

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Viabilidade econômica do cultivo de arroz irrigado por gotejamento com efluente tratado de laticínio

Lilian Santos Monteiro

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia
de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2024

Lilian Santos Monteiro
Engenheira de Biosistemas

**Viabilidade econômica do cultivo de arroz irrigado por gotejamento com efluente tratado
de laticínio**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Profa. Dra. **TAMARA MARIA GOMES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia
de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Monteiro, Lilian Santos

Viabilidade econômica do cultivo de arroz irrigado por gotejamento com efluente tratado de laticínio / Lilian Santos Monteiro. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2024.

86 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Reúso da água 2. *Oriza sativa* L. 3. Energia elétrica e diesel 4. Benefício-custo I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico aos amores da minha vida:
minha mãe (Maria), meu pai (Aldi)
e minha irmã (Beatriz). Muito
obrigada pelo amor, carinho e
apoio incondicionais!

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus por me conduzir e amparar em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais e minha irmã por todo apoio emocional e financeiro. Sem eles a concretização deste e tantos outros sonhos não seria possível.

Agradeço a todos familiares que me incentivaram nessa jornada e se alegraram com minhas conquistas. Em especial aos meus avós, tias(os), primas(os), meu cunhado, seu pai (*in memoriam*), sua mãe e seu irmão.

Ao meu namorado, Daniel, por todo incentivo e paciência ao longo da construção deste trabalho.

Ao meu gatinho Nick (*in memoriam*) por sua companhia inigualável em todas as aulas remotas do curso.

As minhas amigas Jamile e Anesia que sempre se fizeram presentes mesmo com a distância física.

A minha orientadora, Profa. Dra. Tamara Maria Gomes, por sua orientação memorável, paciência, generosidade, ensinamentos e confiança em mim depositada.

A Profa. Dra. Patricia Angélica Alves Marques por todo auxílio, disponibilidade e ensinamentos na construção deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo nº 130710/2021-0 pelo apoio financeiro, sem o qual eu não conseguiria realizar este trabalho.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, professores e funcionários pela oportunidade de realização do curso e excelência do mesmo.

A Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos e funcionários pela realização do experimento e disponibilização de laboratórios.

Ao grupo de pesquisa GEBIO por me receber tão bem e auxiliar ao longo da jornada na pós-graduação.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| LISTA DE FIGURAS | 8 |
| LISTA DE TABELAS | 9 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1. Objetivo geral | 13 |
| 1.2. Ojetivos específicos | 13 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 2.1. Recursos hídricos no Brasil | 15 |
| 2.2. Agricultura irrigada | 18 |
| 2.3. Reúso da água na agricultura..... | 24 |
| 2.4. Cultivo do arroz | 26 |
| 2.5. Análise econômica..... | 29 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 33 |
| 3.1. Experimento de campo | 33 |
| 3.2. Preço do arroz arbório pago ao produtor | 37 |
| 3.3. Análise econômica..... | 37 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 49 |
| 4.1. Preço do arroz..... | 49 |
| 4.2. Custo de produção | 50 |
| 4.3. Análise econômica..... | 57 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 63 |
| REFERÊNCIAS | 65 |
| APÊNDICE | 79 |

RESUMO

Viabilidade econômica do cultivo de arroz irrigado por gotejamento com efluente tratado de laticínio

O aumento populacional tem como agravante a elevada demanda por alimentos e, conseqüentemente, maior consumo de água, uma vez que a agricultura é o setor que mais consome água doce no mundo. Deste modo, faz-se necessário o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, afim de reduzir a pressão em corpos d'água. Como ação de mitigação tem-se a adoção de técnicas de irrigação que possuem o uso mais eficiente da água e o uso de efluentes como fonte em substituição a água doce, visando a otimização do recurso hídrico e, também, a redução dos impactos pelos lançamentos. Sendo escassos os trabalhos que integram e avaliam economicamente as técnicas, objetivou-se analisar por indicadores econômicos o cultivo de arroz do tipo especial (arbório) irrigado por gotejamento subsuperficial, com diferentes doses de efluente tratado de laticínio (ETL) e em duas umidades de solo. Para tanto, avaliou-se as umidades na capacidade de campo (CC) e saturação (SAT) em cinco concentrações de efluente tratado de laticínio (0, 25, 50, 75 e 100%), duas fontes de energia para bombeamento de água (elétrica e à diesel) e duas bacias hidrográficas (Mogi Guaçu e Paraíba do Sul). Os tratamentos com gotejamento foram comparados ao cultivo tradicional do arroz por inundação com água potável. Para a análise econômica, foram calculados o custo de produção (variável e fixo), o benefício anual líquido da irrigação e o benefício-custo. Os resultados encontrados corroboram para maior viabilidade econômica da irrigação por inundação ($B/C = 1,54$) frente aos demais tratamentos, seguida por T6 ($B/C = 1,38$). Em todos os cenários foi observado maior benefício adquirido com T11 (cultivo tradicional por inundação com 100% água). Contudo, a pesquisa mostrou que a irrigação do cultivo do arroz arbório por gotejamento com efluente tratado de laticínio na concentração de 50% e o manejo da umidade do solo na saturação, proporcionou o maior valor de produtividade de grãos e viabilidade econômica, podendo a vir contribuir e incentivar uma agricultura sustentável em cenários de escassez. Concentrações intermediárias de efluente de laticínio (25%, 50% e 75%) aliadas a umidade do solo na saturação, também apresentaram resultados econômicos satisfatórios resultando em reaproveitamento do efluente, economia de água e fertilizantes e produtividade aceitável dos grãos.

Palavras-chave: Reúso da água, *Oriza sativa*, Energia elétrica e diesel, Benefício-custo

ABSTRACT

Economic viability of drip-irrigated rice cultivation with treated dairy effluent

The population increase is aggravated by the high demand for food and, consequently, the greater consumption of water, as agriculture is the sector that consumes the most fresh water in the world. Therefore, it is necessary to develop sustainable agriculture in order to reduce pressure on water bodies. As a mitigation action, there is the adoption of irrigation techniques that have the most efficient use of water and the use of effluents as a source to replace fresh water, aiming to optimize the water resource and also reduce the impacts of releases. Since there are few studies that integrate and economically evaluate the techniques, the objective was to analyze using economic indicators the cultivation of special type rice (arborio) irrigated by subsurface drip, with different doses of treated dairy effluent (TDE) and at two soil moisture levels. To this end, the humidity at field capacity (FC) and saturation (SAT) was evaluated in five concentrations of treated dairy effluent (0, 25, 50, 75 and 100%), two energy sources for water pumping (electric and diesel) and two river basins (Mogi Guaçu and Paraíba do Sul). Drip treatments were compared to traditional rice cultivation by flooding with drinking water. For the economic analysis, the production cost (variable and fixed), net annual benefit from irrigation and benefit-cost (B/C) were calculated. The results found corroborate the economic viability of flood irrigation (B/C = 1.54) compared to other treatments, followed by T6 (B/C = 1.38). In all scenarios, a greater benefit was observed with T11 (traditional cultivation by flooding with 100% water). However, the research showed that irrigation of arborio rice cultivation by drip with treated dairy effluent at a concentration of 50% and the management of soil moisture at saturation, provided the highest value of grain productivity and economic viability, which may contribute to and encourage sustainable agriculture in scarcity scenarios. Intermediate concentrations of dairy effluent (25%, 50% and 75%) combined with soil moisture at saturation, also presented satisfactory economic results resulting in reuse of effluent, water and fertilizer savings and acceptable grain productivity.

Keywords: Water reuse, *Oriza sativa*, Electricity and diesel, Benefit-cost

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Regiões hidrográficas no Brasil..... | 16 |
| Figura 2. Evolução da cobrança do uso da água no Brasil..... | 17 |
| Figura 3. Representação dos principais sistemas de irrigação. | 20 |
| Figura 4. Tarifas de energia elétrica da Neoenergia Elektro vigentes de agosto de 2021 a agosto de 2022..... | 23 |
| Figura 5. Vista geral do experimento de arroz arbóreo irrigado por gotejamento subsuperficial com efluente de laticínio. | 33 |
| Figura 6. Lâminas de irrigação (mm) total para os tratamentos adotados e inundação. | 36 |
| Figura 7. Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) para os diferentes tratamentos. | 36 |
| Figura 8. Custo total com fertilizantes considerando aplicação no plantio e em cobertura ($\text{R\$ ha}^{-1}$) e produtividade de grãos de arroz, frente aos tratamentos (kg ha^{-1}). | 51 |
| Figura 9. Custo com energia elétrica em diferentes cenários (A: branca; B: verde; C: amarela; D: vermelha P1; E: vermelha P2) e diesel (F) em função do tratamento adotado..... | 54 |
| Figura 10. Custo com água por tratamento, considerando os valores de cobrança operados pelas bacias do Mogi Guaçu e do Paraíba do Sul..... | 55 |
| Figura 11. Valores da relação benefício/custo considerando água advinda da bacia Paraíba do Sul..... | 59 |
| Figura 12. Valores da relação benefício/custo considerando água advinda da bacia Mogi Guaçu..... | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Percentual de redução nas tarifas de energia elétrica por região do Brasil. | 24 |
| Tabela 2. Características de tipos especiais de arroz. | 29 |
| Tabela 3. Tratamentos adotados no experimento | 34 |
| Tabela 4. Caracterização química e física do solo. | 34 |
| Tabela 5. Caracterização química do efluente de laticínio. | 35 |
| Tabela 6. Custo de produção do arroz irrigado por inundação | 38 |
| Tabela 7. Custo de produção do arroz irrigado por gotejamento..... | 39 |
| Tabela 8. Valor da semente de arroz do cultivar IAC301..... | 41 |
| Tabela 9. Tarifas para as modalidades tarifárias. | 42 |
| Tabela 10. Cobrança convencional pelo uso da água na bacia do Mogi-Guaçu..... | 43 |
| Tabela 11. Cobrança pelo uso da água na bacia do Paraíba do Sul. | 44 |
| Tabela 12. Custo de implantação, vida útil e taxa de juros do sistema de irrigação por gotejamento e inundação. | 47 |
| Tabela 13. Preços de varejo, praticados no ano de 2023, para arroz produzido no Brasil, referente a quantidade de 1kg. | 49 |
| Tabela 14. Preço médio do quilo do arroz no varejo, por tipo, praticados no ano de 2023..... | 49 |
| Tabela 15. Média da razão entre preço de varejo do arroz arbóreo e agulhinha e respectivo preço pago ao produtor estimado para arroz arbóreo | 50 |
| Tabela 16. Preço de semente do arroz arbóreo e agulhinha. | 52 |
| Tabela 17. Custo com mão de obra e manutenção do sistema de irrigação por tratamento | 56 |
| Tabela 18. Custo fixo sistema de irrigação por gotejamento (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10) e inundação (T11) | 56 |
| Tabela 19. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados (utilizando motor elétrico sob tarifa branca com desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul)..... | 57 |
| Tabela 20. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados (utilizando motor à diesel e água advinda da bacia Paraíba do Sul)..... | 58 |

1. INTRODUÇÃO

A água em seus usos múltiplos é primordial para o desempenho das atividades humana e manutenção da qualidade do meio ambiente, em muitos casos, tornar-se fator limitante da atividade, como exemplo, as atividades agropecuárias. Embora seja um recurso vital, os recursos hídricos sofrem pressão decorrentes da ação antrópica (contaminação) e pela demanda crescente por alimentos, uma vez que a agricultura é o setor que mais consome água doce (Mishra et al., 2023; Chen et al., 2021; Borrego-Marín & Berbel, 2018).

Dentre as culturas agrícolas que consomem volume expressivo de água, está o arroz irrigado por inundação. O arroz, cuja espécie mais cultivada é a *Oryza sativa* L., é uma cultura de ancestralidade semiaquática relevante para a economia e segurança alimentar em muitas partes do mundo, principalmente em países em desenvolvimento. Fonte de nutrientes e calorias, o arroz é um alimento básico para cerca de 2,5 bilhões de pessoas (Silva & Wander, 2023a; Mallareddy et al., 2023; Fornasiero et al., 2022).

O arroz é um dos cereais mais cultivados e consumidos globalmente, sendo superado apenas pelo milho nessa classificação (Silva & Wander, 2023b; Takeiti, 2021). A produção e o consumo de arroz estão principalmente concentrados no continente asiático, representando aproximadamente 90% do total (Silva & Wander, 2023a). Fora da Ásia, o Brasil se destaca como o principal produtor e consumidor do grão. Em termos de práticas agrícolas, a irrigação por inundação é a estratégia predominante para o cultivo do arroz em todo o mundo, garantindo bons rendimentos do grão, embora tenha uma baixa eficiência no uso da água (Pinto et al., 2023).

Frente a importância do cultivo de arroz, é essencial considerar os desafios associados ao uso intensivo de água na cultura. O cultivo de arroz irrigado por inundação pode intensificar a pressão sobre os recursos hídricos em regiões propensas à escassez de água ou sujeitas a períodos de seca (Pinto et al., 2023; Mallareddy et al., 2023). Neste contexto, para minimizar a pressão sobre corpos d'água, alternativas têm sido adotadas, entre estas, técnicas e estratégias de irrigação que possuem uso mais eficiente de água e o uso de águas residuárias como fonte de irrigação, que visa não só o uso racional e eficiente do recurso, mas também a redução dos impactos pelos lançamentos destes efluentes nos corpos hídricos (Companhia Ambiental do Estado De São Paulo [CETESB], 2021).

Em contrapartida, à tradicional irrigação de arroz por inundação, pode-se considerar outros métodos de irrigação, como a aspersão e a localizada. O emprego dessas duas últimas técnicas para o cultivo de arroz é recente e implicam não só em maior eficiência no uso de água,

mas também em produtividades compatíveis com as obtidas pelo método de superfície (Rana et al., 2023; Sidhu et al., 2019; Tortelli et al., 2019; Sharda et al., 2017).

O uso de águas residuárias na agricultura, por sua vez, não é uma técnica recente, há indícios de que centenas de anos atrás já se utilizava o efluente de esgoto na irrigação. Recentemente, a técnica tem ganhado notoriedade devido à crescente demanda por água e, principalmente, em cenários de escassez hídrica, agravados pelas mudanças climáticas. Com uso de águas residuárias, é possível diminuir o uso de água de melhor qualidade, resguardando está para usos prioritários, como o consumo humano (CETESB, 2021).

Em meio às fontes de efluente, pode-se destacar o efluente de laticínio uma vez que a indústria de laticínio é grande consumidora de água na produção e, conseqüentemente, geradora de águas residuárias. Na atividade, o soro é um dos principais agentes poluidores, sendo gerado aproximadamente 10 litros de soro para cada quilo de queijo produzido. O soro é tido como agente poluidor quando não tem suas características aproveitadas de forma correta, uma vez que possui potencial nutricional e financeiro (Tabelini et al., 2023; Kaur, Sharma, & Kirpalani, 2018; Rohlfes, Baccar, Oliveira, Marquardt, & Richards, 2011).

O efluente de laticínio também possui em sua composição matéria orgânica, sólidos suspensos e dissolvidos, nutrientes, alta demanda química e biológica de oxigênio e conteúdo inorgânico proveniente de processos de limpeza de utensílios e equipamentos (Ahmad et al., 2019). Utilizar efluente de laticínio, visando a ciclagem de nutrientes contido nele, é agregar valor ao resíduo que, em muitas vezes, mesmo pós-tratamento, ainda terá potencial poluidor ao meio ambiente.

A adoção de práticas que combinam o cultivo de arroz, com o reúso da água e técnicas de irrigação de maior eficiência, representam um passo significativo em direção à agricultura sustentável e à gestão responsável dos recursos naturais. Contudo, faz-se necessário analisar sua aplicação em termos agronômicos e econômicos.

A realização de análises econômicas desempenha um papel crucial nas tomadas de decisões, pois permite avaliar os custos associados, os benefícios esperados de um determinado projeto, a consistência e a rentabilidade do projeto, garantindo uma base sólida para a sua implementação. Essa abordagem analítica é essencial para orientar os investimentos e maximizar os retornos, além de assegurar uma gestão eficiente dos recursos e uma prática agrícola sustentável a longo prazo. Diante disso, o presente trabalho visa realizar análise econômica do cultivo de arroz, do tipo especial, irrigado por gotejamento subsuperficial, com efluente tratado de laticínio.

1.1. Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo geral realizar a análise econômica do cultivo de arroz do tipo especial irrigado por gotejamento subsuperficial, com diferentes doses de efluente tratado de laticínio e em duas umidades de solo.

1.2. Ojetivos específicos

- Comparar, por meio da relação benefício/custo, o cultivo de arroz arbório irrigado por gotejamento com o sistema de inundação, considerando para o método localizado, diferentes proporções de efluente de laticínio, em substituição a água;
- Verificar diferentes cenários:
 - i. proporções de substituição de água por efluente de laticínio;
 - ii. umidade do solo (capacidade de campo e saturação);
 - iii. variação de fatores de econômicos
 - iv. preço de venda do produto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Recursos hídricos no Brasil

A superfície da Terra é coberta por 70% de água. Deste volume, mais de 97% estão nos oceanos na forma de água salina, dos 3% restantes que são água doce, a maior parte (68,9%) apresenta-se na forma de geleiras e calotas polares e 29,7% estão em aquíferos (incluindo rios e lagos) (Cocolo & Sudré, 2015).

Também conhecido como ciclo hidrológico, o ciclo da água é um processo natural pelo qual a água retorna ao sistema. No processo, a água está em constante movimento e se transporta pelo planeta em suas variações de estado físico (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico [ANA], 2022; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2022).

O ciclo é influenciado por diversos fatores/agentes não menos importantes. Contudo, de maneira resumida, no ciclo, a água que evapora é condensada em nuvens e transportada com o vento. Quando em nuvens, a água precipita na forma de chuva e atinge a superfície da Terra, parte dessa água escoar para rios, parte infiltra nos solos e o restante evapora. Da água que infiltra nos solos, parte é absorvida pelas raízes das plantas e retorna ao sistema por meio de evapotranspiração, o restante infiltra em camadas mais profundas do solo e recarrega aquíferos, estes, por sua vez, contribuem com a manutenção do volume de água nos rios. No caso do Brasil, uma grande fração da água nos rios tem como deságue o Oceano. No Oceano, a água evapora e retorna ao sistema (ANA, 2022).

O Brasil é detentor de 13% do volume de água doce disponível no planeta e a partir desta configuração é considerado o país com maior reserva de água doce no mundo. Do total de água doce presente no país, grande parte se encontra em aquíferos subterrâneos e o restante apresenta-se em formas superficiais, tais como, rios e riachos. A saída de rios e riachos drenada para um ponto comum mais baixo do relevo é denominada de bacia hidrográfica (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2021).

Neste contexto, assim como em outras localidades do globo terrestre, o território brasileiro possui bacias hidrográficas divididas naturalmente pelo relevo do país. Ao todo, têm-se 12 regiões de bacia, na Figura 1 é apresentada a disposição das bacias hidrográficas de acordo com a Resolução nº23, de 15 de outubro de 2003 (Brasil, 2003).



Figura 1. Regiões hidrográficas no Brasil.

Fonte: Brasil (2003).

Vale ressaltar, que é a partir das bacias hidrográficas que provem a maior parte da água utilizada pela população para fins de abastecimento humano, irrigação e tantas outras atividades humanas fundamentais para subsistência (IBGE, 2021).

Frente a vasta extensão territorial do Brasil e com intuito de facilitar o gerenciamento de regiões hidrográficas semelhantes, em 2020 foi proposta nova organização do território cujo resultado delimitou e identificou 47 Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHs) de bacias hidrográficas de abrangência interestadual e 17 UGRHs de bacias estaduais (ANA, 2022). O estado de São Paulo, por exemplo, é contemplado com 3 regiões hidrográficas (bacia do Paraná, Atlântico Sul e Atlântico Sudeste) e 22 Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo [SIGRH], 2021).

2.1.1. Cobrança pelo uso da água

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, objetivou criar condições para identificar conflitos pelo uso da água e arbitrar os mesmos no contexto administrativo. A PNRH descentralizou a gestão dos recursos hídricos por meio da instalação de comitês de bacias hidrográficas, os quais integram os poderes públicos nas

três instâncias, usuários e sociedade civil, tornando assim, a gestão dos recursos hídricos democrática. Para essa finalidade, foram criados instrumentos de gestão dos recursos hídricos de domínio federal, são estes: (i) planos de recursos hídricos; (ii) enquadramento dos corpos de água em classes; (iii) outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; (iv) cobrança pelo uso de recursos hídricos; (v) sistema de informações sobre recursos hídricos (ANA, 2019; Brasil, 2021).

A cobrança pelo uso da água em si é uma maneira de indicar ao usuário o real valor da água, incentivar o uso racional e obter recursos financeiros para recuperação das bacias hidrográficas do País. Portanto, a cobrança pelo uso do recurso hídrico não se trata de um imposto ou taxa, mas sim uma remuneração que objetiva reduzir riscos de escassez ocasionadas, entre outras coisas, por uso irracional da água e lançamento de cargas poluidoras (ANA, 2019).

Denominam-se usuários dos recursos hídricos os agentes que fazem retirada da água bruta nos mananciais para utilizá-la como insumo em processos produtivos ou utilizam para lançamento ou diluição de poluentes (ANA, 2019).

A evolução da cobrança pelo recurso hídrico no Brasil é apresentada na linha do tempo da Figura 2.

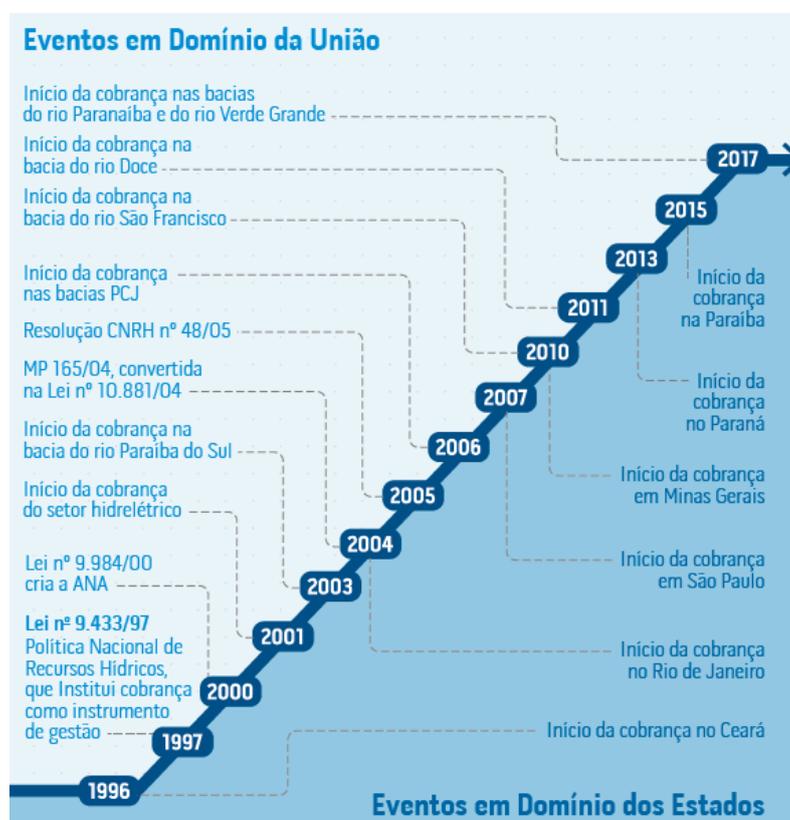


Figura 2. Evolução da cobrança do uso da água no Brasil.
Fonte: ANA (2019).

A evolução da cobrança pelo recurso hídrico no Brasil, ainda que gradual, reflete o compromisso contínuo em garantir a sustentabilidade e a equidade na gestão dos recursos hídricos, visando atender às necessidades presentes e futuras das gerações.

2.2. Agricultura irrigada

A água é um recurso natural finito vital para a vida; desde os primórdios, constitui-se como um dos principais elementos que garante a manutenção da vida e evolução dos seres vivos. As primeiras civilizações estabeleceram-se às margens de grandes rios e, por meio deles, foi possível desenvolver atividades de agricultura e pecuária que permitiram o sedentarismo (Batista Filho, 2016; Hosseiny, Bozorg-Haddad, & Bocchiola, 2021; Rodrigues & Cruvinel, 2022). Deste modo, a prática da agricultura nunca foi desvinculada da água (Batista Filho, 2016).

A relação intensa entre água e produção vegetal pode ser descrita pelo papel fundamental da água no processo necessário para a sobrevivência das plantas: a fotossíntese. Neste sentido, a disponibilidade de água é um fator limitante na produção agrícola e tanto a escassez, quanto o excesso incorrem em malefícios ao desenvolvimento e produtividade das plantas (Moreira, 2013; Beshir, 2017).

Técnicas de aplicação e manejo de água foram concebidas ao longo dos anos e, juntamente com outras técnicas e tecnologias, contribuíram para a intensificação da agricultura (Rodrigues, 2022). A irrigação auxilia na estabilização da produção agrícola, estima-se que a agricultura irrigada represente menos que 30% da área cultivada no mundo, mas é responsável por 40% da produção de alimentos (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2011; Rodrigues, 2021).

No Brasil o cenário não é diferente, as áreas irrigadas apresentam produtividade de 2 a 3 vezes maior que áreas de sequeiro (ANA, 2021). Em termos de água doce, um dos setores que mais consome o recurso natural é a agricultura, estima-se que seja responsável por mais de 69% do volume consumido (ANA, 2021; UNESCO, 2022). Considerando o total de hectares equipados para irrigação no Brasil, 64,5% têm como fonte de água os mananciais e 35,5% são fertirrigados com água de reúso, neste último caso, predominam efluentes provenientes da produção de etanol, conhecido como vinhaça (ANA, 2021).

No Brasil, no ano de 2019, a demanda por captação de água nos mananciais pelo setor agrícola para fins de irrigação foi de 29,7 trilhões de litros que equivalem a aproximadamente 50% do volume captado no país (ANA, 2021). Vale salientar que a agricultura irrigada, diferentemente de outros setores, está sujeita a variações na quantidade real de água utilizada,

uma vez que é acometida por fatores climáticos. Neste sentido, a quantidade real de água utilizada pode variar muito de um ano para outro (Rodrigues, 2020).

A água é elemento crucial para o desenvolvimento e saúde de culturas; ela é responsável, entre outras coisas, por transporte e absorção de nutrientes pelas plantas. Sendo a água tão importante para as culturas, a escassez ou o excesso interferem diretamente na produtividade das mesmas. Deste modo, depender somente de recurso hídrico provido das chuvas para suprir as necessidades de uma cultura incorre em incertezas à produção. A irrigação, por sua vez, consiste em complementar águas da chuva por meio de técnicas e equipamentos, garantindo estabilidade à produção, aumento de produtividade, melhoria da qualidade do produto e produção na entre safra (ANA, 2021; Gomes & Rossi, 2021; FGV, 2016; Almeida, 2010).

2.2.1. Métodos de irrigação

A aplicação de lâmina de água (irrigação) correta proporciona condições adequadas de crescimento para a cultura no solo, garante uso racional de recursos hídricos e maior produtividade da cultura (Ali et al., 2020; Liu et al., 2023).

A irrigação é uma técnica antiga que vem sendo aprimorada no decorrer dos anos, pode-se classificar em quatro principais métodos de irrigação que são agrupados de acordo com a forma de aplicação de água, sendo estes: irrigação por superfície (água aplicada na superfície do solo), subterrânea ou superficial (aplicação de água realizada abaixo da superfície do solo de modo a ser aproveitada pelas raízes das plantas), aspersão (água aplicada sob pressão acima do solo por meio de orifícios ou aspersores – chuva artificial) e localizada (aplicação em área predeterminada utilizando pequenos volumes de água, sob pressão e alta frequência) (ANA, 2021; Bernardo, Soares, & Mantovani, 2006).

Para cada método de irrigação há diferentes sistemas, como sistema por sulco e inundação no método superficial; gotejamento e microaspersão no método localizado; gotejamento subterrâneo e elevação do lençol freático no subterrâneo; e o sistema de pivô central e autopropelido para o método de aspersão (ANA, 2021; Testezlaf, 2017). Na Figura 3 são representados os principais sistemas de irrigação.



Figura 3. Representação dos principais sistemas de irrigação.
Fonte: ANA (2021).

Além de diferenças estruturais, os sistemas de irrigação possuem diferenças relacionadas à eficiência de aplicação de água. Segundo Marouelli e Silva (2011), eficiência de irrigação abrange a uniformidade com que a água é distribuída na superfície do solo e perdas de água durante a irrigação. No sistema de inundação, por exemplo, tem-se uma eficiência de irrigação que varia de 50 a 70%, já no gotejamento a estimativa é de 80 a 95%.

Não há um sistema ideal, cada um é escolhido em função da condição e região em que será empregado, levando em consideração elementos econômicos e técnicos como solo, clima, cultura, custo do equipamento e energia, mão-de-obra, quantidade e qualidade de água disponível, dentre outros (ANA, 2021; Gomes & Rossi, 2021; Braga & Calgaro, 2010).

O sistema de irrigação por gotejamento é empregado por meio de tubos perfurados com pequenos orifícios ou gotejadores dos mais variados tipos, modelos e características. No sistema, a aplicação de água ocorre na zona radicular da cultura em pequena intensidade e alta frequência reduzindo a evaporação direta de água do solo para a atmosfera e percolação. Consiste em um método amplamente difundido, porém por demandar maior custo inicial por unidade de área irrigada deve ser utilizado em culturas de elevado retorno econômico e/ou que a irrigação artificial seja imprescindível ao desenvolvimento da cultura com intuito de compensar o investimento (Bernardo et al., 2006). Além disso, crescentes têm sido os trabalhos a avaliar o gotejamento em culturas que demandam grandes volumes de água ou que possuam alto valor agregado afim de realizar o uso eficiente da água (Nakhjiri et al., 2021; Ishfaq, Akbar, Anjum, & Anwar-Ijl-Haq, 2020; Rana et al., 2023; Sharda et al., 2017).

A irrigação por gotejamento também pode ser compreendida como uma tecnologia de distribuição de água que apresenta como principais vantagens, quando comparada a outros métodos: maior eficiência no uso de água, maior produtividade, maior eficiência na adubação, adaptação a diferentes tipos de solos e topografia e redução nos custos operacionais. Dentre as desvantagens da irrigação localizada têm-se o entupimento de gotejadores e alteração na distribuição do sistema radicular das culturas, já que as raízes tendem a se concentrar na região do bulbo molhado (Tessler, 2022).

O sistema de inundação, por sua vez, compreende a aplicação de lâmina água na superfície do solo por meio de tabuleiros que possuem tamanhos variados e são limitados por diques ou taipas. Em contrapartida a outros métodos de irrigação, a inundação apresenta menor custo por unidade. No entanto, ao se distanciar de condições topográficas favoráveis para o sistema, maiores são os custos e a necessidade de cuidados dimensionais e operacionais (Scaloppi, 2022; Stone, Silveira, & Moreira, 2023).

O sistema inundado tem como principais vantagens a economia de mão-de-obra, pouca perda de água por escoamento, dificuldade de desenvolvimento de plantas daninhas, irrigação em solo com baixa infiltração e máximo aproveitamento de água da chuva. Além disso, em áreas em que a energia elétrica é inviável, o uso da irrigação por inundação, ainda é a melhor alternativa, isso devido ao uso da gravidade para distribuição de água, restringindo a uso de energia (baixo consumo) apenas para a diferença de elevação entre a fonte de água e o local de aplicação na cultura (Testezlaf, 2017). Já como desvantagens têm-se dificuldade na movimentação de equipamentos de tração mecânica ou animal para tratos culturais e colheita, perda de área de cultivo para diques e canais, facilidade na incidência de mosquitos, contraindicação tanto para culturas sensíveis à saturação do solo, quanto para solos com alta capacidade de infiltração (Bernardo et al., 2006).

Vale ressaltar que ambos os sistemas os sistemas de irrigação enfrentam desafios, assim, a escolha entre os diferentes sistemas de irrigação deve ser cuidadosamente avaliada, levando em consideração as condições específicas da propriedade, as características das culturas cultivadas e os objetivos de manejo e produção.

2.2.2. Eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água pode ser descrita por mais de uma ótica. Uma das abordagens, amplamente utilizada, refere-se à relação da produção de biomassa ou produto comercial, tal como rendimento de grãos, pela quantidade de água efetivamente utilizada pela

cultura na forma de evapotranspiração (Almeida, 2017; Donato et al., 2013; Marouelli, Oliveira, Coelho, Nogueira, & Sousa, 2011; Stone, 2005; Angus & Van Herwaarden, 2001; Stanhill, 1986).

Neste sentido, a eficiência do uso da água pode ser um indicador estratégico. Quando se tem baixa eficiência no uso da água algumas medidas podem ser tomadas para sua melhoria, dentre estas, (1) aumentar a produtividade da cultura conservando ou aumentando proporcionalmente a quantidade de água aplicada, (2) reduzir a quantidade de água aplicada, conservando ou reduzindo proporcionalmente a produtividade ou, ainda, (3) pela combinação das duas primeiras alternativas (Stone, 2005).

No trabalho de Nakhjiri, Ashouri, Sadeghi, Roshan e Rezaei (2021), por exemplo, em que o sistema de irrigação intermitente é comparado ao sistema inundado no cultivo de arroz, os autores constataram que fornecer níveis aceitáveis de água em frequência razoável e realizar boa adubação garantem bons rendimentos dos grãos.

2.2.3. Energia

No setor agrícola, a irrigação é uma das atividades que mais consome energia elétrica. Diversos fatores implicam esse alto consumo, desde o grande volume de água aplicada até a localização da fonte de água. Deste modo, o uso racional da água e energia são imprescindíveis não só para redução dos custos de tarifa de água (quando aplicável) e de energia, mas também para minimizar o desperdício dos recursos (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural [SENAR], 2019; Ribeiro, 2008).

No Brasil, a agricultura irrigada tem duas principais fontes de energia para bombeamento de água, são estas: energia elétrica e diesel (Sá Júnior & Carvalho, 2016). A fonte de energia é escolhida, entre outras coisas, por condições geográficas do local em que será instalado o sistema de irrigação, disponibilidade de peças, custo inicial e conectividade com rede elétrica (Powell, Welsh, & Farquharson, 2019; Melo, Oliveira, Cordeiro, & Sousa, 2021). O setor de energia elétrica, no Brasil, é regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a agência é quem dita as regras para todos os envolvidos, desde a geração até o consumo (Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL], 2022a). Atualmente, a Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 estabelece as regras de distribuição de energia elétrica e é complementada pelo Prodist (Procedimento de Distribuição) estabelecido na Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021 (ANEEL, 2022b).

Em termos de faturamento da energia elétrica, há diferenças decorrentes do período do ano, horário de utilização e grupo consumidor. No que tange grupo consumidor, há o grupo A

(que compreende unidade consumidora que estiver em rede de tensão igual ou superior a 2,3 kV) e grupo B (unidade consumidora que estiver em rede de tensão inferior a 2,3 kV) (SENAR, 2019). O período do ano, por sua vez, influencia na condição em que a energia será gerada.

Há bandeiras tarifárias que indicam as condições de geração de eletricidade e repassam eventuais aumentos no custo de produção. As bandeiras tarifárias são: verde (condições favoráveis de geração, não há alteração na tarifa); amarela (condições menos favoráveis de geração, há acréscimo para cada quilowatt-hora consumido); vermelha patamar 1 (condições desfavoráveis para geração, há acréscimo para cada quilowatt-hora consumido); vermelha patamar 2 (condições mais custosas para geração, há maior acréscimo para cada quilowatt-hora consumido) (Neoenergia Elektro, 2023).

Quanto ao horário, ocorre também modalidades diferenciadas. Para o grupo B na modalidade tarifária convencional há tarifa única de consumo que não se altera com as horas de utilização do dia, o mesmo não ocorre com a modalidade tarifária branca, nesta, há diferenciação na tarifa em função das horas de utilização do dia (postos tarifários: ponta, intermediário e fora de ponta) (ANEEL, 2022c). A Figura 4 expressa o faturamento da energia de acordo com modalidade e bandeiras tarifárias.

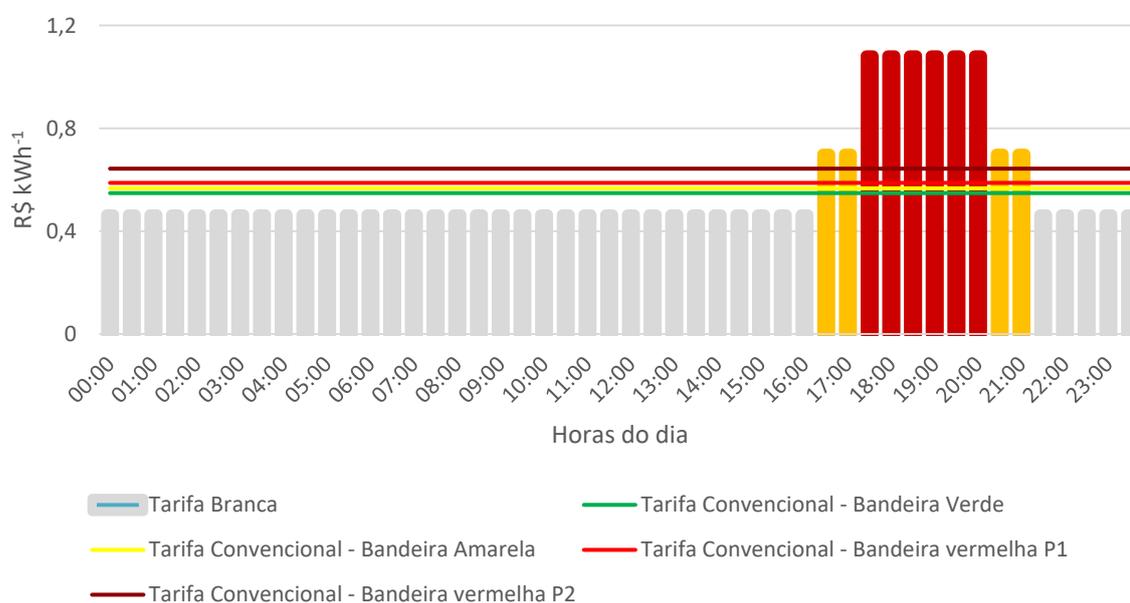


Figura 4. Tarifas de energia elétrica da Neoenergia Elektro vigentes de agosto de 2021 a agosto de 2022. Fonte: Adaptado de Neoenergia Elektro (2021b) e ANEEL (2022d)

Para a atividade de irrigação, pertencente à classe rural, a Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 reforça que há benefício tarifário que reduz tarifas aplicáveis ao consumo (Tarifa

de Uso do Sistema de Distribuição [TUSD] em R\$/MWh e Tarifa de Energia [TE] em R\$/MWh). O benefício é concedido para atividades de irrigação desenvolvidas em um período diário contínuo de 8 horas e 30 minutos (21h30 às 6 horas do dia seguinte). Além disso, a distribuidora de energia que determina o horário de início da concessão do benefício, mediante acordo com o consumidor. Os percentuais de redução são expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Percentual de redução nas tarifas de energia elétrica por região do Brasil.

| Região | Percentual de redução (%) | |
|---|---------------------------|---------|
| | Grupo A | Grupo B |
| Nordeste e municípios de Minas Gerais no Polígono da Seca | 90 | 73 |
| Norte, Centro-Oeste e demais municípios do estado de Minas Gerais | 80 | 67 |
| Demais regiões | 70 | 60 |

Fonte: Adaptado de ANEEL (2021).

Motores acionados à diesel, tendem a gerar um custo mais elevado devido ao consumo e respectivo preço do litro do diesel (Buisson, Balasubramanya, & Stifel, 2021). A utilização do diesel se torna viável em áreas remotas e/ou que não possuam proximidade com rede elétrica em que a irrigação é indispensável.

No trabalho desenvolvido por Oliveira Filho et al. (2005), os autores constataram, para as condições estudadas, que motor elétrico monofásico se apresenta como opção mais vantajosa que motores à diesel e trifásicos. Resultado semelhante foi encontrado por Rocha, Pereira e Coelho (2001), em que o sistema à diesel foi 37 a 42% mais caro que o sistema elétrico, considerando o comprimento de rede fixo.

Deste modo, o uso de motor à diesel para bombeamento de água é recomendado para áreas que possuem limitações no uso de energia elétrica, baixa qualidade em seu fornecimento, altos valores tarifários aplicados pela concessionária, entre outros (Testezlaf, 2017; Sá Júnior & Carvalho, 2016; Campeche, Coelho Filho, Sousa, & Coelho, 1999).

2.3. Reúso da água na agricultura

O reúso no contexto agrícola configura-se como um importante elemento não só na gestão dos recursos hídricos, mas também como alternativa para redução do uso de fertilizantes inorgânicos, redução de custos agrícolas, entre outros. A técnica não é recente, mas tem se tornado foco para estudos devido à crescente demanda por água e alternativas para mitigação de efluente (CETESB, 2021).

Diversas são as culturas que podem ser irrigadas e efluentes que podem ser utilizados. O que determina qual efluente ou cultura a irrigar, depende não só de características produtivas favoráveis, mas também da segurança do alimento que será produzido (este deve estar livre de contaminações) e aplicabilidade/viabilidade do sistema (Dominical, 2018). Dentre as culturas estudadas para irrigação com águas residuárias tem-se capim *croastcross* (Dominical, 2018), melão (Miranda, Tavares, Lima, & Crisóstomo, 2007), pimentão (Duarte, 2007), capim *tifton* (Nogueira et al., 2013), rabanete (Dantas et al., 2014), tomate (Thebaldi, Rocha, Sandri, & Felisberto, 2012), entre outras.

Diversos são os estudos que abrangem o tema reúso no contexto agrícola e expressam seu potencial como alternativa ao uso de água de boa qualidade. No trabalho realizado por Miranda et al. (2007), o uso de efluente da carcinicultura de águas interiores utilizado na irrigação de culturas como arroz e melão resultou em produtividade satisfatória e, até mesmo, superior comparada ao uso da água de captação superficial. As pesquisas desenvolvidas por Dominical (2018) com efluente de abatedouro para irrigação de planta forrageira, apresentam o reúso como alternativa, tanto para tratamento do efluente, quanto para reaproveitamento da água.

No estudo realizado por Kaur, Sharma e Kirpalani (2018), têm-se que efluente de laticínio utilizado na concentração de 50% apresentou resultados satisfatórios para a maioria dos parâmetros de crescimento do cultivo de *Oryza sativa* L. (arroz). No entanto, a menor concentração do efluente corroborou para efeito significativo e benéfico no crescimento e desenvolvimento do arrozal, quando comparado ao tratamento controle sem efluente.

No trabalho realizado por Gomes et al. (2017), também são apresentados dados satisfatórios no aproveitamento de nutrientes pela cultura da beterraba, onde obteve-se contribuição de K e Ca nas folhas e N, P, K, Ca e Mg nas raízes. Na apostila desenvolvida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2018), a disposição de efluente tratado no solo é, também, apresentada como uma forma de fertirrigação, onde há fornecimento de nutrientes presente no efluente às culturas. O material ainda ressalta que a aplicação de efluentes pode ser realizada por inundação, sulcos, aspersão, gotejamento ou com chorumeiras.

Teixeira (2020) em seu trabalho recomenda o uso de efluente de laticínio para fertirrigação de capim mombaça com taxa de aplicação de até 600 kg ha⁻¹ de Na⁺, contribuindo com maiores produtividades de matéria seca e fresca. O trabalho de revisão de Raghunath et al. (2016) aborda os impactos do efluente de laticínio no meio ambiente. No trabalho, quando da aplicação de efluente de laticínio no solo para remoção de nutrientes, os nutrientes nitrogênio e fósforo são destacados e os autores indicam que a absorção pelas plantas por ano pode chegar a 500 e 30 kg ha⁻¹, respectivamente.

No cultivo de tomate com águas residuárias agroindustriais com tratamento terciário Vergine et al. (2017) estimaram economia potencial de 280 € ha⁻¹. Já o cultivo de brócolis alcançou, em média, metade da economia adquirida no cultivo de tomate. No estudo realizado por Gava et al. (2023), ao reutilizar água de drenagem em estufa obteve-se economia de 20% em água e fertilizantes e com isso reduziu em 50% a eutrofização da água doce e marinha.

Os dados e estudos apresentados confirmam o potencial do efluente no aporte de nutrientes. Tem-se nas águas residuárias uma fonte de nutrientes para as culturas que, em alguns casos, pode substituir o uso de fertilizantes sintéticos, ou seja, além de reduzir a pressão e impacto sobre corpos d'água, pode reduzir custos na compra de adubos.

2.4. Cultivo do arroz

O arroz constitui um dos alimentos mais importantes na dieta alimentar de grande parte da população mundial (Silva, Wander, & Ferreira, 2017; Kögel-Knabner et al., 2010). Em termos nutricionais o arroz fornece 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao ser humano. Em termos econômicos, nos países em desenvolvimento, é considerado o cultivo alimentar com maior importância (Silva, Wander, & Ferreira, 2017).

O arroz pertence à família das gramíneas, sendo a espécie mais cultivada a *Oryza sativa* (Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], 2015). Em termos de desenvolvimento de cultura, segundo Yoshida (1981), uma variedade de 120 dias, em ambiente tropical, demanda 60 dias para estágio vegetativo, 30 dias no estágio reprodutivo e 30 dias em período de maturação.

A cultura do arroz não requer necessidades específicas de solo e clima. No entanto, devido à ancestralidade semiaquática, o arroz é sensível à escassez de água, ou seja, a cultura demanda níveis adequados de umidade do solo para que possa expressar sua potencialidade de produção (Silva, Wander, & Ferreira, 2017; Kögel-Knabner et al., 2010). Assim, o arroz é tradicionalmente cultivado com sistema de irrigação por inundação (Santiago, Breseghello, & Ferreira, 2013).

O sistema de irrigação por inundação emprega grande volume de água devido não só à necessidade da cultura nos processos de crescimento e transpiração, mas também às perdas com evaporação da superfície solo-água. Estima-se que em sistemas de irrigação por inundação a produtividade de arroz irrigado por unidade de evapotranspiração esteja próximo à 1,1 kg de grãos por metro cúbico de água. A baixa eficiência no uso da água pode ser atribuída às perdas por evapotranspiração, percolação e fluxo lateral pelas taipas (bordas da lavoura). Nos trópicos, comumente encontra-se valores de evapotranspiração da lavoura variando de 40 a 50 m³ dia⁻¹ ha⁻¹

¹, na estação chuvosa e 60 a 70 m³ dia⁻¹ ha⁻¹, na estação seca (Gomes, Scivittaro, Petrini, & Ferreira, 2008).

As perdas, sempre que possível, devem ser minimizadas através do conhecimento das condições climáticas, atributos do solo, manejo adequado da cultura e da água de irrigação e duração do ciclo da cultura.

Em contrapartida ao sistema de inundação, técnicas de irrigação por aspersão e gotejamento têm sido adotadas na cultura do arroz de sequeiro, as técnicas de irrigação suprem a demanda hídrica da cultura quando há ocorrência de períodos de estiagem durante a estação chuvosa. Desta forma, é possível economizar água (por meio do uso eficiente do recurso) e conferir estabilidade à produção (Crusciol, Machado, Arf, & Rodrigues, 2000).

2.4.1. Terras altas e terras baixas

Considerando o manejo da água e da terra, o cultivo do arroz pode ser dividido em dois grupos: terras altas e terras baixas. O arroz de terras altas, também conhecido como arroz de sequeiro, corresponde ao cultivo em áreas com baixa capacidade de água disponível, em que a distribuição das chuvas é irregular e há (ou pode haver) suplementação do recurso hídrico por meio de irrigação. Em contrapartida, o arroz de terras baixas, arroz de várzea ou, ainda, arroz irrigado, equivale ao cultivo do arroz em campos alagados com irrigação controlada. Em ambos os grupos de cultivo, a irrigação seja ela intermitente, contínua ou suplementar, confere estabilidade à produção, reduz o estresse hídrico, melhora a produtividade e qualidade do produto (Fageria, Baligar, & Jones, 2011; Stone & Silveira, 2003).

De modo geral, a deficiência de nutrientes limita a produtividade do arroz em ambos os grupos de cultivo. Os nutrientes mais limitantes para o desenvolvimento da cultura são nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P). No entanto, devido a exposição a cenários diferentes, o arroz de terras altas e de baixas apresentam diferenças quanto a demanda nutricional (Fageria et al., 2011).

O arroz de terras alta no Brasil, por exemplo, cultivado predominantemente em regiões de Latossolo e Argissolo, utiliza a recomendação de N de 90 a 120 kg ha⁻¹ sendo as principais fontes utilizadas o Sulfato de Amônio e Ureia. Para K a recomendação é de 80 a 120 kg ha⁻¹ e no caso do P a recomendação é variável sendo 100 a 120 kg ha⁻¹ (P₂O₅) quando o nível de P está abaixo de 3 mg kg⁻¹ de solo e 60 a 80 kg ha⁻¹ (P₂O₅) quando o nível de P é superior a 3 mg.kg⁻¹ (Fageria et al., 2011).

Para arroz de terras baixas, Fageria, Baligar e Jones (2011) observaram que a aplicação de 90 kg N ha⁻¹ produziu um rendimento viável de arroz, porém quando aplicado em uma faixa de 0 a 200 kg N ha⁻¹ houve significativa resposta na produtividade da cultura. Para K observou-se um bom rendimento da cultura quando da aplicação de 125 kg ha⁻¹. Em termos de P, houve variações decorrentes da presença de P no solo e da forma de aplicação (à lanço e em linha). Para baixos teores de P no solo (0 a 3,6 mg kg⁻¹ de solo) recomendam 100 kg ha⁻¹ quando da aplicação à lanço e 66 kg ha⁻¹ para aplicação em linha. Já para altos teores de P no solo, recomendam aplicações maiores que 275 kg ha⁻¹ à lanço e 22 kg ha⁻¹ em linha.

Além de diferenças quanto à necessidade nutricional, arroz de terras altas e baixas apresentam diferenças quanto a produtividade. A estimativa é que o rendimento do arroz, predominantemente irrigado, no Brasil seja de 7.240 kg ha⁻¹, valor este 3,7 vezes maior que o arroz não irrigado, que apresentou valor de 1.970 kg ha⁻¹ (ANA, 2021).

2.4.2. Produção global e Estado de São Paulo

O arroz é um dos grãos mais consumidos no mundo com demanda expressiva e crescente. Globalmente, o volume produzido em 2020/21 foi de 518,1 milhões de toneladas (FAO, 2022). Os principais produtores do grão no mundo são China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã e Tailândia, juntos foram responsáveis por mais de 76% do produto (não processado) na safra de 2019/2020 (Hirakuri, Prando, Oliveira, Concenço, 2021).

Entre os países fora da Ásia, o Brasil é o principal produtor de arroz e tem aprimorado tecnologias com o intuito de reduzir a área cultivada e aumentar a produtividade. Conforme levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022), a safra 2022/2023 teve redução de 9,5% da área plantada, comparada a safra anterior, e aumentou em 6,3% a produtividade. No país, a produção ganha destaque nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Tocantins e Maranhão; juntos atingiram 81,6% da área plantada (em mil hectares) na safra 2022/2023. Nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Tocantins, o cultivo ocorre predominantemente por terras baixas (inundação), já no Maranhão 96,9% do cultivo ocorre em terras altas e apenas 3,1% em terras baixas (CONAB, 2022; Hirakuri et al., 2021).

Dentre as regiões do Brasil, o Sudeste possui a menor área cultivada de arroz, apenas 0,8% equivalente à 12,1 mil hectares na safra 2022/2023. Na região, o estado de São Paulo é o maior produtor de arroz, detentor de 9,4 mil hectares de área plantada que resultaram em aproximadamente 41,7 toneladas de arroz produzido (CONAB, 2022).

No que tange ao consumo, o Brasil é o maior consumidor de arroz entre os países não pertencentes à Ásia e, no país, o estado de São Paulo é o maior consumidor do grão (CONAB, 2022; Hirakuri et al., 2021). A forma e a quantidade de consumo do arroz variam de país para país, no Brasil o arroz faz parte da base alimentar dos consumidores. Dentre os tipos de arroz, estima-se que no Brasil o consumo é representado por polido (70%), parboilizado (25%), integral (4%) e outros (1%) (Silva & Wander, 2023c).

O arroz polido (agulhinha, ou ainda, branco) tem expressiva participação no âmbito de consumo, porém arroz do tipo especial tem ganhado cada vez mais espaço devido a demanda por meio do consumidor e rizicultores, uma vez que possuem maior valor agregado. Dentre os principais tipos de arroz especial tem-se o arroz preto, arbório, aromático e arroz para culinária japonesa. O arroz arbório, por exemplo, pode alcançar lucros que superam em 200%, o tipo agulhinha (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios [APTA], 2014). Embora o estado de São Paulo não seja o maior produtor de arroz no Brasil, a região do Vale do Paraíba, no interior do estado, tem ganhado destaque no cenário nacional e internacional. Com condições climáticas favoráveis à produção, a região é responsável pela produção de tipos especiais de arroz (Coordenadoria De Assistência Técnica Integral [CATI], 2014).

Na Tabela 2 são apresentadas algumas características de cultivares do tipo especial desenvolvidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)-SP.

Tabela 2. Características de tipos especiais de arroz.

| Cultivar | Principal uso | Produtividade média (kg ha ⁻¹) |
|------------------------------|---|--|
| IAC 301 – arbório | Ideal para preparo de risoto | 4.281 |
| IAC 400 – culinária japonesa | Ideal para preparo de sushi | 5.200 |
| IAC 500 – aromático | Consumido na forma integral, possui sabor amanteigado | 5.560 |
| IAC 600 – arroz preto | Consumido na forma integral, possui aroma e sabor acastanhado | 3.090 |

Fonte: APTA (2014); IAC (2018); IAC (2005a); IAC (2005b).

2.5. Análise econômica

A atividade agrícola está exposta aos mais variados riscos, estes permeiam desde fatores climáticos e processos biológicos à investimentos necessários, variabilidade de mercado e comercialização (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2018). Para mitigar os riscos, ferramentas que auxiliam na tomada de decisão são cada vez mais imprescindíveis.

A análise de viabilidade econômica, por exemplo, é uma ferramenta que permite a redução da probabilidade de prejuízos futuros em uma empresa e por meio de mecanismos, possibilita a análise eficaz da utilização dos recursos. Deste modo, configura-se como um dispositivo para tomada de decisão em curto e longo prazo (Andrade, 2019).

Quando um projeto é analisado em termos da viabilidade econômica, este deve apresentar custos iguais ou inferiores quando comparado às soluções que tenham a mesma finalidade. Por exemplo, em um projeto de irrigação por gotejamento no arroz, com uma fonte de água residuária, para que seja considerado viável, o reúso deve sobressair a soluções como fertirrigação de culturas, outro tipo de água para irrigação e tratamento de efluente para descarte adequado nos corpos d'água, já o sistema de irrigação deve se destacar perante o cultivo tradicional por inundação ou outras soluções existentes (Schaer-Barbosa, Santos, & Medeiros, 2014).

Embora o reúso agrícola se apresente como alternativa ao uso de água de boa qualidade e reduza os impactos nos corpos d'água, o tema ainda carece de estudos sobre questões de viabilidade econômica. Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos e apresentam resultados promissores, a exemplo, têm-se o trabalho realizado por Nogueira et al. (2013) em que efluente de esgoto foi utilizado para irrigação de capim *tifton* considerando aspectos econômicos e agrônômicos, os resultados obtidos ressaltam a aplicabilidade e rentabilidade do uso de efluente de esgoto tratado, como fonte de irrigação.

Em trabalho realizado por Marques et al. (2017), em que efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico foi utilizado na fertirrigação de capim-elefante, os resultados expressam que o efluente proporcionou não só economia de água no valor de 58%, mas também economia financeira em termos de adubação, custo de produção e custo de irrigação.

Andrade (2019) analisou o uso de água residuária em culturas agrícolas (soja e feijão caupi) e encontrou cenários economicamente viáveis quando adotou o custo da água residuária como sendo zero. Já o custo baseado na outorga de direitos do uso de recursos hídricos, quando da adoção do custo da água residuária com base em preço praticado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, obteve inviabilidade econômica.

Existem diversas formas de realizar a análise de viabilidade, dentre as opções amplamente utilizadas tem-se a análise de benefício-custo (B/C). Muitas são as abordagens da análise B/C e os temas que ela abrange. Contudo, muito tem sido utilizado em estudos de gestão de recursos hídricos, seja para analisar alternativas de recursos hídricos em regiões com escassez (Birol, Koundouri, & Kountouris, 2010), seja para avaliar novos métodos (Galioto, Chatzinikolaou, Raggi, & Viaggi, 2020).

Ao avaliar a eficiência econômica de um sistema de gotejamento no cultivo de tomate, os autores Ali et al. (2020) encontraram a relação B/C 1,35, ou seja, o investimento é lucrativo. Liu et al. (2023) também encontrou resultados semelhantes em que o cultivo de milho com gotejamento aumentou não só a lucratividade do sistema, como também o crescimento da cultura e eficiência no uso da água.

Investir em projetos de irrigação carece de grande aporte financeiro e quanto mais tecnificado, maior o valor despendido. Deste modo, espera-se que os benefícios do investimento excedam o custo total (Ali et al., 2020).

2.5.1. Custos

As análises dos custos do sistema de irrigação contribuem para estimativa de dispêndios e retornos anuais esperados (Boas, Pereira, Reis, Lima Junior, & Consoni, 2011). Os custos correspondem à soma de valores de todos os recursos (insumos) e operações (serviços) empregados em determinada atividade, incluindo custos alternativos ou de oportunidade (Oliveira, Faria, Reis, & Silva, 2010).

Para a determinação do custo total de um sistema de irrigação pode-se dividir em custo fixo e custo variável (Marques, 2005). O custo fixo pode ser compreendido como custos que não se alteram com variações na quantidade produzida, tais como, máquinas, equipamentos, construções, instalações elétricas, sistematização, remuneração de capital investido, depreciação, seguros, taxas e impostos (Vieira, Mantovani, Soares, Cunha, & Montes, 2011; Oliveira et al., 2010; Marques, 2005). O custo variável, por sua vez, corresponde à recursos variáveis e formas de operacionalização, como, insumos, manutenção de máquinas e equipamentos, combustível, despesas gerais, energia, água (Oliveira et al., 2010; Marques, 2005). Por meio do cálculo de custos fixos e variáveis de um sistema de irrigação é possível obter o custo total anual do sistema.

O custo com sementes, por exemplo, na implantação de cultivos de grãos em geral, tem grande impacto no resultado do cultivo. Estas correspondem ao pacote tecnológico a ser adotado e, quando pertinente, valor agregado almejado. Em contrapartida aos benefícios gerados por tipos e qualidade de sementes, tem-se o investimento necessário para alcançar tais resultados e este impacta no custo de produção total (CONAB, 2016).

Comparando alguns fatores econômicos na irrigação por gotejamento e inundação, tem-se que a mão de obra utilizada no sistema por inundação é mais cara, pelo menor grau de tecnificação. Em contrapartida, o gotejamento possui menor custo com mão de obra devido às tecnologias que permitem automação das tarefas (Schneider, 2022).

Do mesmo modo que as tecnologias influem no custo da mão de obra, o mesmo recai sobre a manutenção do sistema, a manutenção do sistema de gotejamento apresenta elevado custo devido ao seu pacote tecnológico empregado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa desenvolvida, sobre a análise econômica do arroz irrigado por gotejamento subsuperficial com efluente tratado de laticínio, concentrou dados da condução de um cultivo experimental, financiado por auxílio de pesquisa FAPESP, processo N° 2019/02921-2 e da tese de doutorado de Menegassi (2022), cujos tratamentos serviram de cenários para parte das simulações. O cenário para o cultivo do arroz sob irrigação por inundação, tradicionalmente utilizado, aconteceu com dados obtidos por buscas sobre o assunto na literatura científica, base de dados de instituições governamentais e não-governamentais.

3.1. Experimento de campo

O experimento foi conduzido em estufa com área de 210 m², pertencente à FZEA/USP, na cidade de Pirassununga-SP (Figura 5). O local de instalação do experimento possui altitude de 627 m, latitude 21°59'S e longitude 47°25'W. Segundo Colabone (2011), o clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é considerado como tipo Cwa, com temperatura média anual de 20,8°C e precipitação pluviométrica média anual de 1089 mm.



Figura 5. Vista geral do experimento de arroz arbóreo irrigado por gotejamento subsuperficial com efluente de laticínio.

Fonte: Própria autoria.

A cultivar utilizada no experimento foi a IAC 301, arroz especial, arbóreo, para culinária italiana.

O delineamento adotado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial (2x4) e mais 2 controles (100% água). No experimento adotou-se duas umidades de solo (capacidade de campo-

CC e saturação-SAT) e cinco concentrações de efluente tratado de laticínio. Os tratamentos adotados são descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Tratamentos adotados no experimento

| Umidade do solo | | Concentração de água e efluente (%) | |
|-----------------|-----|-------------------------------------|----------|
| CC | SAT | Água | Efluente |
| T1 | T2 | 100 | 0 |
| T3 | T4 | 75 | 25 |
| T5 | T6 | 50 | 50 |
| T7 | T8 | 25 | 75 |
| T9 | T10 | 0 | 100 |

CC: capacidade de campo; SAT: saturação.

O experimento foi composto por 4 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. As unidades experimentais foram constituídas de caixas de fibra de vidro com 1 m² de área superficial e 500 m³ de volume, foram cultivadas quatro linhas de plantas, em que foram consideradas as duas centrais como área útil.

O solo utilizado para preenchimento das caixas foi obtido de barranco, cujas análises química e granulométrica foram realizadas, segundo metodologia descrita por Raij, Andrade, Cantarella e Quaggio (2001). O solo utilizado foi classificado como Latossolo vermelho distrófico de textura média arenosa (Santos et al., 2018). A caracterização do solo é descrita na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização química e física do solo.

| pH | P | K | Na | Ca | Mg | CTC | |
|--------------------|---------------------|------|-------|------------------------|-------|-------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | mmolc dm ⁻³ | | | |
| 4,90 | 6,00 | 0,80 | 0,19 | 15,00 | 2,00 | 51,00 | |
| MO | CT | PST | V | Argila | Silte | Areia | Ds |
| g kg ⁻¹ | | | | (%) | | | g cm ⁻¹ |
| 23,00 | 13,34 | 0,37 | 35,30 | 38 | 19 | 43 | 1,35 |

CTC: capacidade de troca de cátions; MO: matéria orgânica; CT: carbono total; PST: porcentagem de sódio trocável; V: saturação por bases; Ds: densidade. Fonte: Adaptado de Menegassi (2022)

Os resultados obtidos definiram a adubação química de plantio e cobertura. Na adubação em cobertura somente os tratamentos com 100% de água receberam N e K nas quantidades 100 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹, respectivamente. O plantio foi realizado de forma semelhante para todos os tratamentos adotados no experimento com aplicação de 30 kg de N ha⁻¹, 70 kg de K ha⁻¹ e 80 kg de P ha⁻¹.

O efluente utilizado para irrigação do arroz foi fornecido de um laticínio localizado próximo à região de Pirassununga-SP. Na estação de tratamento experimental da FZEA/USP foi tratado por sistema anaeróbio antes de ser utilizado como fonte de irrigação. Para sua caracterização físico-química foram realizadas análises dos parâmetros: condutividade elétrica (CE), pH, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), série nitrogenada (NTK, NH_4^+ , Norg, NO_3^- , NO_2^- , NT), fósforo (P), potássio (K), sulfato (SO_4^-), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na). As amostras de efluente foram analisadas conforme APHA (2012). Os dados de caracterização do efluente são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização química do efluente de laticínio.

| | Concentração | | | | | | |
|---------------|--|--|--|--|--------------------------------|--|--|
| | N-NTK (mg L^{-1}) | N- NH_4^+ (mg L^{-1}) | N- NO_3^- (mg L^{-1}) | N- NO_2^- (mg L^{-1}) | N-NT (mg L^{-1}) | P- PO_4^- (mg L^{-1}) | K ⁺ (mg L^{-1}) |
| Média | 101,48 | 69,39 | 0,47 | 0,07 | 69,93 | 8,97 | 41,48 |
| Desvio padrão | ± 23,87 | ± 16,55 | ± 0,22 | ± 0,10 | ± 16,57 | ± 2,68 | ± 17,14 |
| | Concentração | | | | | | |
| | Ca ²⁺ (mg L^{-1}) | Mg ²⁺ (mg L^{-1}) | Na ⁺ (mg L^{-1}) | RAS (mmol L^{-1}) ^{1/2} | | pH | CE (dS m^{-1}) |
| Média | 26,08 | 11,05 | 270,74 | 11,37 | | 8,39 | 1,63 |
| Desvio padrão | ± 9,37 | ± 2,11 | ± 85,88 | ± 3,58 | | ± 0,30 | ± 0,82 |

Fonte: Adaptado de Menegassi (2022).

Adotou-se, no experimento, o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, cuja produtividade foi comparada ao cultivo do arroz arbóreo irrigado por inundação, segundo dados do IAC (2018), utilizando a lâmina de irrigação fornecida pela ANA (2021), intitulado de T11. As unidades experimentais foram compostas por linhas de tubos gotejadores, enterrados a profundidade de 0,15 m, com 1 m de comprimento cada e espaçamento de 0,20 m entre linha. Nos tubos gotejadores haviam emissores com vazão de 1,6 L h⁻¹. Cada unidade experimental contava com tensiômetro instalado na área central da mesma, na profundidade de 0,15 m para realização da determinação das lâminas de irrigação, com a finalidade de atingir às umidades na capacidade de campo e saturação. A tensão foi mensurada por meio de tensímetro digital. Os valores das lâminas aplicadas para cada tratamento, foram registrados por hidrômetros instalados no cabeçal de controle da irrigação.

As lâminas de irrigação obtidas para cada tratamento, sob gotejamento subsuperficial, em comparação com o sistema por inundação (T11) estão apresentadas na Figura 6.

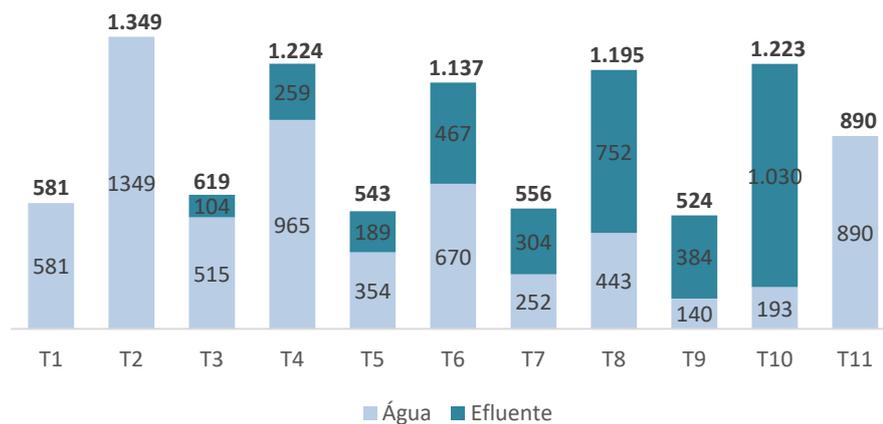


Figura 6. Lâminas de irrigação (mm) total para os tratamentos adotados e inundação.

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018). Fonte: Adaptado de Menegassi (2022)

As tensões de água no solo para as umidades de solo foram mantidas dentro da faixa de manejo de 0 a -5,43 kPa na saturação e 0 a -20 kPa na capacidade de campo (Menegassi, 2022).

Para composição dos dados dos diferentes cenários do estudo de viabilidade econômica foram coletados, ao final do ciclo de cultivo, dados de produtividades de grãos, obtida pelo peso de 1000 grãos de arroz em balança eletrônica de precisão. A produtividade obtida nos tratamentos está apresentada na Figura 7, juntamente com a produtividade média para o arroz arbóreo sob irrigação por inundação (T11), segundo IAC (2018).

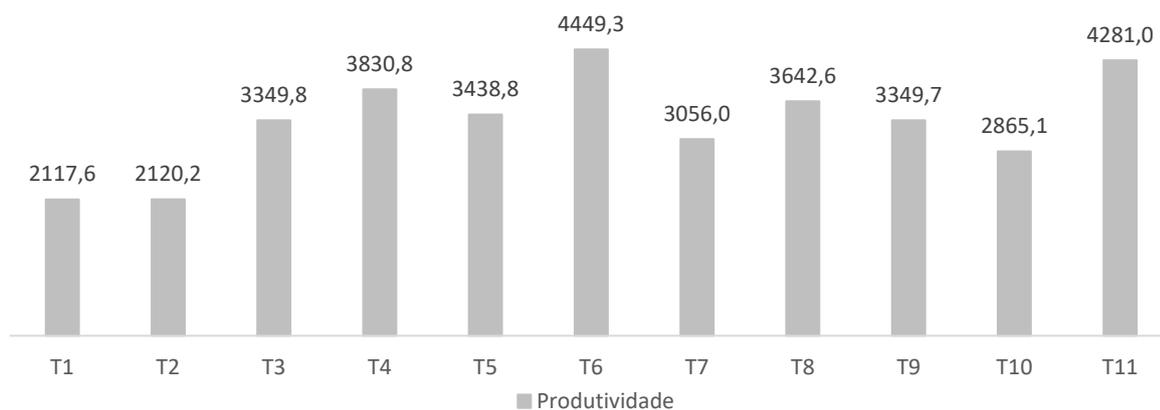


Figura 7. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) para os diferentes tratamentos.

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

3.2. Preço do arroz arbório pago ao produtor

O preço do arroz tipo especial pago ao produtor é uma informação estratégica no mercado e não disponível, para tanto, realizou-se os cálculos reversos a partir do arroz agulhinha para estimar um valor possível de ser praticado.

A princípio, o preço médio pago ao produtor pelo arroz agulhinha foi estimado, por meio de série histórica de preços recebidos pelos produtores no estado de São Paulo de janeiro de 2016 a janeiro 2024, e extrapolado para o arroz arbório (CONAB, 2024). Vale salientar que o arroz agulhinha não substitui o arroz arbório, visto que este último apresenta produtividade menor e maior preço de venda, porém foi utilizado pela disponibilidade de dados.

A média de preço encontrada foi de R\$ 1,30 kg⁻¹ para arroz agulhinha. Posteriormente, realizou-se pesquisa de preços de varejo em mercados físicos das cidades de Pirassununga e Piracicaba para encontrar a relação entre os preços praticados para arroz arbório e agulhinha, produzidos no Brasil.

A relação entre preços foi obtida por meio da divisão: preço de arroz arbório por preço de arroz agulhinha. Feito isto, multiplicou-se o valor 1,30 pelo valor da relação entre as duas cultivares, obtendo-se o preço pago ao produtor pelo arroz arbório.

3.3. Análise econômica

Para compor o estudo da análise econômica do cultivo de arroz irrigado com efluente tratado de laticínio foram utilizados os dados de produção da parte vegetal de interesse econômico (Figura 7) e respectiva lâmina de irrigação (Figura 6). Dados complementares ao estudo, foram adquiridos em base de dados.

Para a estimativa do custo total de produção tanto para o sistema por inundação, quanto para gotejamento, utilizou-se como principal guia o levantamento do custo de produção de arroz contido no Agriannual 2022: Anuário da agricultura brasileira (IHS Markit, 2022). A estrutura do custo de produção proposta no Anuário é composta por: (i) operações (conservação do solo, preparo do solo, plantio, tratos culturais, colheita e irrigação); (ii) insumos (fertilizantes/corretivos, sementes e defensivos agrícolas); (iii) administração; (iv) pós-colheita (IHS Markit, 2022).

Por ser um cultivo tradicional, os dados da produção de arroz irrigado por inundação são, em sua grande totalidade, contemplados no levantamento de custo de produção do Agriannual 2022 (IHS Markit, 2022). Para compor os dados de custos de produção do sistema de

irrigação por gotejamento, utilizou-se de valores obtidos no experimento e, quando aplicável ao sistema, dados de custo de produção de arroz de sequeiro, devido ao melhor enquadramento das operações (conservação do solo, preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita). As Tabelas 6 e 7 apresentam os custos de produção para arroz irrigado por inundação e gotejamento, respectivamente.

Tabela 6. Custo de produção do arroz irrigado por inundação

| | Especificação | V.U. | Qtde. | Fonte |
|--|---------------|--------------------|-------|-------------------|
| A – Operações | | | | |
| A1 Preparo do solo | R\$ / ha | 1730,20 | 1,00 | IHS Markit (2022) |
| A2 Plantio | R\$ / ha | 204,94 | 1,00 | |
| A3 Tratos culturais | R\$ / ha | 162,65 | 1,00 | |
| A4 Colheita | R\$ / ha | 847,35 | 1,00 | |
| A5 Irrigação | | Vide seção 3.3.1.3 | | |
| B - Insumos | | | | |
| B1 – Fertilizantes / corretivos | | | | |
| Cloreto de Potássio | R\$/tonelada | 2380,00 | 0,20 | Conab (2021) |
| Superfosfato simples | R\$/tonelada | 1425,60 | 0,64 | |
| Uréia agrícola | R\$/tonelada | 2962,50 | 0,10 | |
| B2 – Fertilizantes / corretivos - Cobertura | | | | |
| Uréia agrícola | R\$/tonelada | 2962,5 | 0,32 | Conab (2021) |
| Cloreto de Potássio | R\$/tonelada | 2380 | 0,26 | |
| B3 - Sementes | | | | |
| Sementes | R\$/kg | 16,00 | 100 | IAC (2022) |
| B4 - Defensivos agrícolas | | | | |
| | R\$/ha | 1708,67 | 1,00 | IHS Markit (2022) |
| C - Administração | | | | |
| Administração geral | R\$/ha | 718,9 | 1,00 | IHS Markit (2022) |
| Impostos/taxas | % receita | 1,80% | 1,00 | |
| D - Pós colheita | | | | |
| Transporte até armazém | R\$/tonelada | 51,2 | 4,28 | IHS Markit (2022) |
| Secagem (terceiros) | % da produção | 6,00% | 1,00 | IAC (2018) |

V.U.: valor unitário

A maior parte dos dados contidos no levantamento de custo de produção do Anuário de agricultura brasileira foram mantidos na Tabela 6 (IHS Markit, 2022). Apenas informações de irrigação, fertilizantes/corretivos, sementes, administração e pós-colheita foram alterados para adequação ao estudo.

Tabela 7. Custo de produção do arroz irrigado por gotejamento

| Descrição | Especificação | V.U. | Qtde. | Fonte |
|--|---------------|--------------------|---|---------------------------------------|
| A – Operações | | | | |
| A1 - Conservação do solo | R\$ / ha | 97,70 | 1,00 | |
| A2 - Preparo do solo | R\$ / ha | 316,84 | 1,00 | |
| A3 – Plantio | R\$ / ha | 190,83 | 1,00 | IHS Markit (2022) |
| A4 - Tratos culturais | R\$ / ha | 242,41 | 1,00 | |
| A5 – Colheita | R\$ / ha | 330,64 | 1,00 | |
| A6 – Irrigação | | Vide seção 3.3.1.3 | | |
| B – Insumos | | | | |
| B1 – Fertilizantes / corretivos - Plantio | | | | |
| Cloreto de Potássio | R\$/tonelada | 2.380,00 | 0,15 | Menegassi (2022) Conab (2021) |
| Superfosfato simples | R\$/tonelada | 1.425,60 | 0,47 | |
| Uréia agrícola | R\$/tonelada | 2.962,50 | 0,07 | |
| B2 – Fertilizantes / corretivos - Cobertura | | | | |
| Uréia agrícola | R\$/tonelada | 2.962,50 | 0,23 | Menegassi (2022) |
| Cloreto de Potássio | R\$/tonelada | 2.380,00 | 0,19 | Conab (2021) |
| B3 – Sementes / mat. Plantio | | | | |
| Sementes (GEN) | R\$/kg | 16,00 | 100,00 | IAC (2022) |
| B4 - Defensivos agrícolas | | | | |
| | R\$ / ha | 1.396,97 | 1,00 | IHS Markit (2022) |
| C - Administração | | | | |
| Administração geral | R\$/ha | 427,95 | 1,00 | IHS Markit (2022) |
| Impostos / taxas | % receita | 1,8% | Varia em função da receita de cada tratamento | IHS Markit (2022) Menegassi (2022) |
| D - Pós colheita | R\$/tonelada | 134,09 | Varia em função da produtividade de cada tratamento | IHS Markit (2022) |

V.U.: valor unitário

Na Tabela 7, assim como no sistema de irrigação por inundação, os dados de irrigação, fertilizantes/corretivos, sementes, administração (impostos/taxa) e pós-colheita foram alterados, as demais informações foram mantidas e utilizadas como base.

Além disso, para o estudo, utilizou-se de equações e fluxogramas contidos no programa de computador intitulado “Model risco”, patentado sob número de registro BR512015001591-5,

com data de registro em 23/02/2016 na Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Marques, 2005).

3.3.1. Custo variável

O custo variável pode ser compreendido como o somatório dos custos associados ao uso da irrigação (operacional, manutenção e outros) e demais custos que variam de acordo com a produção da cultura (Marouelli & Silva, 2011).

3.3.1.1. Fertilizantes/corretivos

Os fertilizantes são fontes de nutrientes às plantas, para garantir desenvolvimento e produtividade. A quantidade de fertilizantes ou corretivos, dependem, entres outras coisas, de análise do solo e necessidade nutricional da cultura (Trani, E.; & Trani, L., 2011). De posse da necessidade da cultura, da concentração do nutriente necessário presente no fertilizante, do preço do fertilizante e da eficiência de aplicação do sistema de irrigação, calculou-se o custo do fertilizante (Equação 1).

$$C_{fert} = \frac{\left(\frac{n}{c \cdot ef}\right) \cdot P_{fert}}{1000} \quad (01)$$

Sendo:

C_{fert} – custo do fertilizante ((R\$ t⁻¹ ha⁻¹);

n – necessidade da cultura (kg ha⁻¹);

c – concentração do nutriente no fertilizante (decimal);

ef – eficiência do sistema de irrigação (decimal);

P_{fert} – Valor unitário do fertilizante ((R\$ t⁻¹).

3.3.1.2. Sementes

O custo da semente foi calculado pelo produto entre a quantidade necessária (kg ha⁻¹) e o preço comercial da semente (CONAB, 2010). A cultivar utilizada foi IAC301, arroz arbório. Para a quantidade de sementes, utilizou-se a quantidade de sementes de arroz encontrada no Agriannual 2022 (IHS Markit, 2022). A Tabela 8 apresenta valor e quantidade de semente de arroz arbório IAC301.

Tabela 8. Valor da semente de arroz do cultivar IAC301.

| Cultivar | Valor unitário (R\$ kg ⁻¹) | Quantidade (kg ha ⁻¹) |
|-------------------|--|-----------------------------------|
| IAC301 (genética) | 16,00 | 100 |

Fonte: IAC (2022).

3.3.1.3. Irrigação

Para compor o custo variável dos sistemas de irrigação calculou-se os custos anuais de energia (elétrica e diesel) no bombeamento de água quando pertinente, custo com água, mão-de-obra e manutenção.

ENERGIA

Em sistemas de irrigação, faz-se o uso de motores de bombas hidráulicas e dispositivos de deslocamento de sistemas mecanizados. Para o funcionamento destes instrumentos é necessário energia elétrica ou combustível (Marouelli & Silva, 2011). Neste trabalho, considerou-se ambos os consumos.

O consumo de energia elétrica para o bombeamento varia em função da potência necessária para a irrigação (Marouelli & Silva, 2011). Sendo assim, considerou-se um conjunto motobomba centrífuga, com potência de 1,5 cv. O consumo do conjunto motobomba (kWh) foi obtido pelo produto entre a conversão da potência de cv para kW e as horas necessárias para realizar a irrigação (Equação 2). De modo semelhante, o custo para o respectivo consumo do conjunto motobomba foi obtido por meio da multiplicação entre o preço da energia e o consumo de acordo com a modalidade tarifária (Equação 3) (CONAB, 2020).

$$\text{Consumo de energia (kWh)} = \text{Potência da máquina (cv)} \cdot 0,7355 \cdot \text{tempo da irrigação (h)} \quad (02)$$

$$\text{Custo de energia (R$. ha}^{-1}\text{)} = \text{consumo de energia (kWh)} \cdot \text{preço da energia (R$. kWh}^{-1}\text{)} \quad (03)$$

O custo com a energia elétrica depende dos preços praticados pela distribuidora de energia presente na região em que o sistema está inserido, do grupo (A ou B) de tensão e a modalidade tarifária adotada. Em Pirassununga-SP, cidade onde o experimento foi desenvolvido, a responsável pela distribuição de energia é a Elektro (Neoenergia Elektro, 2000). No presente estudo, o grupo B (opção B2 rural irrigante) foi escolhido devido melhor enquadramento ao conjunto motobomba proposto. Na Tabela 9 são apresentadas as modalidades tarifárias e respectivas tarifas do grupo escolhido.

Tabela 9. Tarifas para as modalidades tarifárias.

| Modalidade tarifária | Descrição | Tarifa (R\$/kWh) | Tarifa + Bandeira tarifária (R\$/kWh) | | | |
|----------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------------------|---------|------------|------------|
| | | | Verde | Amarela | Vermelha 1 | Vermelha 2 |
| Convencional | Consumo ativo | 0,54788 | 0,54788 | 0,56662 | 0,58759 | 0,64280 |
| | Consumo ativo Ponta | 1,08145 | * | * | * | * |
| Branca | Consumo ativo Intermediário | 0,69952 | * | * | * | * |
| | Consumo ativo Fora de Ponta | 0,46335 | * | * | * | * |

* não há bandeira tarifária para a modalidade no ano de 2023. Fonte: Adaptado de Neoenergia Elektro (2021b).

Para a região em análise, o posto tarifário ponta corresponde ao período de 3 horas diárias consecutivas compreendido entre 17h30 e 20h30. O posto tarifário intermediário abrange o período de duas horas diárias, sendo uma hora antes e uma hora após o horário de ponta, já o posto tarifário fora de ponta, compreende as horas diárias consecutivas e complementares às definidas pelos horários de ponta e intermediário (ANEEL, 2021).

Além dos postos e bandeiras tarifárias, também foi incluído ao cálculo do custo de energia com desconto para o consumidor irrigante. A Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021 regulamenta a redução de 60% (no estado de São Paulo, para o grupo B) nas tarifas aplicáveis ao consumo destinado às atividades de irrigação desenvolvidas em um período de 8 horas e 30 minutos diárias contínuas compreendidas entre 21h30 às 6h do dia seguinte (ANEEL, 2021; Neoenergia Elektro, 2021a).

Para o cálculo do custo de bombeamento por diesel, realizou-se a conversão de kWh $\text{mm}^{-1} \text{ha}^{-1}$ para litros de diesel $\text{mm}^{-1} \text{ha}^{-1}$ por meio da divisão pelo fator de conversão 3,2 (Marouelli & Silva, 2011) e multiplicou-se o valor encontrado pelo preço do litro do diesel.

ÁGUA

Na bacia hidrográfica onde o experimento foi desenvolvido (bacia do Mogi-Guaçu), não há cobrança pelo uso da água na irrigação, porém, para fins de pesquisa, a cobrança convencional na bacia do Mogi-Guaçu foi utilizada. Para fins de estudo e valorização do recurso natural, também se utilizou de dados de cobrança da bacia Paraíba do Sul. A região do Vale do Paraíba pertencente a bacia Paraíba do Sul, é a parte do Estado de São Paulo que concentra a maior área plantada de arroz e o maior percentual de cabeça de gado de leite, a exemplo tem-se Pindamonhangaba com 1.128,00 ha e 1,65% (2º lugar em bovinocultura de leite do estado),

respectivamente (São Paulo, 2019). Desta forma, o reúso de efluentes da indústria de produtos lácteos como fonte de irrigação no cultivo do arroz, passa a ter uma oportunidade real, superando com mais facilidade a questão de logística da disponibilidade dos efluentes nos campos de cultivo.

A cobrança convencional pelo uso da água na bacia do Mogi-Guaçu e respectivos cálculos são apresentados na Tabela 10 e equações 4 a 6.

Tabela 10. Cobrança convencional pelo uso da água na Bacia do Mogi-Guaçu.

| Tipo de uso | Preço unitário básico | Unidade | Valor |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------------|-------|
| Captação de água bruta | PUBcap | R\$ m ⁻³ | 0,01 |
| Consumo de água captada não devolvida | PUBcons | R\$ m ⁻³ | 0,02 |

PUBcap – Preço Unitário Básico para captação superficial; PUBcons: Preço Unitário Básico para o consumo de água

Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Do Rio Mogi Guaçu [CBH Mogi] (2010).

O custo de água na bacia do Mogi-Guaçu é dado pela equação 4.

$$\text{Valor total água} = V_{cc} + V_{cc_o} \quad (04)$$

Em que:

V_{cc} – valor de cobrança para captação

V_{cc_o} – valor de cobrança de consumo

A equação 5 expressa o cálculo da cobrança para captação (V_{cc}) na bacia do rio Mogi-Guaçu.

$$V_{cc} = V_{cap} \cdot PUF_{cap} \quad (05)$$

Sendo:

V_{cap} – volume captado

PUF_{cap} – Preço Unitário Final para volume captado (que é determinado pela multiplicação entre ponderadores e o PUBcap (Preço Unitário Básico para volume captado))

Dentre os ponderadores para captação de água adotou-se a natureza do corpo d'água como sendo “superficial” e “classe 3”, disponibilidade hídrica “média” e categoria “com medição” no item volume captado, extraído ou derivado e seu regime de variação. A partir da escolha dos ponderadores obteve-se PUF_{cap} igual a 0,0081.

O cálculo do valor da cobrança para consumo (V_{cc_o}) na bacia do rio Mogi-Guaçu é dado pela equação 6.

$$V_{cc_o} = V_{cons} \cdot PUF_{cons} \quad (06)$$

Sendo:

V_{cons} – volume consumido

PUF_{cons} – Preço Unitário Final para o consumido (que é determinado pela multiplicação entre ponderadores e o PUB_{cons} (Preço Unitário Básico para consumido))

No presente trabalho PUF_{cons} foi considerado como sendo 0,02 e a multiplicação entre ponderadores resultou em “1”. Além disso, V_{cc_o} foi multiplicado pela eficiência de cada sistema de irrigação.

Já os cálculos e valores cobrados na bacia do Paraíba so Sul são expressos na Tabela 11 e equações 7 a 9.

Tabela 11. Cobrança pelo uso da água na Bacia do Paraíba do Sul.

| Tipo de uso | Preço unitário básico | Unidade | Valor |
|------------------------|-----------------------|---------------------|--------|
| Captação de água bruta | PPUcap | R\$ m ⁻³ | 0,0218 |
| Consumo de água bruta | PPUcons | R\$ m ⁻³ | 0,0436 |

PPUcap – Preço Público Unitário para captação superficial; PPUcons: Preço Público Unitário para o consumo de água

Fonte: Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul [CEIVAP] (2019).

O custo da água na bacia do Paraíba do Sul (Equação 07) foi calculado pela multiplicação entre o coeficiente agropecuário para o cultivo do arroz (0,05) e o somatório do valor correspondente ao volume de água captado (Equação 08) e consumido (Equação 09) (Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul [CEIVAP], 2014). No presente estudo foi considerado corpo d'água classe 3 cujo coeficiente é igual a 0,8. O $K_{consumo}$ corresponde a tecnologia de irrigação, porém para a cultura do arroz, particularmente, utiliza-se o valor igual a 0,04 (CEIVAP, 2014).

$$\text{Valor Agropec} = (\text{Valor cap} + \text{Valor cons}) \cdot K \text{ Agropec} \quad (07)$$

Sendo:

Valor Agropec – custo total com água (R\$ ano⁻¹);

Valor cap – pagamento anual pela captação de água, em R\$ ano⁻¹;

Valor cons – pagamento anual pelo consumo de água R\$ ano⁻¹;

K Agropec – coeficiente agropecuário que leva em conta a tecnologia de irrigação ou, em específico, o cultivo do arroz.

$$\text{Valor cap} = Q_{\text{cap}} \cdot \text{PPU}_{\text{cap}} \cdot K_{\text{cap classe}} \quad (08)$$

Sendo:

Valor cap – pagamento anual pela captação de água, em R\$ ano⁻¹;

Q_{cap out} – volume anual de água captado, em m³ ano⁻¹, segundo valores da outorga ou verificados pelo organismo outorgante, em processo de regularização;

PPU_{cap} – preço público unitário para captação superficial, em R\$ m⁻³;

K_{cap classe} – coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo d'água no qual se faz a captação.

$$\text{Valor cons} = Q_{\text{cap}} \cdot \text{PPU}_{\text{cons}} \cdot K_{\text{consumo}} \quad (09)$$

Sendo:

Valor cons – pagamento anual pelo consumo de água R\$ ano⁻¹;

Q_{cap} – volume anual de água captado, em m³ ano⁻¹, igual a Q_{capmed} ou igual a Q_{capout}, se não existir medição, ou valor verificado pelo organismo outorgante em processo de regularização de usos;

PPU_{cons} – preço público unitário para o consumo de água, R\$ m⁻³;

K_{consumo} – coeficiente que leva em conta a parte da água utilizada na irrigação que não retorna aos corpos d'água.

MÃO DE OBRA

Para o cálculo da mão de obra na irrigação (Equação 10), adotou-se como sendo o tipo de contratação o trabalho temporário, em que o trabalhador realiza atividades eventualmente – diarista (CONAB, 2010). O modelo de contratação é o que melhor se adequa ao cenário de irrigação por gotejamento desenvolvido neste estudo, visto que poucas são as horas necessárias para realizar a irrigação.

$$C_{\text{mo}} = \left(\frac{150 \cdot m}{8} \right) \cdot 73 \quad (10)$$

Sendo:

m – coeficiente de mão de obra (horas trabalhadas ha⁻¹ irrigado⁻¹) em que se tem 0,2 para gotejamento e 0,7 para inundação (Marouelli & Silva, 2011);

A constante 150 corresponde ao valor máximo salarial encontrado para diarista (R\$ h⁻¹) (Instituto de Economia Agrícola [IEA], 2022), já o valor 73 consiste no número de dias em que se fez uso da irrigação no experimento com gotejamento (a mesma quantidade de dias foi adotada para sistema de inundação) e a constante 8 faz referência à uma jornada de 8 horas trabalhadas para recebimento do salário completo.

MANUTENÇÃO

O custo de manutenção abrange despesas necessárias para manter o perfeito funcionamento do sistema, considerando a troca de peças, até maiores reparos. Na ausência de dados locais disponíveis, o custo com manutenção pode ser obtido por meio da fração do custo inicial de compra do sistema (Equação 11) (Marques, 2005; Maourelli & Silva, 2011). No presente trabalho considerou-se as taxas de manutenção como sendo 6 % a.a. e 13% a.a. para gotejamento e inundação¹, respectivamente (Maourelli & Silva, 2011).

$$C_{man} = \frac{\text{Custo inicial (R\$ ha}^{-1}) \cdot T_m (\%)}{100} \quad (11)$$

Sendo:

C_{man} – custo de manutenção;

Custo inicial – custo inicial do sistema/equipamento

T_m – taxa de manutenção.

3.3.2. Custo fixo anual da irrigação

Sendo o custo fixo aquele que não altera com variações na quantidade produzida (Vieira et al., 2011; Oliveira et al., 2010; Marques, 2005), buscou-se na literatura dados referentes à preço de aquisição de sistema de irrigação para inundação e gotejamento, vida útil de equipamento e taxa de juros presentes na Tabela 12.

¹ Frizzone, J. A. **Irrigação por inundação**: taxa de manutenção. Comunicação pessoal recebida por Patrícia Marques em 25 ago 2022.

Tabela 12. Custo de implantação, vida útil e taxa de juros do sistema de irrigação por gotejamento e inundação.

| Sistema | CI (R\$ ha ⁻¹) | CI _{médio} (R\$ ha ⁻¹) | VU (anos) | j (% a.a.) |
|------------------------|--------------------------------------|--|--------------|---------------|
| Inundação ² | 4.430,67 – 10.338,23 ^(*) | 7.384,45 | 15 | 10,5 |
| Gotejamento | 20.676,45 – 53.168,02 ^(*) | 36.922,23 | 15 | 10,5 |

CI = Custo inicial de implantação do sistema de irrigação; VU = Vida útil o sistema de irrigação; j = Taxa de juros. ^(*) Dado obtido considerando a cotação do dólar em 2010 igual a US\$1,77 convertido para a cotação de 2021 com dólar igual a US\$5,25. Fonte: adaptado de Marouelli e Silva (2011); Banco Central do Brasil (2022); Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2023); informação pessoal.

Para cálculo do custo fixo utilizou-se a Equação 12 na qual tem-se o Fator de Recuperação de Capital (Equação 13), tal fator considera encargos de juros sobre o capital investido, infere uma reserva de capital afim de repor o bem ao longo da vida útil (Marques, 2005) e valor médio de custo inicial de implantação dos sistemas de irrigação foi utilizado no cálculo de custo fixo. No presente trabalho, considerou-se o valor residual dos sistemas de irrigação igual a zero, ou seja, não possui preço de venda, portanto, não foi considerado no cálculo do custo fixo.

$$CF_a = FRC \cdot PS \quad (12)$$

Sendo:

CF_a – custo fixo anual da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹)

PS – preço de aquisição e instalação do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹)

$$FRC = \frac{i \cdot (i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (13)$$

Sendo:

FRC – fator de recuperação de capital (decimal);

i – taxa de juros ao ano (decimal);

n – vida útil do equipamento.

² Frizzone, J. A. **Irrigação por inundação:** Vida útil. Comunicação pessoal recebida por Patrícia Marques em 25 ago 2022.

3.3.3. Benefício líquido anual da irrigação (BL)

O benefício líquido anual da irrigação (BL) consiste no cálculo da diferença entre a receita líquida com irrigação e a receita líquida sem irrigação (Equação 14), ou seja, o investimento da irrigação gerado por custos adicionais inerentes ao sistema deve ser pago pelo incremento de produtividade proporcionado pela própria irrigação. Com isso, o benefício líquido anual assume valor superior a zero apenas quando o incremento de renda bruta devido à irrigação for superior aos custos da irrigação (Marques, 2005).

$$BL = (Y_i \cdot P_p - CT) \quad (14)$$

Sendo:

BL – benefício líquido anual da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

Y_i – produtividade com irrigação (kg ha⁻¹ ano⁻¹);

P_p – preço de venda do produto pago ao produtor (R\$ kg⁻¹);

CT – custo total anual (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹)

3.3.4. Relação benefício/custo

A relação benefício/custo (B/C) compreende a razão entre benefícios anuais e custos anuais (Equação 15), esta relação é capaz de avaliar quanto o projeto remunera por unidade de investimento. Para ser viável, o projeto deve expressar B/C maior que 1. Neste sentido, a obtenção de alta relação B/C torna o projeto mais atraente (Marques, 2005; Barbosa, 2015).

$$B/C = \frac{B_i}{C_i} \quad (15)$$

onde:

B/C – relação benefício/custo;

B_i – benefício bruto anual da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

C_i – acréscimo no custo anual promovido pelo uso da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados e discussão da análise econômica da utilização da técnica do reúso da água, pela utilização de efluente tratado de laticínio como fonte de irrigação em sistema de gotejamento subsuperficial, na produção do arroz do tipo especial (arbório).

4.1. Preço do arroz

O levantamento de preços de arroz arbório e agulhinha, praticados em mercados nas cidades de Pirassununga-SP e Piracicaba-SP em 2023, é apresentado na Tabela 13. Embora, ambos os tipos não sejam substitutos perfeitos entre si, o estudo de preços de varejo foi fundamental para a estimativa de preço pago ao produtor pelo arroz arbório.

Tabela 13. Preços de varejo, praticados no ano de 2023, para arroz produzido no Brasil, referente a quantidade de 1kg.

| Cidade | Tipo | Preço (R\$.kg ⁻¹) |
|--------------|-----------|-------------------------------|
| Piracicaba | Agulhinha | 6,99 |
| Piracicaba | Arbório | 18,99 |
| Piracicaba | Agulhinha | 7,09 |
| Piracicaba | Agulhinha | 5,15 |
| Piracicaba | Agulhinha | 5,15 |
| Piracicaba | Arbório | 18,29 |
| Piracicaba | Arbório | 29,98 |
| Piracicaba | Agulhinha | 8,99 |
| Pirassununga | Agulhinha | 6,49 |
| Pirassununga | Agulhinha | 6,69 |
| Pirassununga | Agulhinha | 7,48 |
| Pirassununga | Agulhinha | 6,69 |
| Pirassununga | Agulhinha | 5,89 |
| Pirassununga | Agulhinha | 6,99 |

Fonte: Própria autoria.

Na Tabela 14 tem-se os preços médio de varejo dos arrozes.

Tabela 14. Preço médio do quilo do arroz no varejo, por tipo, praticados no ano de 2023.

| Tipo | Preço médio (R\$ kg ⁻¹) |
|-----------|-------------------------------------|
| Agulhinha | 6,69 ± 1,08 |
| Arbório | 22,42 ± 6,56 |

Fonte: Própria autoria.

Os dados dos preços praticados confirmam o valor agregado praticado na comercialização do arroz arbório. Na Tabela 15 é expressa a razão entre arroz agulhinha e arroz arbório e o preço pago ao produtor estimado para o arroz arbório com base na média histórica de preço encontrada para o arroz agulhinha que foi de R\$ 1,30 kg⁻¹.

Tabela 15. Média da razão entre preço de varejo do arroz arbório e agulhinha e respectivo preço pago ao produtor estimado para arroz arbório

| | |
|--|------|
| Razão arbório e agulhinha | 3,43 |
| Preço pago ao produtor (R\$ kg ⁻¹) | 4,46 |

Fonte: Própria autoria.

A relação de preços encontrada para os tipos de arroz (Tabela 15) é condizente com as informações contidas em APTA (2014), as quais citam valores superiores à 200%, quando comparado o arroz agulhinha com o arroz arbório. Além disso, a dificuldade em se encontrar o preço pago ao produtor pelo arroz especial, confere a isto uma informação estratégica, que em conjunto com a diferenciação, o nicho de mercado e a vocação regional, somam vantagens competitivas ao produtor.

O preço pago ao produtor confere competitividade, pois está diretamente relacionado ao custo de produção. Quanto menor o custo total, maior a possibilidade de negociar o preço do produto e aumentar a margem de lucro em momentos de alta de preços (Coutinho & Chaves, 2009).

4.2. Custo de produção

A seguir são apresentados os custos variáveis e fixos envolvidos na produção do arroz irrigado, modelado a partir das condições experimentais da pesquisa, em comparação com o cultivo tradicional sob irrigação por inundação.

4.2.1. Custo variável

FERTILIZANTE

Os custos com fertilizantes, nas condições do estudo, são apresentados na Figura 8. Verifica-se que os valores praticados no plantio são semelhantes entre os tratamentos com gotejamento (T1 a T10), sendo que estes ficaram menores, em relação ao custo da adubação de

plântio para o cultivo com inundação (T11). Isso ocorre devido a eficiência de aplicação do sistema de irrigação que afeta diretamente a quantidade a ser aplicada não só de água, mas também de agroquímicos. Resultado semelhante foi descrito no trabalho de Sidhu et al. (2019) em que ao comparar irrigação por gotejamento e inundação no cultivo de arroz e trigo, os autores obtiveram economia de 40 a 50% de água e redução em 20% no uso de fertilizantes no gotejamento.

Na aplicação de cobertura apenas os tratamentos sem efluente (T1, T2 e T11) receberam fertilizante e com isto o custo com fertilizante destes tratamentos foi, em média, 2 vezes superior aos que receberam efluente, independente da dose (Figura 8).

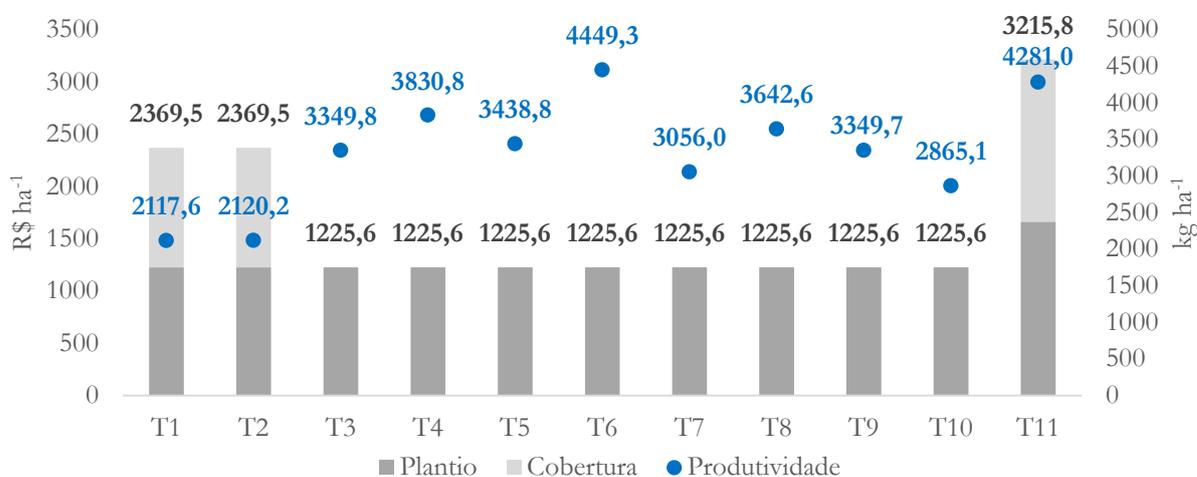


Figura 8. Custo total com fertilizantes considerando aplicação no plantio e em cobertura (R\$ ha⁻¹) e produtividade de grãos de arroz, frente aos tratamentos (kg ha⁻¹).

Médias de produtividade seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Tukey de $p < 0,05$. T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Ao analisar os custos com fertilizantes, considerando a produtividade da cultura, foi observado que T6 (umidade de saturação: 50% água e 50% efluente) apresentou a maior produtividade de grãos, sem demandar recursos para aquisição de fertilizantes, durante o cultivo. Em comparação com doses maiores de efluente, na mesma umidade do solo (T8 e T10), a produtividade decresceu, devido ao aumento da salinidade contida nesta água residuária (Tabela 5). Estes resultados corroboram com Kaur, Sharma e Kirpalani (2018), em que a concentração de 50% de efluente de laticínio também foi benéfica para o desenvolvimento da cultura do arroz e proporcionou economia de fertilizante. No mesmo trabalho, concentrações mais elevadas do efluente incorreram em baixo desenvolvimento agrônômico. Na mesma linha

de pesquisa, mas com efluente salino de piscicultura, Andrade, Sousa, Morais e Albuquerque (2023) verificaram que as doses medianas garantiram boas produtividades.

Os tratamentos T3, T4, T5, T7, T8, T9 e T10 também apresentaram custo reduzido em termos de fertilizantes, contudo a produtividade de grãos foi inferior quando comparados ao T6, esse mesmo tratamento, foi superior ao cultivo tradicional de arroz por inundação (T11).

Os tratamentos com umidade do solo na saturação e concentrações intermediárias de efluente 25%, 50% e 75%, T4, T6 e T8, respectivamente, de forma geral, entregaram boas produtividades, supriram as necessidades da cultura em termos de água e nutrientes (advindos do efluente de laticínio tratado).

Estudos acerca da produção de arroz reforçam o conceito, que na produção da cultura, fatores como potencial genético das cultivares, o manejo do solo, da água, os tratos culturais e as condições edafoclimáticas da região, inferem no potencial produtivo (Scivittaro, 2021).

SEMENTES

Os custos e os comparativos das sementes de arroz estão apresentados na Tabela 16. A semente do arroz tipo especial possui valor 4 vezes maior que o preço da semente do arroz agulhinha. Este valor é atribuído ao melhoramento genético desenvolvido, assim como a dificuldade de propagação. Embora as sementes de arroz arbório necessitem de maior investimento quando comparadas ao arroz agulhinha, ao final do ciclo de cultivo o produto gerado também terá maior valor agregado.

Quando avaliado o custo das sementes para a produção do arroz do tipo especial, este representou 11,5% do custo total de produção dos tratamentos adotados (Tabela 16).

Tabela 16. Preço de semente do arroz arbório e agulhinha.

| Cultivar | Valor unitário (R\$ kg ⁻¹) | Quantidade (kg) | Preço (R\$ ha ⁻¹) |
|-------------------|--|-----------------|-------------------------------|
| IAC301 (genética) | 16,00 | 100 | 1.600,00 |
| Agulhinha | 3,89 | 100 | 389,00 |

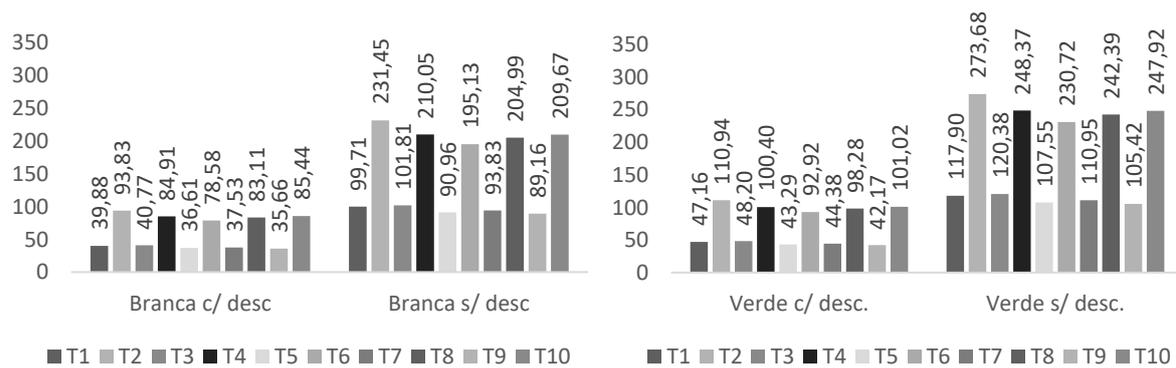
Mesmo que a participação da semente de arroz arbório no custo total seja expressiva, os ganhos gerados a partir do potencial de mercado, aliado a fatores como sistema de plantio e tecnologias para manejo da cultura, acabam sendo capazes de amortizar o investimento (CONAB, 2016). Em estudo realizado por Rolão, Rosa e Figueiredo Neto (2018), os autores sugerem o uso de cultivares mais rentáveis para incrementos nos ganhos.

IRRIGAÇÃO

O custo variável da irrigação é composto pelo custo para pressurização do sistema (bombeamento), cuja fonte pode ser energia elétrica ou combustível diesel, custo com água, mão de obra e manutenção. Os custos com energia elétrica e diesel são apresentados na Figura 9 (A, B, C, D, E e F), assim como o custo com água na Figura 10. Já os custos com mão-de-obra e manutenção estão contidos na Tabela 17.

Em termos do custo para bombeamento de água (Figura 9), ficou evidente o comportamento dos tratamentos adotados frente as fontes de energia analisadas (elétrica com respectivas tarifas e à diesel). Todos responderam de modo semelhante, dentro de cada umidade do solo estabelecida como manejo (CC e SAT), tratamentos que utilizaram menos água (CC: T1, T3, T5, T7 e T9) resultaram em menor tempo de bombeamento e, conseqüentemente, menor custo com energia, dentre estes o T9 foi o mais econômico. Já nos tratamentos com umidade na saturação (T2, T4, T6, T8 e T10), T6 foi o mais eficiente em consumo de energia.

Em todos os cenários analisados, a condição do cultivo do arroz sob irrigação por inundação (T11) resultou em custo zero de bombeamento, pois considerou-se o escoamento da água por gravidade, ou seja, sem demanda por energia.



A

B

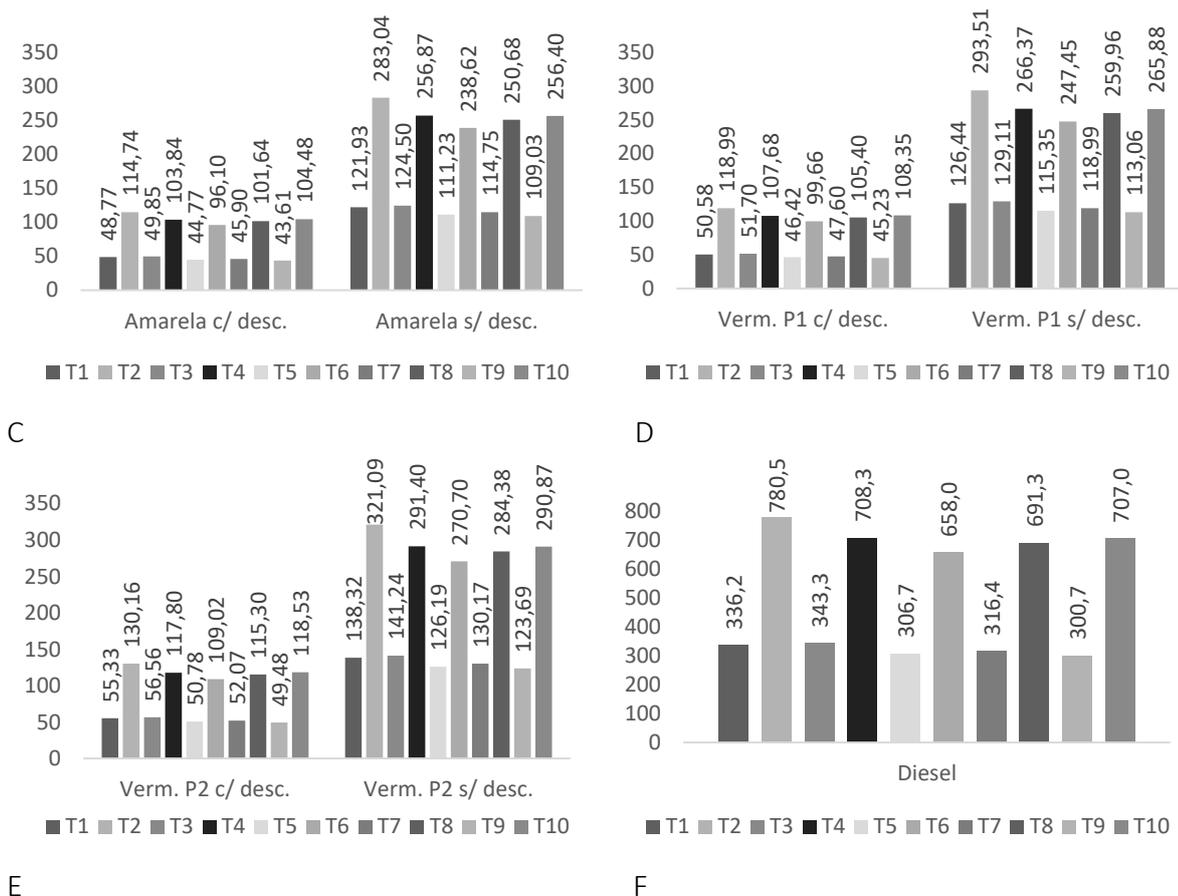


Figura 9. Custo com energia elétrica em diferentes cenários (A: branca; B: verde; C: amarela; D: vermelha P1; E: vermelha P2) e diesel (F) em função do tratamento adotado.

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=0% A e 100% E, SAT.

Para os casos em que a energia elétrica é utilizada, verifica-se que optar pela modalidade branca com desconto para irrigante é a melhor opção, pois confere economia no cultivo dos grãos. A modalidade tarifária horário branca, caracteriza-se por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia (ANEEL, 2021).

Analisando as fontes de energia elétrica e diesel, evidencia-se que o uso de diesel torna o custo de produção mais caro e, talvez, possa inviabilizar a irrigação por gotejamento no arroz.

Com relação ao custo com água, a bacia Paraíba do Sul, apresentou custo inferior ao simulado para a bacia Mogi Guaçu (Figura 10). Tal fato é decorrente da cobrança pelo uso da água bem consolidada e praticada pela bacia do Paraíba do Sul. A política de cobrança permite o uso racional do recurso e o desenvolvimento sustentável da agricultura, nela a cultura do arroz (por consumir um alto volume de água) e a irrigação por gotejamento (método de irrigação responsável por economia no consumo de água), possuem descontos na cobrança e isso faz com que o custo seja inferior (CEIVAP, 2014).

O desconto decorrente do sistema de irrigação fica evidente na comparação entre T2 e T11 nas bacias do Mogi Guaçu e do Paraíba do Sul. Na primeira bacia em que se simulou não existe diferença de cobrança para os métodos de irrigação, tem-se que o custo em T2 é 40% superior ao de T11. Já para a bacia Paraíba do Sul, analisando os mesmos tratamentos, o custo em T2 é 3,6% inferior ao T11.

A cobrança pelo uso da água configura um instrumento que não só democratiza o uso da água, mas também estabelece padrões de consumo do recurso natural (Schneider, 2022). É notável, no presente estudo, a importância de uma política consolidada para a cobrança da água, visto que, há benefício/incentivo para sistemas que realizam uso eficiente da água.

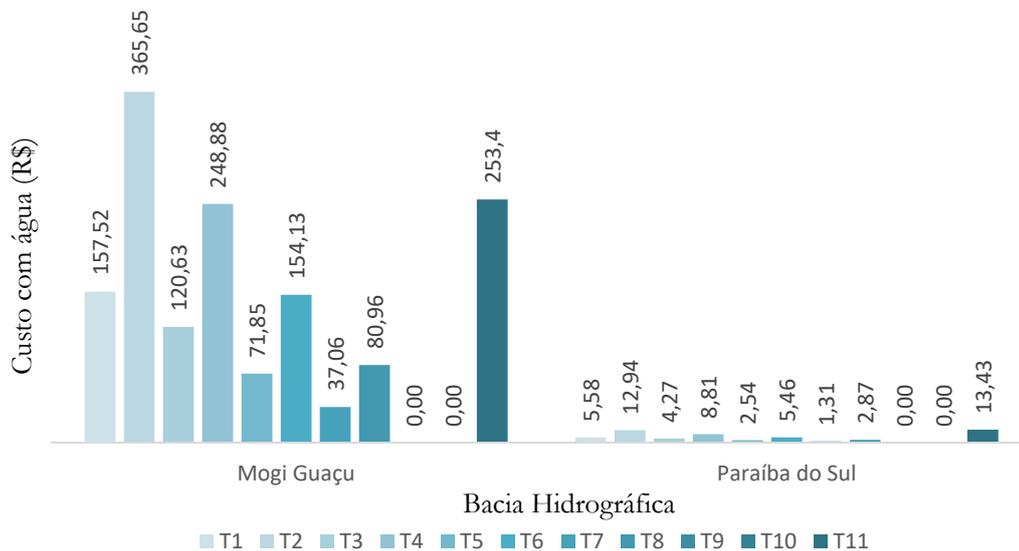


Figura 10. Custo com água por tratamento, considerando os valores de cobrança operados pelas bacias do Mogi Guaçu e do Paraíba do Sul.

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Os tratamentos com umidade na saturação, assim como esperado, foram responsáveis pelos maiores custos. De modo geral, em ambas as bacias o custo com água foi gradualmente inferior com o aumento da concentração de efluente, isso devido a substituição de água de boa qualidade (água paga) pelo efluente tratado de laticínio.

Despesas com mão de obra e manutenção do sistema de irrigação são expressas na Tabela 17. A partir dela, é possível observar que com irrigação por gotejamento (T1 à T10) há um ganho em termos de mão de obra. Contudo, a manutenção do mesmo sistema é duas vezes mais cara, que o método por inundação (T11).

Tabela 17. Custo com mão de obra e manutenção do sistema de irrigação por tratamento

| Tratamento | Mão de obra (R\$ ha ⁻¹) | Manutenção (R\$ ha ⁻¹) |
|---|--|---------------------------------------|
| T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10 – gotejamento | 273,75 | 2.215,33 |
| T11 – inundação | 958,12 | 959,98 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

4.2.2. Custo fixo

O custo fixo calculado para os sistemas de irrigação por gotejamento (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10) e inundação (T11) são expressos na Tabela 18.

Tabela 18. Custo fixo sistema de irrigação por gotejamento (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10) e inundação (T11)

| Tratamento | Custo fixo (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) |
|-------------|---|
| Gotejamento | 4.993,66 |
| Inundação | 998,73 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

A irrigação por gotejamento proporciona muitos benefícios ao cultivo, contudo sua implementação é mais dispendiosa quando comparada a outros métodos. Na Tabela 18 fica evidente o custo fixo elevado do método por gotejamento, que é 5 vezes o valor do inundado.

Os resultados encontrados corroboram com achados em outras pesquisas acerca da viabilidade econômica da irrigação por gotejamento em que o sistema de irrigação se apresenta viável, mas tem como ponto de cautela o investimento inicial elevado (Ali, Xia, Jia, & Faisal, 2020; Martins, Carlesso, Petry, & Rodrigues, 2016; Duarte, 2014). No estudo de Martins et al. (2016) com irrigação deficitária no Milho irrigado por gotejamento, o custo fixo anual do sistema de irrigação e o preço de comercialização do milho foram os fatores que mais afetaram a lucratividade do sistema de irrigação.

4.3. Análise econômica

4.3.1. Benefício líquido anual da irrigação

Os benefícios líquidos anuais da irrigação para os diferentes cenários avaliados (fontes e tarifas de energia e pagamento pelo uso da água por bacia hidrográfica) não resultaram em diferenças de valores. Deste modo, apenas os custos encontrados para água advinda da bacia Paraíba do Sul e bombeamento realizado por motor à diesel e elétrico sob tarifa branca de energia com desconto para irrigante são apresentados. Os demais resultados, podem ser consultados no Apêndice A.

A Tabela 19 apresenta os dados de benefício líquido anual da irrigação (BL) na bacia Paraíba do Sul com energia elétrica sob tarifa branca. Enquanto, a Tabela 20 mostra os dados do BL com motor à diesel.

Em todos os cenários foi observado maior benefício adquirido com T11 (cultivo tradicional por inundação com 100% água). Tal fato, é atribuído a maior receita, que advém do produto entre preço pago ao produtor e produtividade dos grãos. Quanto maior a produtividade de grãos aliada ao baixo custo de produção, maior será a receita e, conseqüentemente, maior BL.

Tabela 19. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados (utilizando motor elétrico sob tarifa branca com desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul).

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 14.953,39 | 15.015,26 | 14.083,52 | 14.235,31 | 14.096,70 | 14.358,20 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.511,02 | -5.561,25 | 853,20 | 2.846,14 | 1.236,73 | 5.481,01 |
| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | |
| Custo total | 14.014,34 | 14.187,22 | 14.074,13 | 14.020,02 | 12.392,10 | |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 | |
| Benefício líquido | -387,82 | 2.054,95 | 862,36 | -1.244,54 | 6.696,88 | |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Embora a maioria dos cenários com irrigação por gotejamento não tenham alcançado benefícios líquidos superiores ao T11, o T6 obteve benefício líquido muito próximo do T11 (diferença inferior a R\$1.300,00), o que pode indicar um substituto do cultivo tradicional de arroz em cenários de escassez de água. Vale destacar que dentre os tratamentos irrigados por

gotejamento, com exceção de T10, os demais manejados com umidade do solo na saturação, obtiveram resultados superiores ao tratamento similar manejado na capacidade de campo.

No presente estudo, prejuízos foram obtidos pelos tratamentos controle que não receberam nenhuma porcentagem de efluente tratado de laticínio. Tal fato evidencia a contribuição do efluente no desenvolvimento e produtividade do cultivo.

Ao verificar o benefício anual da irrigação com bombeamento de água por motor à diesel (Tabela 20), observa-se o mesmo comportamento ocorrido no uso de energia elétrica, porém com BL menores. Isso ocorre devido maior custo de bombeamento promovido pelo uso de diesel (Oliveira & Zocoler, 2010).

Novamente, T1, T2, T7 e T10 apresentam valores negativos, fato este que evidencia que excesso ou escassez de efluente incorrem em prejuízos à produção.

Tabela 20. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados (utilizando motor à diesel e água advinda da bacia Paraíba do Sul).

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.249,74 | 15.694,56 | 14.386,07 | 14.858,72 | 14.366,82 | 14.937,62 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.807,36 | -6.240,55 | 550,64 | 2.222,73 | 966,61 | 4.901,56 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.293,23 | 14.795,37 | 14.339,13 | 14.641,62 | 12.392,10 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -666,70 | 1.446,80 | 597,36 | -1.866,14 | 6.696,88 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

De modo geral, os tratamentos de gotejamento sem efluente (T1 e T2) obtiveram os piores resultados decorrente de menor produtividade. O uso do efluente proporcionou ganhos de produtividade e economia de fertilizantes químicos. Com isso, reduziu custos e aumentou ganhos.

Resultado semelhante foi encontrado por Nogueira et al. (2013) em que o uso de efluente esgoto tratado possibilitou economia de 33% em fertilizantes nitrogenados e melhorou a qualidade do capim *tifton*. Vale salientar que o reúso na agricultura proporciona não só economia em termos monetários, mas também ambientalmente, por meio da economia circular (Chen et al., 2021).

4.3.2. Relação benefício/custo

As relações benefício/custo (B/C) calculadas nesta pesquisa estão apresentadas nas Figuras 11 e 12.

Assim como, o BL a relação B/C apresentou comportamento semelhante frente aos cenários avaliados. Em todos os cenários analisados os tratamentos 100% água irrigados por gotejamento (T1 e T2) resultaram em valores inferiores a uma unidade indicando inviabilidade do projeto.

Quando os valores das relações B/C são superiores a 1, o projeto apresenta viabilidade econômica. Na Figura 11 foi observado maior viabilidade entre os tratamentos, para a condição de irrigação tradicional por inundação (T11), porém o T6 composto de 50% de efluente na umidade de saturação mostrou resultados satisfatório, bem como T3, T4, T5, T8 e T9 que também indicam viabilidade econômica. Mesmo com o preço do diesel elevando o custo de produção, este insumo não impactou severamente o indicador B/C.

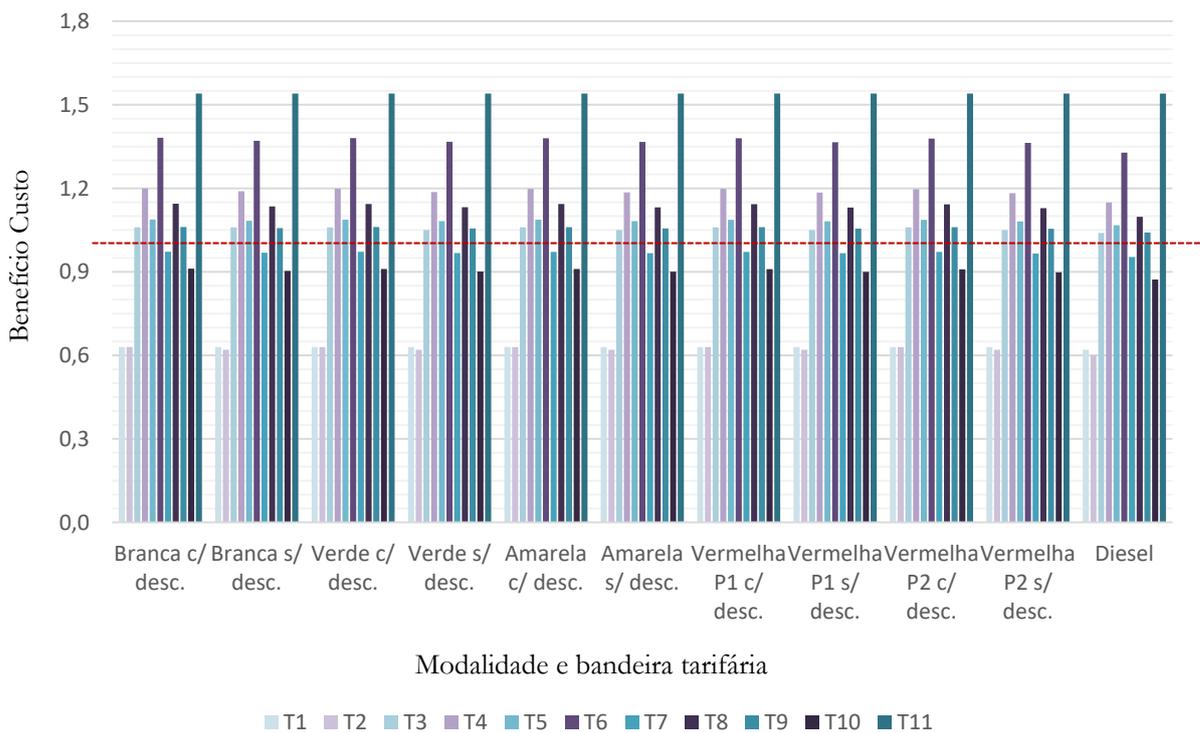


Figura 11. Valores da relação Benefício/Custo considerando água advinda da bacia Paraíba do Sul. T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Ao comparar o B/C entre as bacias hidrográficas do Paraíba do Sul e Mogi Guaçu (Figuras 11 e 12), os maiores valores ficaram próximos de 1,54, sem influência do custo da água, seguindo o mesmo padrão, nas diferentes tarifas de energia. O tratamento com irrigação por inundação (1,54) apresentou maior viabilidade de projeto frente aos demais, seguido por T6 (1,38).

Os resultados corroboram com o indicativo de viabilidade de investimento em concentrações medianas de efluente de laticínio aliadas ao gotejamento. Na Figura 12 a informação se repete, os mesmos quatro tratamentos (T1, T2, T7 e T10) ficaram abaixo do indicador de viabilidade.

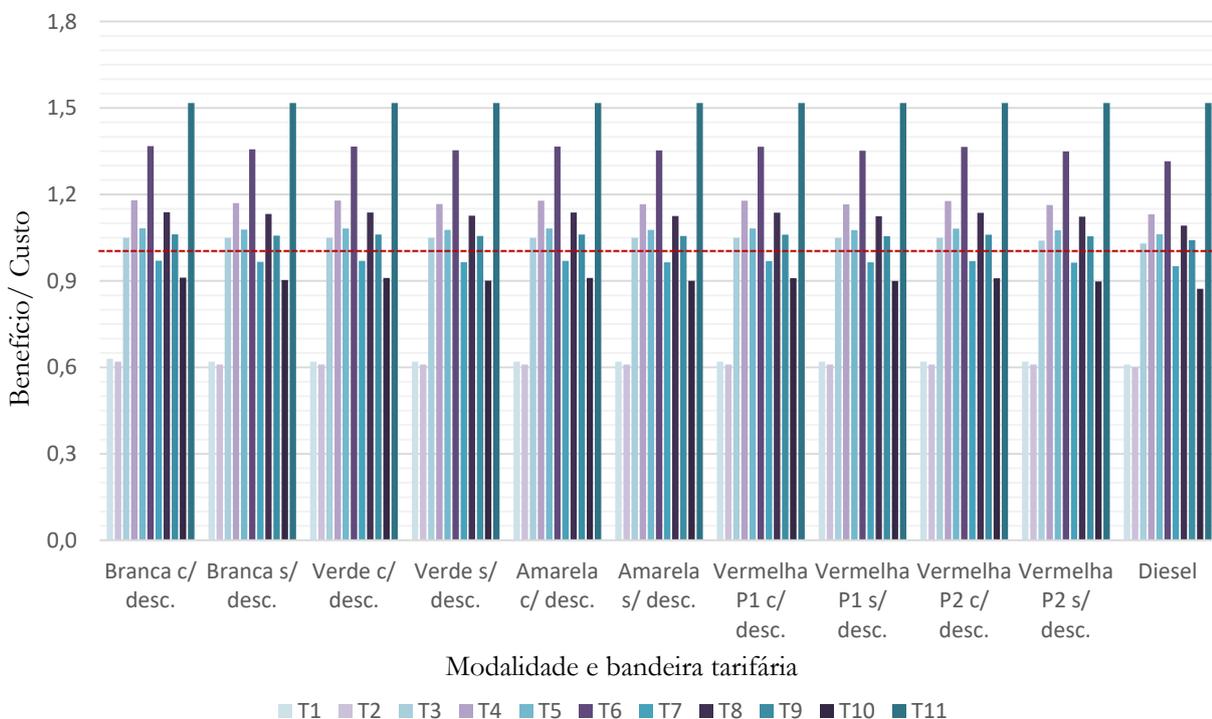


Figura 12. Valores da relação Benefício/Custo considerando água advinda da bacia Mogi Guaçu. T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

O arroz é uma cultura que se beneficia por teores elevados de água no solo (Nakhjiri et al., 2021), a oportunidade de se fazer o reúso da água, com águas residuárias da agroindústria, possibilita a circularidade de insumos (água e nutrientes) com redução dos custos de produção. A circularidade para fins de irrigação promove o desenvolvimento sustentável, uma vez que, reduz a pressão nos corpos d'água, permite a ciclagem de nutrientes e destinação adequada da água não-convencional.

Quanto as diferentes tarifas e fontes de energia é possível avaliar, por meio da relação B/C, que há pouca variação na relação B/C entre um tratamento e outro em termos de tarifa de energia elétrica. Contudo, ao comparar o benefício/custo entre fontes de energia, tem-se que o diesel onera mais que energia elétrica em todos os tratamentos e cenários avaliados.

Ainda assim, em regiões em que não é viável a energia elétrica, há possibilidade de se utilizar motor à diesel e garantir viabilidade de projeto com gotejamento e efluente.

5. CONCLUSÃO

Vale destacar que a disposição do sistema de irrigação adotado na experimentação à campo, não corresponde aos sistemas comerciais. Adaptações foram realizadas para maior fidelidade possível, no entanto, por ser um ambiente experimental controlado, divergências são prováveis.

Ademais, dados na literatura científica e de mercado acerca do arroz arbóreo e da irrigação por gotejamento no arroz são escassos e induzem a aproximações e extrapolações que podem não corresponder a realidade do cenário em que o estudo é desenvolvido.

No mais, por meio da relação benefício/custo foi possível realizar a análise econômica do cultivo de arroz arbóreo irrigado por gotejamento comparado com o sistema de inundação, considerando para o método localizado, diferentes proporções de efluente de laticínio, em substituição a água.

Em todos os cenários foi observado maior benefício adquirido com T11 (cultivo tradicional por inundação com 100% água). O sistema convencional (inundação com água potável) apresentou o melhor resultado, quanto a viabilidade econômica. Contudo, a pesquisa mostrou que a irrigação do cultivo do arroz arbóreo por gotejamento com efluente tratado de laticínio na concentração de 50% e o manejo da umidade do solo na saturação, proporcionou o maior valor de produtividade de grãos e viabilidade econômica, podendo a vir contribuir e incentivar uma agricultura sustentável em cenários de escassez.

As proporções de substituição de água por efluente de laticínio apresentaram resultados econômicos satisfatórios em concentrações intermediárias (25%, 50% e 75%) aliadas a umidade do solo na saturação. Deste modo, tem-se reaproveitamento do efluente, economia de água e fertilizantes, produtividade aceitável de grãos e bons rendimentos em termos econômicos.

O custo de energia para bombeamento de água apresentou maior impacto na análise econômica do projeto ao se comparar entre as fontes (elétrica e à diesel). O diesel onerou mais os custos, porém em locais onde há limitações de acesso à rede elétrica, o bombeamento de água e efluente pode ser realizado por motor à diesel que, ainda assim, em menor proporção, será viável.

A produtividade mostrou ter alto impacto nos resultados, baixas produtividades resultam em receitas menores e, conseqüentemente, inviabilidade do projeto.

De modo geral, foram obtidos resultados promissores para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, que prima pela conservação dos recursos hídricos. A formulação de políticas públicas que fomentem o pagamento por serviços ambientais (PSA), surgem como

incentivos ao uso de tecnologias eficientes na aplicação de água e ao reúso de águas residuárias agroindustriais, no contexto agrícola.

Como perspectivas para continuidade das pesquisas, sugere-se a inclusão de PSA nos cálculos da receita, como forma de viabilizar e promover ainda mais o reúso da água.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2019). Cobrança pelo uso dos recursos hídricos / Agência Nacional de Águas. – Brasília, DF: ANA.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2. ed., Brasília, DF: ANA.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2022). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. – Brasília, DF: ANA. Recuperado em 2022-11-10, de <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/ciclo-da-agua>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2021). Resolução Normativa ANEEL N° 1.000, de 7 de dezembro de 2021.
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2022a). A ANEEL. Recuperado de <https://www.gov.br/aneel/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/a-aneel>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2022b). Regras e Procedimentos de Distribuição (Prodist). Recuperado de <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2022c). Modalidades Tarifárias. Recuperado de <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2022d). Tarifas e Informações Econômico-Financeiras: Tarifa branca – postos tarifários e valores. Recuperado de <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras>
- Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. (2014). Ciência Agropecuária Paulista: Pesquisa e inovação gerando produtividade e qualidade de vida. Campinas, São Paulo, Brasil: APTA
- Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Ur Rahman, U., Soares, B. C. V, Souza, S. L. Q., Pimentel, T. C., Scudino, H., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Almada, R. B., Vendramel, S. M. R., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>
- Ali, A., Xia, C., Jia, C., & Faisal, M. (2020). Investment profitability and economic efficiency of the drip irrigation system: Evidence from Egypt. *Irrig and Drain*. 2020; 69: 1033–1050. <https://doi.org/10.1002/ird.2511>
- Almeida, A. M. (2017). Eficiência do uso da água e produtividade de biomassa do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) sob diferentes níveis de reposição hídrica. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/D.11.2017.tde-02102017-084225. Recuperado em 2023-11-12, de www.teses.usp.br

- Almeida, O. A. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Recuperado em 2022-12-19, de <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/875385/1/livroqualidadeagua.pdf>
- Andrade, M. da S., Sousa, J. F de., Morais, M. B de., & Albuquerque, C. C. de. (2023). Efluente salino da piscicultura como alternativa para irrigação de *Croton blanchetianus* (Euphorbiaceae). *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 27(4), 256–263. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n4p256-263>
- Andrade, T. C. O. (2019). Análise de viabilidade econômica do uso de água residuária aplicada em culturas agrícolas. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.
- Angus, J. F., & Van Herwaarden, A. F. (2001). Increasing Water Use and Water Use Efficiency in Dryland Wheat. *Agronomy Journal*, 93(2), 290-298. Recuperado em 22-12-21, de <https://doi.org/10.2134/agronj2001.932290x>
- APHA, AWWA, WEF. (2012). Standard methods for the examination for water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 22th ed., p 1496. Washington, DC, USA.
- Banco Central Do Brasil. (2022). Dólar comercial (venda e compra) - cotações diárias. Recuperado em 2022-10-14, de <https://dadosabertos.bcb.gov.br/dataset/dolar-americano-usd-todos-os-boletins-diarios>
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2023). Proirriga – Programa de Financiamento à Agricultura Irrigada e ao Cultivo Protegido. Recuperado de <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/proirriga>
- Barbosa, M. A. G. (2015). Viabilidade de investimento e análise de risco econômico em projetos de irrigação para produção de tomate no Agropolo Ibicoara-Mucugê, Bahia. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Recuperado de <http://ri.ufrb.edu.br/jspui/handle/123456789/925>
- Batista Filho, A. (2016). A importância da água na agricultura. Recuperado em 2022-11-10, de <https://crmvsp.gov.br/a-importancia-da-agua-na-agricultura/>
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; & Mantovani, E. C. (2006). Manual de irrigação. 8 ed. Viçosa: Ed. UFV.
- Beshir, S. (2017) Review on Estimation of Crop Water Requirement, Irrigation Frequency and Water Use Efficiency of Cabbage Production. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5, 59-69. doi: 10.4236/gep.2017.57007.
- Birol, E.; Koundouri, P.; & Kountouris, Y. (2010). Assessing the economic viability of alternative water resources in water-scarce regions: Combining economic valuation, cost-benefit analysis and discounting, *Ecological Economics*, Volume 69, Issue 4, p 839-847, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.10.008>.

- Boas, R. C. V., Pereira, G. M., Reis, R. P., Lima Junior, J. A. de, & Consoni, R.. (2011). Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. *Ciência E Agrotecnologia*, 35(4), 781–788. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000400018>
- Borrego-Marín, M. M., & Berbel, J. (2018). Cost-benefit analysis of irrigation modernization in Guadalquivir River Basin. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.032>
- Braga, M. B.; & Calgaro, M. (2010). Sistema de produção de melancia. Embrapa Semiárido, Sistemas de Produção, 6 ISSN 1807-0027 Versão Eletrônica. Recuperado em 2022-12-19, de <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/irrigacao.htm>
- Brasil. (2003). Resolução nº 32 de 15 de outubro de 2003. Recuperado em 2022-12-02, de https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0574947a-2c5b-48d2-96a4-b07c4702bbab/attachments/resolucao_32_CNRH.pdf
- Brasil. (2021). Política Nacional de Recursos Hídricos. Recuperado em 2022-12-05, de <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos>
- Buisson, M.; Balasubramanya, S.; & Stifel, D. (2021) Electric Pumps, Groundwater, Agriculture and Water Buyers: Evidence from West Bengal, *The Journal of Development Studies*, 57:11, 1893-1911, DOI: 10.1080/00220388.2021.1906862
- Campeche, L. F. S. M.; Coelho Filho, M. A.; Sousa, S. A. V.; & Coelho, R. D. (1999). Análise comparativa de um projeto de irrigação semiportátil, com diferentes configurações, para a cultura de feijão. *Irriga, Botucatu*, v. 04, n. 1, p. 21-30, janeiro-abril, 1999.
- Chen, C. Y., Wang, S. W., Kim, H., Pan, S. Y., Fan, C., & Lin, Y. J. (2021). Non-conventional water reuse in agriculture: A circular water economy. Em *Water Research* (Vol. 199). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117193>
- Cocolo, A. N.; & Sudré, L. (2015). Água é recurso cada vez mais escasso no mundo. In: São Paulo (e o mundo) pede água. São Paulo: Unifesp EntreTeses (online), nº 4. Recuperado em 2022-12-06, de https://www.unifesp.br/reitoria/dci/images/DCI/revistas/Entreteses/entreteses_04_2015.pdf
- Colabone, R. O. (2011). Nevoeiro e dinâmica atmosférica: Uma contribuição ao estudo sobre ocorrências de nevoeiro no aeródromo da Academia da Força Aérea – Pirassununga/SP. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (2010). Fundamentos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos de usuários urbanos e industriais ugrhi 09. CBH Mogi. Recuperado de https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-MOGI/21618/cbh-mogi_fundamentacao-da-cobranca.pdf

- Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. (2014). Deliberação CEIVAP N° 218/2014. Estabelece mecanismos e propõe valores para a cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, a partir de 2015. Resende, Rio de Janeiro, Brasil.
- Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (2019). Cobrança pelo Uso da Água na Bacia Paraíba do Sul.
- Companhia Ambiental do Estado De São Paulo. (2018). Fundamentos do controle de poluição das águas. São Paulo: 2018. Recuperado em 2021-07-02, de <https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2018/07/Apostila-Fundamentos-do-Controle-de-Polui%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%81guas.pdf>
- Companhia Ambiental do Estado De São Paulo. (2021). Águas interiores: Reúso de água. São Paulo, 2021. Recuperado em 2021-07-08, de <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2010). Custos de Produção Agrícola: A metodologia da CONAB. Brasília, DF: Conab.
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2015). A cultura do arroz. Brasília, DF: Conab.
- Companhia Nacional de Abastecimento (2016). Compêndio de Estudos Conab – v. 1. Brasília, DF: Conab.
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2020). Norma Metodologia Do Custo De Produção 30.302. Brasília, DF: Conab
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2021). Insumos Agropecuários. Recuperado de <https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?d=6983528-p=2&uf=SP&anoFinal=2022&ano=2021&method=acaoListarConsulta&idSubGrupo=71&btnConsultar=Consultar&jcaptcha=IEURK&idGrupo=27>
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2022). Acompanhamento da safra brasileira de grãos – safra 2022/2023 3º levantamento. Brasília, DF: Conab
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2024). Portal de Informações Agropecuárias: Preços Agropecuários - Série Histórica. Recuperado em 2024-04-15, de <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/precos-agropecuarios-serie-historica.html>
- Coordenadoria De Assistência Técnica Integral. (2014). CATI incentiva a cadeia produtiva do arroz no Vale do Paraíba. São Paulo, Brasil: CATI. Recuperado em 2023-02-06, de <https://www.cati.sp.gov.br/portal/imprensa/noticia/cati-incentiva-a-cadeia-produtiva-do-arroz-no-vale-do-paraiba->
- Coutinho, A. R.; & Chaves, M. O. (2009). Estratégia e planejamento de mercado para produtor de arroz irrigado tropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. Estresses e sustentabilidade: desafios para a lavoura arrozeira: anais. Porto Alegre, RS: Sosbai.

- Crusciol, C. A. C., Machado, J. R., Arf, O., & Rodrigues, R. A. F.. (2000). Produtividade do arroz irrigado por aspersão em função do espaçamento e da densidade de sementeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(6), 1093–1100. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600004>
- Dantas, I. L. de A., Faccioli, G. G., Mendonça, L. C., Nunes, T. P., Viegas, P. R. A., & Santana, L. O. G. de.. (2014). Viabilidade do uso de água residuária tratada na irrigação da cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ambiente & Água*, 9(1), 109–117. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1220>
- Dominical, L. D. (2018). Reúso agrícola em planta forrageira: impacto pela irrigação com efluente tratado de abatedouro no fluxo de gases e na solução do solo. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/D.11.2019.tde-13032019-154424. Recuperado de www.teses.usp.br
- Donato, S. L. R., Coelho, E. F., Marques, P. R. R., Arantes, A. M., Santos, M R. dos, & Oliveira, P. M. de.. (2013) Ecofisiologia e eficiência de uso da água em bananeira. In: REUNIÃO INTERNACIONAL ACORBAT, 20., 2013, Fortaleza. Acobat: 40 anos compartilhando ciência e tecnologia. Fortaleza: Instituto Frutal: Acobat Internacional. Recuperado em 2022-12-21, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90168/1/ECOFISIOLOGIA-E-EFICIENCIA-DE-USO.pdf>
- Duarte, A. L. (2014). Análise da viabilidade econômica da implantação de um sistema de irrigação subterrânea na lavoura de arroz. Trabalho de conclusão de curso (Especialização), Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS.
- Duarte, A. S. (2007). Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun* L.). Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2007.tde-01102007-115214. Recuperado de www.teses.usp.br
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018). Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; & Jones, C. A. (2011). Growth and mineral nutrition of fiel crops. 3 ed. 2011.
- FGV. (2016). Estudo sobre eficiência do uso da água no brasil: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global. Rio de Janeiro, RJ. Recuperado em 2022-12-19, de https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/17675/Efici%C3%Aancia_do_Uso_da_%C3%81gua_no_Brasil_Relat%C3%B3rio_Completo.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London. Recuperado em 2022-12-06, de <https://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets. Markets at a Glance: Rice. Rome: FAO, 2022. Recuperado em 2022-12-22, de <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc2864en>
- Fornasiero, A., Wing, R. A., & Ronald, P. (2022). Rice domestication. *R20 Current Biology*, 32, 1–31. <http://www.sustainable-rice.org/>
- Galioto, F.; Chatzinikolaou, P.; Raggi, M.; & Viaggi, D.. (2020). The value of information for the management of water resources in agriculture: Assessing the economic viability of new methods to schedule irrigation, *Agricultural Water Management*, Volume 227, 2020, 05848, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105848>.
- Gava, O., Antón, A., Carmassi, G., Pardossi, A., Incrocci, L., & Bartolini, F. (2023). Reusing drainage water and substrate to improve the environmental and economic performance of Mediterranean greenhouse cropping. *Journal of Cleaner Production*, 413, 137510. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137510>
- Gomes, A. Da S.; Scivittaro, W. B.; Petrini, J. A.; Ferreira, L. H. G.. (2008). A água: distribuição, regulamentação e uso na agricultura, com ênfase ao arroz irrigado. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado.
- Gomes, T. M., Rossi, F., Tommaso, G., Ribeiro, R., Kushida, M. M., & Stablein, M. J.. (2017). Supplementation of nutrients for table beets by irrigation with treated dairy effluent. *Engenharia Agrícola*, 37(6), 1137–1147. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n6p1137-1147/2017>
- Gomes, T. M.; Rossi, F.. (2021). Água e solo na agricultura sustentável. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2021. 56 p.
- Hirakuri, M. H., Prando, A. M., Oliveira, A. B. de, & Concenço, G.. (2021). Análise de viabilidade econômico-financeira da rotação arroz-soja, com o sistema sulco-camalhão, em terras baixas do Rio Grande do Sul. Londrina, PR: EMBRAPA, 2021. (Circular técnica 171). Recuperado em 2022-12-22, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224235/1/Circ-Tec-171.pdf>
- Hosseiny, S. H., Bozorg-Haddad, O., & Bocchiola, D. (2021). Water, culture, civilization, and history. *Economical, Political, and Social Issues in Water Resources*, 189–216. Recuperado em 2022-11-10, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90567-1.00010-3>
- IHS Markit. (2022). *Agriannual 2022: Anuário da agricultura brasileira*. 2022
- Instituto Agronômico. (2005a). IAC 500: Arroz aromático para o Estado de São Paulo. Recuperado em 2024-04-15, de <https://www.iac.sp.gov.br/cultivares/inicio/Folders/Arroz/IAC500.htm>
- Instituto Agronômico. (2005b). IAC 600: Cultivar de Arroz Tipo Especial Exótico-Preto. Recuperado em 2024-04-15, de <https://www.iac.sp.gov.br/cultivares/inicio/Folders/Arroz/IAC600.htm>

- Instituto Agronômico. (2018). Notícias IAC: IAC lança duas cultivares de arroz agulhinha e uma do tipo arbório. Recuperado em 2024-04-15, de <https://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?tag=1218>
- Instituto Agronômico. (2022). Sementes IAC. Recuperado em 2023-01-01, de <https://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/sementesiac/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). Bacias e divisões hidrográficas do Brasil / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 160 p. - (Relatórios Metodológicos, ISSN 0101-2843; v. 48). Recuperado em 2022-12-02, de <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101854.pdf>
- Instituto de Economia Agrícola. (2022). *Salários Rurais*. Recuperado de http://ciagri.iea.sp.gov.br/niat1/precorsalarios.aspx?cod_tipo=6&cod_sis=13
- Ishfaq, M., Akbar, N., Anjum, S. A., & Anwar-Ijl-Haq, M. (2020). Growth, yield and water productivity of dry direct seeded rice and transplanted aromatic rice under different irrigation management regimes. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(11), 2656–2673. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62876-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62876-5)
- Kaur, V.; Sharma, G.; Kirpalani, C. (2018). Agro-potentiality of dairy industry effluent on the characteristics of *Oryza sativa* L. (Paddy), *Environmental Technology & Innovation*, v. 12, 132-147 p., ISSN 2352-1864. Recuperado em 2021-06-27, de <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.08.009>
- Kögel-Knabner, I., Amelung, W., Cao, Z., Fiedler, S., Frenzel, P., Jahn, R., Kalbitz, K., Kölbl, A., & Schloter, M. (2010). Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma*, 157, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.03.009>
- Liu, M., Liang, F., Li, Q., Wang, G., Tian, Y., & Jia, H. (2023). Enhancement growth, water use efficiency and economic benefit for maize by drip irrigation in Northwest China. *Scientific Reports 2023 13:1*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35611-9>
- Mallareddy, M., Thirumalaikumar, R., Balasubramanian, P., Naseeruddin, R., Nithya, N., Mariadoss, A., Eazhilkrishna, N., Choudhary, A. K., Deiveegan, M., Subramanian, E., Padmaja, B., & Vijayakumar, S. (2023). Maximizing Water Use Efficiency in Rice Farming: A Comprehensive Review of Innovative Irrigation Management Technologies. *Water* 2023, Vol. 15, Page 1802, 15(10), 1802. <https://doi.org/10.3390/W15101802>
- Marouelli, W. A., & Silva, W. L. C. (2011). Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. Circular Técnica 98, Brasília, DF: Embrapa.
- Marouelli, W. A., Oliveira, A. S. de, Coelho, E. F., Nogueira, L. C., & Sousa, V. F. (2011). Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. De; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Ed.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Cap. 5, p. 158-232. Recuperado em 2021-12-21, de <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/915574/1/IRRIGACAOeFERTIRRIGACAOcap5.pdf>

- Marques, M. V. A., Matos, A. T. de, Pereira, A. P. M., Silvério, T. H. R., Penido, D. L. A., Costa, M. T. M., & Silva, D. A. P. da. (2017). POTENCIAL, ECONOMIA DE ÁGUA E ADUBAÇÃO COM A APLICAÇÃO DE EFLUENTE DO TRATAMENTO PRELIMINAR DE ESGOTO DOMÉSTICO NA FERTIRRIGAÇÃO DE CAPIM-ELEFANTE. *HOLOS*, 2, 52–65. <https://doi.org/10.15628/holos.2017.5612>
- Marques, P. A. A. (2005). Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2005.tde-09092005-162338. Recuperado de www.teses.usp.br
- Martins, J. D., Carlesso, R., Petry, M. T., & Rodrigues, G. C. (2016). VIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA EM MILHO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO. *IRRIGA*, 1(1), 150. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p150-165>
- Melo, D. C. P.; Oliveira, M. J. M.; Cordeiro, L. F. A.; Sousa, W. S. (2021). Estudo do bombeamento de água salobra para irrigação agrícola: solução para uma cooperativa do semiárido nordestino com energiasolar fotovoltaica. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.4, p.449-456, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0035>
- Menegassi, L. C. (2022). Arroz tipo especial fertirrigado por gotejamento subsuperficial com efluente tratado de laticínio. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2022.tde-08112022-115745. Recuperado de www.teses.usp.br
- Miranda, F. R., Tavares, R. C., Lima, R. N., & Crisóstomo, L. A.. (2007). Uso de efluentes da carcinicultura de águas inferiores na irrigação de arroz e melão. 1ª ed (online) ISSN 1679-6543 Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/15434958.pdf>
- Mishra, S., Kumar, R., & Kumar, M. (2023). Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes- Environmental, health, and economic impacts. *Total Environment Research Themes*, 6, 100051. <https://doi.org/10.1016/J.TOTERT.2023.100051>
- Moreira, C. (2013). Fotossíntese. *Revista Ciência Elementar*. (online), V1(01):005. Recuperado em 2022-11-29, de <http://doi.org/10.24927/rce2013.005>
- Nakhjiri, S. E., Ashouri, M., Sadeghi, S. M., Roshan, N. M., & Rezaei, M.. (2021). The Effect of Irrigation Management and Nitrogen Fertilizer On Grain Yield and Water-use Efficiency of Rice Cultivars in Northern Iran. *Gesunde Pflanzen*, 73, 359–366. <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00562-6>
- Neoenergia Elektro. (2000). Mapa área de atuação. Recuperado em 2023-01-01, de https://www.neoenergiaelektro.com.br/Media/Default/ImageGalleries/Mapa%20area%20de%20atuacao/Thumbnails/mapa_area_atuacao.pdf
- Neoenergia Elektro. (2021a). Irrigação e Aquicultura. 2021a. Recuperado em 2023-01-02, de <https://www.neoenergiaelektro.com.br/seu-negocio/irrigacao-e-aquicultura>

- Neoenergia Elektro. (2021b). Tabela de tarifas de energia elétrica Grupo B. 2021b. Recuperado em 2023-01-02, de <https://www.neoenergiaelektro.com.br/seu-negocio/tarifas-taxas-e-tributos>
- Neoenergia Elektro. (2023). Bandeira tarifária: entenda o que é e para que serve. Recuperado em 2023-06-21, de <https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/compromisso-social/Paginas/bandeira-tarifaria.aspx>
- Nogueira, S. F., Pereira, B. F. F., Gomes, T. M., de Paula, A. M., dos Santos, J. A., & Montes, C. R. (2013). Treated sewage effluent: Agronomical and economical aspects on bermudagrass production. *Agricultural Water Management*, *116*, 151–159. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2012.07.005>
- Oliveira, E. L. de ., Faria, M. A. de ., Reis, R. P., & Silva, M. de L. O. e .. (2010). Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro acaia considerando seis safras. *Engenharia Agrícola*, *30*(5), 887–896. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000500011>
- Oliveira Filho, D., Ferenc, C. H. R., Teixeira, C. A., Dias, G. P., Milagres, R. C., & Pontes, C. R.. (2005). Uso de motores monofásicos acoplados mecanicamente em série, em irrigação por pivô central. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, *9*(1), 139–144. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000100022>
- Oliveira, J., & Zocoler, J. (2010). Cost of irrigation and profit of bean in a center pivot system with water pumped by diesel engine under variation of length pressurized pipe and topographic levels. *Applied Research & Agrotechnology*, *3*(1). doi:<https://doi.org/10.5777/paet.v3i1.618>
- Pinto, V. M., Froes, A., Reis, B., Abreu De Melo, M. L., Reichardt, K., Santos, D., & De Jong Van Lier, Q. (2023). Sustainable irrigation management in tropical lowland rice in Brazil. *Agricultural Water Management*, *284*, 108345. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108345>
- Powell, J. W., Welsh, J. M., & Farquharson, R. (2019). Investment analysis of solar energy in a hybrid diesel irrigation pumping system in New South Wales, Australia. *Journal of Cleaner Production*, *224*, 444–454. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.03.071>
- Raghunath, B.V., Punnagaiarasi, A., Rajarajan, G., Irshad, A., Elango, A., Mahesh kumar, G. (2016). Impact of Dairy Effluent on Environment—A Review. In: Prashanthi, M., Sundaram, R. (eds) *Integrated Waste Management in India*. Environmental Science and Engineering(). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27228-3_22
- Raij, B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônômico, p. 285, 2001.
- Rana, B., Parihar, C. M., Jat, M. L., Patra, K., Nayak, H. S., Reddy, K. S., Sarkar, A., Anand, A., Naguib, W., Gupta, N., Sena, D. R., Sidhu, H. S., Singh, R., Singh, R., & Abdallah, A. M. (2023). Combining sub-surface fertigation with conservation agriculture in intensively irrigated rice under rice-wheat system can be an option for sustainably improving water and nitrogen use-efficiency. *Field Crops Research*, *302*, 109074. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2023.109074>

- Ribeiro, M. C. (2008). Eficientização e gerenciamento do uso de energia elétrica em perímetros irrigados. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Recuperado em 2022-12-22, de <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/638/1/texto%20completo.pdf>
- Rocha, P. K., Pereira, E. R., & Coelho, R. D. (2001). Custo do bombeamento de água para irrigação no Brasil. *IRRIGA*, 6(3), 128–136. <https://doi.org/10.15809/irriga.2001v6n3p128-136>
- Rodrigues, L. N. (2020). Quantidade de água utilizada na agricultura irrigada: certezas e incertezas nas estimativas. *Irrigação & Tecnologia Moderna [ITEM]*, n. 114, p. 47-53. Recuperado em 2022-12-05, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214064/1/Lineu-Item-AguaAgricultura.pdf>
- Rodrigues, L. N. (2021). Água na agricultura e produção de alimento. Recuperado em 2022-11-20, de <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60166519/artigo---agua-na-agricultura-e-producao-de-alimento#:~:text=No%20mundo%2C%20a%20agricultura%20irrigada,que%20a%20agricultura%20de%20sequeiro.>
- Rodrigues, L. N. (2022). Agricultura irrigada e sua importância na produção de alimento: nexo água-alimento. Recuperado em 2022-11-19, de <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71510678/artigo-agricultura-irrigada-e-sua-importancia-na-producao-de-alimento-nexo-agua-alimento>
- Rodrigues, L. N.; & Cruvinel, P. E. (2022). A importância da gestão de recursos hídricos e da agricultura irrigada no nexo água e alimento. Recuperado em 2022-11-19, de <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/69094216/artigo-a-importancia-da-gestao-de-recursos-hidricos-e-da-agricultura-irrigada-no-nexo-agua-e-alimento>
- Rohlfes, A. L. B., Baccar, N. M., Oliveira, M. S. R. de, Marquardt, L., & Richards, N. S. P. S. (2011). Indústrias lácteas: Alternativas de aproveitamento do soro de leite como forma de gestão ambiental. 15(2), p. 79-83, jul./dez. Santa Cruz do Sul, RS: Tecno-lógica. Recuperado de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:MobDIIKhhp4J:https://online.uisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/2350/1817&hl=pt-BR&gl=br>
- Rolão, K. P.; Rosa, R. O.; Figueiredo Neto, L. F. (2018). Análise de rentabilidade entre o cultivo de arroz irrigado e cultivo de arroz sequeiro. *XX Engema*. ISSN: 2359-1048.
- Sá Júnior, A. de, & Carvalho, J. de A. (2016). Análise comparativa do custo para aplicação de uma lâmina de irrigação utilizando energia elétrica e diesel. *Energia na Agricultura*, 31(3), 259–266. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n3p259-266>
- Santiago, C. M., Breseghello, H. C. P., & Ferreira, C. M. (2013). Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde. p. 245: il. Brasília, DF: Embrapa.
- Santos, H. G. dos, Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. A. de, Lumberras, J. F., Coelho, M. R., ... Araújo Filho, J. C. de. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

- São Paulo (Estado). (2019). Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Instituto de Economia Agrícola. Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável. Projeto LUPA 2016/2017: Censo Agropecuário do Estado de São Paulo. São Paulo: SAA: IEA: CDRS, 2019.
- Scaloppi, E. J.. (2022). Irrigação de baixo custo por sulcos. In A. Paolinelli, D. Dourado Neto & E. C. Mantovani: Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia (Cap. 10, pp. 167-184). Recuperado de <https://doi.org/10.11606/9786587391236>
- Schaer-Barbosa, M., Santos, M. E. P. dos., & Medeiros, Y. D. P.. (2014). Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. *Ambiente & Sociedade*, 17(2), 17–32. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200003>
- Schneider, E. H. M. (2022). Modelo de cobrança pelo uso da água: relação com conservação de serviços ambientais e eficiência de sistemas. Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE. Recuperado de <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/16759>
- Scivittaro, W. B. (2021). Cultivo do arroz: Correção do solo e adubação. Brasília, DF: Embrapa. Recuperado de <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-subtropical/correcao-do-solo-e-adubacao>
- Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2019). Irrigação: gestão de água e energia elétrica. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília, DF: Senar. Recuperado em 2022-12-22, de <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/255-IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>
- Sharda, R., Mahajan, G., Siag, M., Singh, A., & Chauhan, B. S. (2017). Performance of drip-irrigated dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in South Asia. *Paddy and Water Environment*, 15(1), 93–100. <https://doi.org/10.1007/S10333-016-0531-5/TABLES/4>
- Sidhu, H. S., Jat, M. L., Singh, Y., Sidhu, R. K., Gupta, N., Singh, P., Singh, P., Jat, H. S., & Gerard, B. (2019). Sub-surface drip fertigation with conservation agriculture in a rice-wheat system: A breakthrough for addressing water and nitrogen use efficiency. *Agricultural Water Management*, 216, 273–283. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2019.02.019>
- Silva, O. F., Wander, A. E., & Ferreira, C. M. (2017). Árvore do conhecimento arroz: Importância econômica e social. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Recuperado em 2021-08-13, de <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe7457q102wx5eo07qw4xeynhsp7i.html>
- Silva, O. F., & Wander, A. E.. (2023a). Cultivo do arroz: Importância econômica e social, DF: Embrapa. Recuperado de <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/importancia-economica-e-social>
- Silva, O. F., & Wander, A. E.. (2023b). Cultivo do arroz: Estatística de produção, DF: Embrapa. Recuperado de <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao>

- Silva, O. F., & Wander, A. E.. (2023c). Cultivo do arroz: Mercado, comercialização e consumo. Brasília, DF: Embrapa. Recuperado de <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/mercado-comercializacao-e-consumo>
- Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (2021). Divisão Hidrográfica: As regiões hidrográficas do Estado de São Paulo. Recuperado em 2022-12-02, de <https://sigrh.sp.gov.br/divisaohidrografica>
- Stanhill, G. (1986). Water use efficiency. *Advances in Agronomy*, 39(C), 53–85. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60465-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60465-4)
- Stone, L. F., & Silveira, P. M. (2003). Arroz irrigado por aspersão. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Recuperado em 2022-12-22, de https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF/22244/1/circ_64.pdf
- Stone, L. F. (2005). Eficiência do uso da água na cultura do arroz irrigado. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Recuperado em 2022-12-21, de <https://core.ac.uk/download/pdf/15426123.pdf>
- Stone, L. F., Silveira, P. M. da ., & Moreira, J. A. A.. (2023). Cultivo do arroz: métodos de irrigação. Brasília, DF: Embrapa. Recuperado de <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/metodos-de-irrigacao#:~:text=A%20irriga%C3%A7%C3%A3o%20por%20inunda%C3%A7%C3%A3o%20consiste,apresentam%20formas%20e%20tamanhos%20variados>.
- Tabelini, D. B., Lima, J. P. P., Borges, A. C., & Aguiar, A. (2023). A review on the characteristics and methods of dairy industry wastewater treatment in the state of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103779. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2023.103779>
- Takeiti, C. Y. (2021). Tecnologia de Alimentos: Cereais e grãos. Brasília, DF: Embrapa. Recuperado de: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cereais-e-graos#:~:text=Os%20principais%20cereais%20utilizados%20na,trigo%20sarraceno%20e%20a%20quinoa>.
- Teixeira, P. T. R. (2020). Aspectos ambientais e agrônômicos da disposição de efluente de laticínios no solo. Dissertação de Mestrado, Instituto Federal Goiano, Urataí, GO. Recuperado de <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1275>
- Tessler, M. H.. (2022). Irrigação por gotejamento: histórico e evolução tecnológica. In A. Paolinelli, D. Dourado Neto & E. C. Mantovani: Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia (Cap. 3, pp. 37-59). Recuperado de <https://doi.org/10.11606/9786587391236>
- Testezlaf, R. (2017). Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP: UNICAMP.
- Thebaldi, M. S., da Rocha, M. S., Sandri, D., & Felisberto, A. B. (2012). Características produtivas do tomate irrigado por diferentes sistemas de irrigação e qualidades de água. *IRRIGA*, 18(1), 43–58. <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n1p43>

- Tortelli, G. de S., Hernandez, G., Parfitt, J. M. B., Concenço, G., Campos, A. D. S. De, Aires, T. A., & Andres, A.. (2019). Arroz irrigado por aspersão no Rio Grande do Sul: situação na safra 17/18. In: Congresso Brasileiro De Arroz Irrigado, 11., 2019. Balneário Camboriú. Inovação e desenvolvimento na orizicultura: anais eletrônico. Itajaí: Epagri/Sosbai. Recuperado de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201785/1/08-Tortelli.pdf>
- Trani, P. E., & Trani, A. L.. (2011). Fertilizantes: Cálculo de Fórmulas Comerciais. Boletim Técnico IAC, 208, Campinas, SP: Série Tecnologia APTA.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2022). The United Nations World Water Development Report 2022: groundwater: making the invisible visible. UNESCO. Paris. 2022. I ISBN: 978-92-3-100507-7
- Vergine, P., Salerno, C., Libutti, A., Beneduce, L., Gatta, G., Berardi, G., & Pollice, A. (2017). Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation. *Journal of Cleaner Production*, 164, 587–596. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.06.239>
- Vieira, G. H. S., Mantovani, E. C., Soares, A. A., Cunha, F. F. da, & Montes, D. R. P. (2011). Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. *Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG*, 19(1), 53–61. <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i1.169>
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science*. Los Baños, Laguna, Philippines: International Rice Research Institute.

APÊNDICE

As tabelas 21 a 39 apresentam valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total de produção do arroz arbório e receita, considerando motor elétrico.

Tabela 21. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa branca com desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.105,33 | 15.367,97 | 14.199,88 | 14.475,38 | 14.166,01 | 14.506,87 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.662,96 | -5.913,96 | 736,84 | 2.606,70 | 1.167,42 | 5.332,34 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.050,09 | 14.265,31 | 14.074,13 | 14.020,02 | 12.580,20 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -423,56 | 1.976,86 | 862,36 | -1.244,54 | 6.508,78 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 22. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa branca sem desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.013,22 | 15.152,88 | 14.144,56 | 14.360,44 | 14.151,05 | 14.474,74 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.570,85 | -5.698,87 | 792,15 | 2.721,01 | 1.182,38 | 5.364,47 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.070,64 | 14.307,54 | 14.127,63 | 14.144,25 | 12.392,10 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -444,12 | 1.934,64 | 808,86 | -1.368,77 | 6.696,88 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 23. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa branca sem desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.165,16 | 15.505,59 | 14.260,92 | 14.600,51 | 14.220,36 | 14.623,41 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.722,79 | -6.051,58 | 675,79 | 2.480,93 | 1.113,07 | 5.215,79 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.106,39 | 14.343,29 | 14.127,63 | 14.144,25 | 12.580,20 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -479,86 | 1.898,89 | 808,86 | -1.368,77 | 6.508,78 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 24. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa verde com desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 14.960,67 | 15.032,37 | 14.090,95 | 14.250,80 | 14.103,38 | 14.372,53 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.518,30 | -5.578,36 | 845,76 | 2.830,65 | 1.230,05 | 5.466,67 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.021,19 | 14.202,38 | 14.080,64 | 14.035,61 | 12.392,10 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -394,66 | 2.039,79 | 855,85 | -1.260,13 | 6.696,88 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 25. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa verde com desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.112,61 | 15.385,08 | 14.207,31 | 14.490,87 | 14.172,69 | 14.521,20 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.670,24 | -5.931,07 | 729,40 | 2.590,58 | 1.160,74 | 5.318,00 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.056,94 | 14.280,47 | 14.080,64 | 14.038,61 | 12.580,20 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -430,41 | 1.961,70 | 855,85 | -1.260,13 | 6.508,78 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=0% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 26. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa verde sem desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.031,41 | 15.195,11 | 14.163,13 | 14.398,76 | 14.167,65 | 14.510,34 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.589,04 | -5.741,10 | 773,58 | 2.682,69 | 1.165,79 | 5.328,87 |
| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | |
| Custo total | 14.087,76 | 14.346,49 | 14.143,89 | 14.182,50 | 12.392,10 | |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 | |
| Benefício líquido | -461,23 | 1.895,68 | 792,60 | -1.407,02 | 6.696,88 | |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=0% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 27. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa verde sem desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.183,35 | 15.547,82 | 14.279,49 | 14.638,83 | 14.236,95 | 14.659,01 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.740,98 | -6.093,81 | 657,22 | 2.442,61 | 1.096,48 | 5.180,20 |
| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | |
| Custo total | 14.123,51 | 14.424,59 | 14.143,89 | 14.182,50 | 12.580,20 | |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 | |
| Benefício líquido | -496,98 | 1.8117,59 | 792,60 | -1.407,02 | 6.508,78 | |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=0% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 28. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa amarela com desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 14.962,28 | 15.036,17 | 14.092,60 | 14.254,23 | 14.104,86 | 14.375,71 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.519,91 | -5.582,16 | 844,11 | 2.827,22 | 1.228,57 | 5.463,49 |
| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | |
| Custo total | 14.022,71 | 14.205,74 | 14.082,08 | 14.039,07 | 12.392,10 | |

| | | | | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -396,18 | 2.036,43 | 854,41 | -1.263,59 | 6.696,88 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 29. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa amarela com desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.114,22 | 15.388,88 | 14.208,96 | 14.494,30 | 14.174,17 | 14.524,38 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.671,85 | -5.934,87 | 727,75 | 2.587,15 | 1.159,26 | 5.314,82 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.058,46 | 14.283,84 | 14.082,08 | 14.039,07 | 12.580,20 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -431,93 | 1.958,34 | 854,41 | -1.263,59 | 6.508,78 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 30. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa amarela sem desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.035,44 | 15.204,47 | 14.167,25 | 14.407,26 | 14.171,32 | 14.518,23 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.593,07 | -5.750,46 | 769,46 | 2.674,19 | 1.162,11 | 5.320,98 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.091,55 | 14.354,79 | 14.147,50 | 14.190,98 | 12.392,10 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -465,03 | 1.889,39 | 788,99 | -1.415,50 | 6.696,88 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 31. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa amarela sem desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.187,38 | 15.557,18 | 14.283,61 | 14.647,33 | 14.240,63 | 14.666,90 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.745,01 | -6.103,17 | 653,10 | 2.434,12 | 1.092,80 | 5.172,31 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.127,30 | 14.432,88 | 14.147,50 | 14.190,98 | 12.580,20 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -500,78 | 1.809,30 | 788,99 | -1.415,50 | 6.508,78 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 32. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa vermelha P1 com desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 14.964,09 | 15.040,42 | 14.094,45 | 14.258,07 | 14.106,51 | 14.379,27 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.521,72 | -5.586,41 | 842,26 | 2.823,37 | 1.226,92 | 5.459,94 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.024,41 | 14.209,51 | 14.083,70 | 14.042,93 | 12.392,10 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -397,88 | 2.032,67 | 852,79 | -1.267,45 | 6.696,88 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 33. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa vermelha P1 com desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.116,03 | 15.393,13 | 14.210,81 | 14.498,14 | 14.175,82 | 14.527,94 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.673,66 | -5.939,12 | 725,91 | 2.583,30 | 1.157,61 | 5.311,27 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.060,15 | 14.287,60 | 14.083,70 | 14.042,93 | 12.580,20 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -433,63 | 1.954,58 | 852,79 | -1.267,45 | 6.508,78 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 34. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa vermelha P1 sem desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos |
|---|-------------|
|---|-------------|

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.039,95 | 15.214,94 | 14.171,86 | 14.416,76 | 14.175,44 | 14.527,06 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.597,58 | -5.760,93 | 764,85 | 2.664,68 | 1.157,99 | 5.312,15 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.095,80 | 14.364,06 | 14.151,54 | 14.200,47 | 12.392,10 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -469,27 | 1.878,11 | 784,96 | -1.424,99 | 6.696,88 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 35. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa vermelha P1 sem desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.191,89 | 15.567,65 | 14.288,22 | 14.656,84 | 14.244,75 | 14.675,73 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.749,52 | -6.113,64 | 648,50 | 2.424,61 | 1.088,68 | 5.163,47 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.131,55 | 14.442,15 | 14.151,54 | 14.200,47 | 12.580,20 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -505,02 | 1.800,02 | 784,96 | -1.424,99 | 6.508,78 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 36. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa vermelha P2 com desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 14.968,84 | 15.051,59 | 14.099,31 | 14.268,19 | 14.110,88 | 14.388,63 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.526,47 | -5.597,58 | 837,41 | 2.813,26 | 1.222,55 | 5.450,57 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.028,88 | 14.219,41 | 14.087,95 | 14.053,11 | 12.392,10 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -402,35 | 2.022,77 | 848,54 | -1.277,63 | 6.696,88 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 37. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa vermelha P2 com desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.120,78 | 15.404,30 | 14.215,67 | 14.508,26 | 14.180,19 | 14.537,30 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.678,41 | -5.950,29 | 721,05 | 2.573,19 | 1.153,25 | 5.301,90 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.064,63 | 14.297,50 | 14.087,95 | 14.053,11 | 12.580,20 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -438,10 | 1.944,67 | 848,54 | -1.277,63 | 6.508,78 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 38. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa vermelha P2 sem desconto e água advinda da bacia Paraíba do Sul.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.051,83 | 15.242,52 | 14.183,99 | 14.441,79 | 14.186,28 | 14.550,31 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.609,46 | -5.788,51 | 752,72 | 2.639,65 | 1.147,15 | 5.288,90 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.106,98 | 14.388,49 | 14.162,16 | 14.225,45 | 12.392,10 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -480,46 | 1.853,69 | 774,33 | -1.449,97 | 6.696,88 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbóreo sob irrigação por inundação, IAC (2018).

Tabela 39. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor elétrico sob tarifa vermelha P2 sem desconto e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.203,77 | 15.595,23 | 14.300,35 | 14.681,86 | 14.255,59 | 14.698,98 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.761,40 | -6.141,22 | 636,36 | 2.399,58 | 1.077,84 | 5.140,22 |

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 |
| Custo total | 14.142,73 | 14.466,58 | 14.162,16 | 14.225,45 | 12.580,20 |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 |
| Benefício líquido | -516,20 | 1.775,60 | 774,33 | -1.449,97 | 6.508,78 |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E,

SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).

A tabela 40 apresenta os valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total de produção do arroz arbório e receita, considerando o bombeamento de água por motor a diesel.

Tabela 40. Valores de benefício líquido anual da irrigação, custo total e receita para os tratamentos adotados considerando motor a diesel e água advinda da bacia Mogi-Guaçu.

| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Custo total | 15.401,69 | 15.846,51 | 14.502,43 | 15.098,79 | 14.436,13 | 15.086,29 |
| Receita | 9.442,38 | 9.454,02 | 14.936,71 | 17.081,45 | 15.333,43 | 19.839,21 |
| Benefício líquido | -5.959,31 | -6.392,49 | 434,28 | 1.982,65 | 897,30 | 4.752,92 |
| Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Tratamentos | | | | | |
| | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | |
| Custo total | 14.328,98 | 14.873,46 | 14.339,13 | 14.641,62 | 12.580,20 | |
| Receita | 13.626,53 | 16.242,18 | 14.936,49 | 12.775,48 | 19.088,98 | |
| Benefício líquido | -702,45 | 1.368,71 | 597,36 | -1.866,14 | 6.508,78 | |

T1=100% água (A) e 0% efluente (E), capacidade de campo (CC); T2=100% A e 0% E, saturação (SAT); T3=75% A e 25% E, CC; T4=75% A e 25% E, SAT; T5=50% A e 50% E, CC; T6=50% A e 50% E, SAT; T7=25% A e 75% E, CC; T8=25% A e 75% E, SAT; T9=0% A e 100% E, CC; T10=% A e 100% E, SAT; T11=arroz arbório sob irrigação por inundação, IAC (2018).