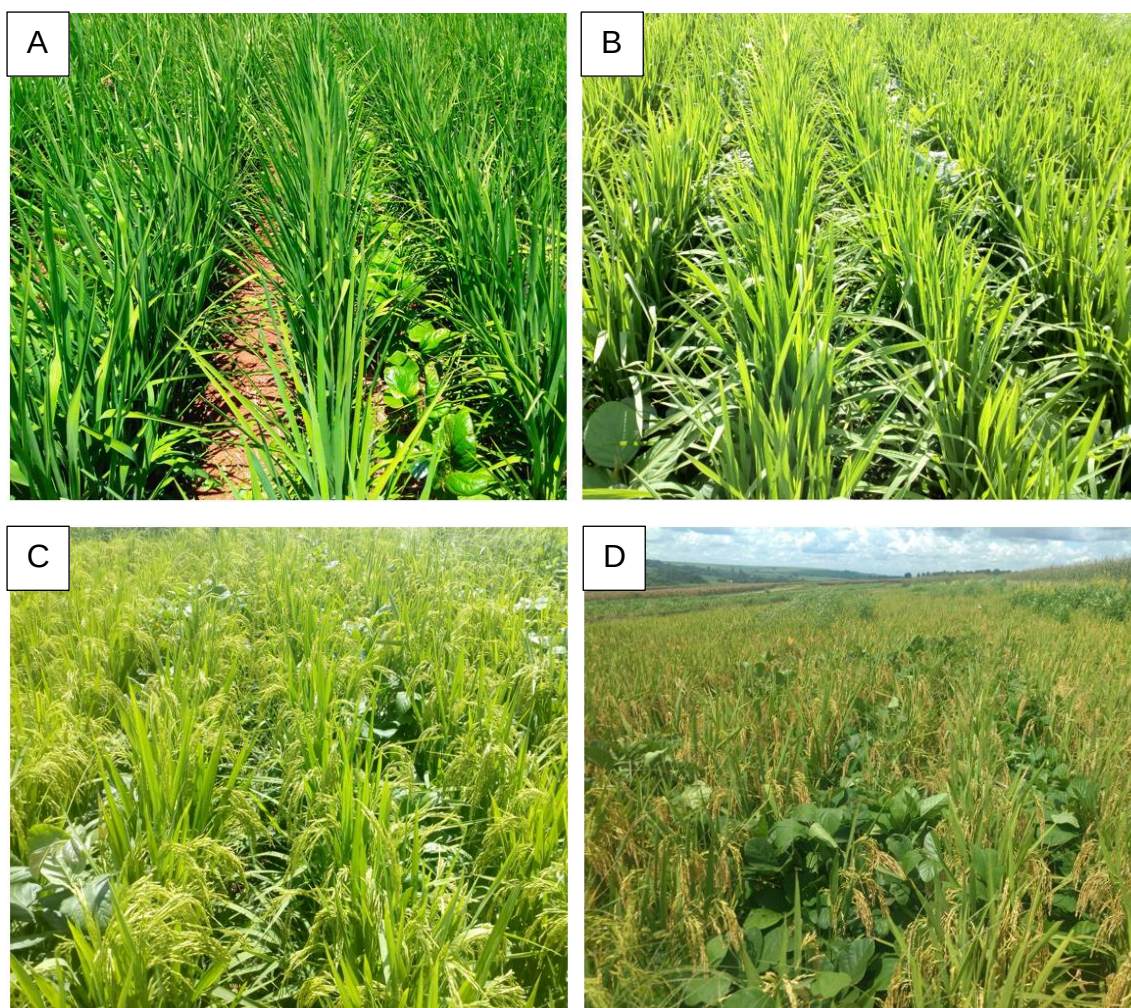


Figura 22. Arroz consorciado com feijão de porco, com semeadura aos 25 DAE em fileiras duplas de arroz, aos 58 (A), 72 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no segundo ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.

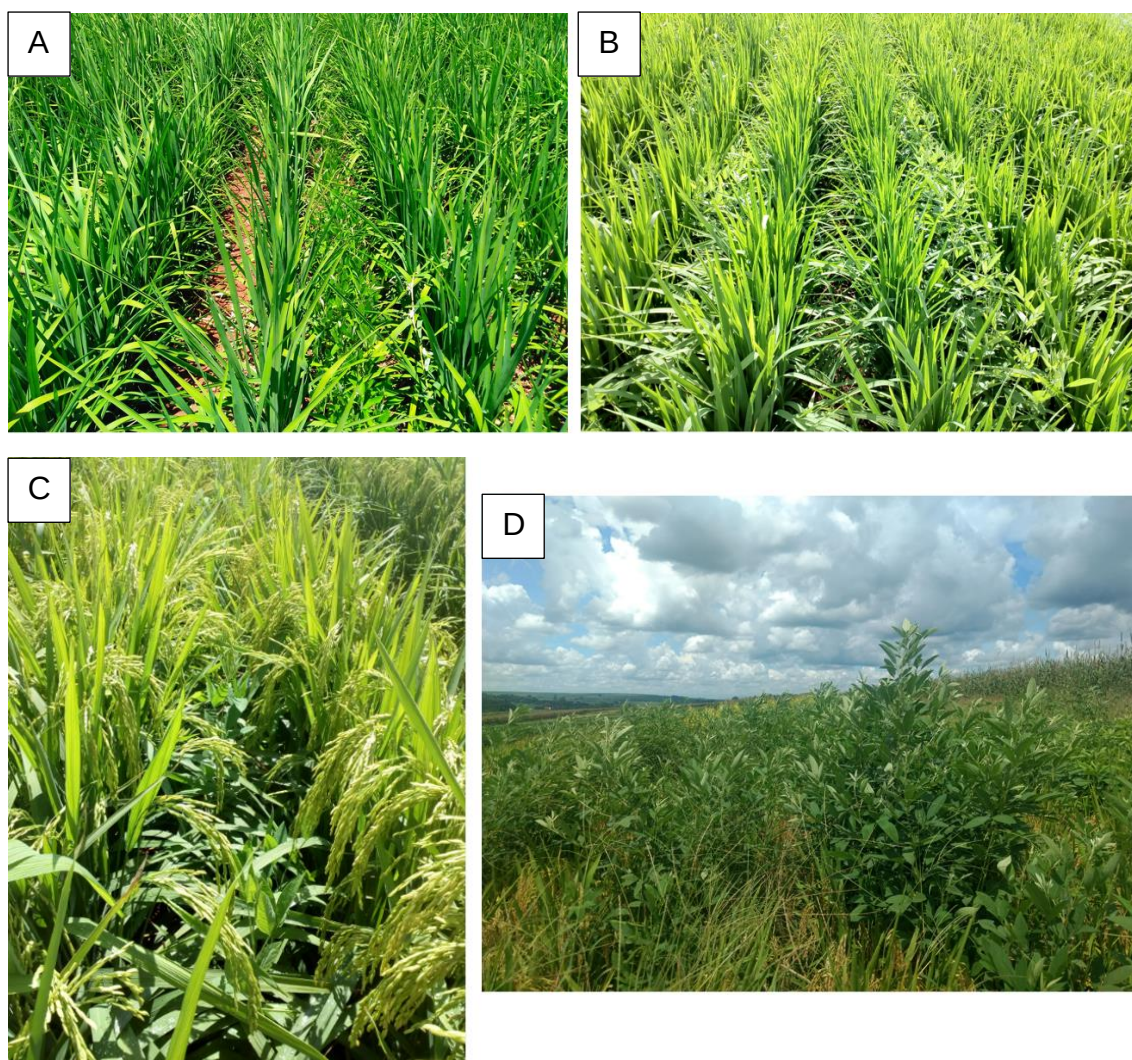


Figura 23. Arroz consorciado com guandú anão, com semeadura aos 25 DAE em fileiras duplas de arroz, aos 58 (A), 72 (B), 92 (C) e 112 (D) DAE, no segundo ano agrícola (2018/19). Jaboticabal, SP.



Figura 24. Semeadura do arroz (A) e adubação nitrogenada em cobertura (B)



Figura 25. Semeadura manual dos adubos verdes



Figura 26. Visão geral do experimento – irrigação por aspersão



Figura 27. Visão geral do experimento – panículas de arroz

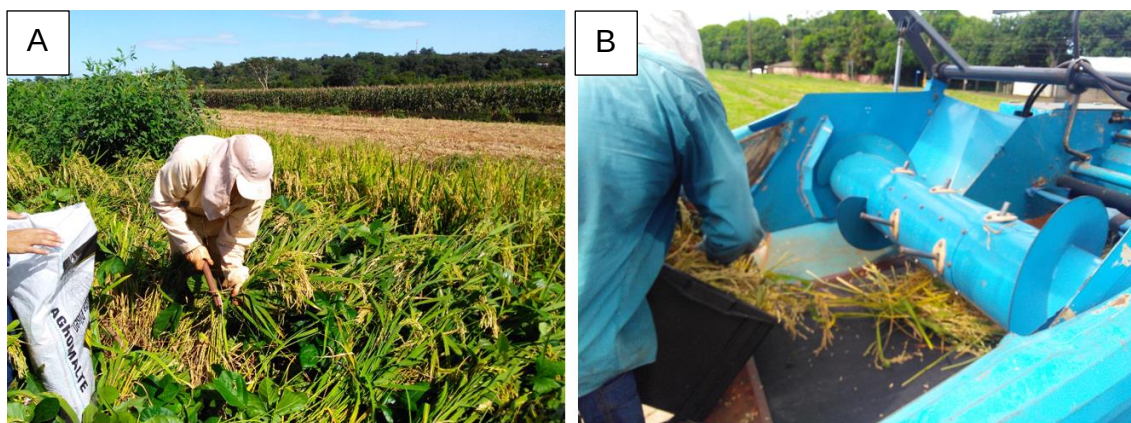


Figura 28. Colheita manual do arroz (A) e trilha mecânica (B).



Figura 29. Colheita mecanizada do arroz.