



ENIO SEBASTIÃO VICENTE DE JESUS

**QUALIDADE DA ÁGUA E DO SOLO DE CULTIVO CONVENCIONAL E
ORGÂNICO DE ARROZ PRÉ-GERMINADO**

CANOAS, 2021

ENIO SEBASTIÃO VICENTE DE JESUS

**QUALIDADE DA ÁGUA E DO SOLO DE CULTIVO CONVENCIONAL E
ORGÂNICO DE ARROZ PRÉ-GERMINADO**

Dissertação de Mestrado Acadêmico apresentada para a banca examinadora do Curso de Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais da Universidade La Salle, como um dos requisitos para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Pereira Almerão.

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Anelise Beneduzi da Silveira.

CANOAS, 2021

**Dados Internacionais
de Catalogação na Publicação (CIP)**

J94q Jesus, Enio Sebastião Vicente de.

Qualidade da água e do solo de cultivo convencional e orgânico de arroz pré-germinado [manuscrito] / Enio Sebastião Vicente de Jesus – 2021.

69 f.; 30 cm.

Dissertação (mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) – Universidade La Salle, Canoas, 2021.

“Orientação: Prof. Dr. Maurício Pereira Almerão”.

“Coorientação: Prof^a. Dra. Anelise Beneduzi da Silveira”.

1. Análise físico-química. 2. Solo. 3. Água. 4. Arroz irrigado. 5. Legislação. I. Almerão, Maurício Pereira. II. Silveira, Anelise Beneduzi da. III. Título.

CDU:504.06

ENIO SEBASTIÃO VICENTE DE JESUS

Dissertação aprovada para obtenção do título de mestre, pelo Programa de Pós-Graduação Avaliação de Impactos Ambientais, da Universidade La Salle.

BANCA EXAMINADORA

P/ 

Prof. Dr. Jackson Freitas B. de São José
SEAPI-RS



Prof. Dr. Sérgio Augusto de L. Bordignon
Universidade La Salle



Prof.ª Dr.ª Fernanda Rabaioli da Silva
Universidade La Salle

P/ 

Prof.ª Dr.ª Anelise Beneduzi da Silveira
Coorientadora



Prof. Dr. Mauricio Pereira Almerão
Presidente da Banca e Orientador - Universidade La Salle

Área de concentração: Avaliação de Impactos Ambientais

Curso: Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais

Canoas, 21 de maio de 2021.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha esposa Regina e as minhas filhas Júlia e Luísa que sempre com muito amor e carinho me incentivaram e apoiaram para a realização do mestrado.

Aos meus pais José e Rozalina (in memoriam) que pelo seu trabalho, fé, honestidade, me deram ânimo, exemplo de vida e superação, inspiração e incentivo.

Aos meus irmãos José Renato e esposa Hilda, Benildo Rogério e Antônio Carlos (in memoriam) pelo apoio, amizade, incentivo e companheirismo.

Às minhas irmãs Ivanilde Aparecida (in memoriam), Benilde de Fátima e esposo Nilto (in memoriam), Maria Helena e Iolita Margarete pelo amor, carinho e apoio.

Aos sobrinhos Daniela, Nilton César, David, Daniel, Lucas (afilhado) e Bento.

Aos sogros Alfonso e Orlanda, cunhado Rogério e esposa Luciana, pelo incentivo, apoio e auxílio.

Aos meus colegas de trabalho da DILCA/FEPAM Cinara, Roberta e Mauren pelo companheirismo, amizade, apoio e incentivo para o desenvolvimento do mestrado.

Aos colegas do DF, DIFISC, SAMOST e do laboratório da FEPAM pelo apoio e realização das análises.

Aos colegas e amigos de mestrado: Everton Tartas e Matheus Muller.

Ao Gustavo Achutti, colega de trabalho e de mestrado, pela parceria e trabalho conjunto na realização das coletas de amostras de água para as análises.

A CAPES pela concessão de bolsa, a qual auxiliou no desenvolvimento dessa pesquisa.

À Jamilla do Laboratório de Microbiologia Agrícola do DDPa pela realização das análises microbiológicas.

À Cindyele e à estagiária Magali do Laboratório de Química da Unilasalle pela realização de parte das análises físico-químicas.

A Daniela, do laboratório de solos da UFRGS pelo auxílio e realização das análises de sedimento.

A Professora Dra. Fernanda Siqueira de Souza, pelo auxílio e apoio.

Ao orientador Prof. Dr. Mauricio Pereira Almerão pela parceria e apoio na realização desse projeto.

A minha co-Orientadora Professora Anelise, que não mediu esforços para a realização desta pesquisa, mesmo não fazendo mais parte da Unilasalle, boa parte à distância devido ao momento pandêmico, com profissionalismo e dedicação. Dedico a ti um especial agradecimento! Muito Obrigado!

QUALIDADE DA ÁGUA E DO SOLO DE CULTIVO CONVENCIONAL E ORGÂNICO DE ARROZ PRÉ-GERMINADO

RESUMO

A orizicultura irrigada praticada através do sistema de plantio pré-germinado, utiliza grandes volumes de água e influencia consideravelmente a qualidade ambiental dos cursos hídricos através do lançamento de efluentes com elevada carga poluidora, afetando o abastecimento público de água. Este estudo teve como objetivo avaliar através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos a qualidade da água e do solo (sedimento) de sete pontos de amostragem, provenientes de lavouras de arroz irrigado pré-germinado, três do sistema de cultivo convencional e quatro do orgânico: P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7. Foram realizadas 3 coletas amostrais em 11/11/2019, 12/03/2020 e 30/11/2020, em duas áreas rurais localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí no município de Viamão/RS, definidos em função do cultivo usado nas áreas orizícolas: orgânico ou convencional e origem da água utilizada na irrigação (curso hídrico natural, reservatório e reuso/reutilização). Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicas deste estudo, evidenciam uma deterioração da qualidade da água causada pela irrigação de lavouras de arroz pré-germinado, orgânico e convencional dos pontos amostrados, principalmente dos parâmetros: condutividade, OD, turbidez, fósforo, alumínio e manganês. A presença de coliformes termotolerantes, presentes nos pontos amostrados, foram inferiores a 200 NMP/100 ml que é o VMP da classe 1 da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) enquadrando-se, portanto, na classe 1, com exceção de P4 e P5 que se enquadraram na classe 2 e 3 respectivamente, indicando que as águas de drenagem oriundas de lavoura de arroz irrigado com sistema de cultivo pré-germinado, convencional e orgânico são pouco impactadas na qualidade pelo lançamento de esgotos domésticos e dejetos animais. Alguns parâmetros estão em deterioração, diminuindo a qualidade da água para além dos limites da classe 3 da resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), como a turbidez, o OD e o fósforo. O índice de qualidade das águas (IQA) é uma boa ferramenta para avaliar e classificar a qualidade da água, através do qual constatou-se a diminuição da qualidade da água nos pontos amostrados. O principal parâmetro responsável pela queda da qualidade da água pode ser atribuído aos baixos teores de OD. Os mananciais monitorados neste estudo: barragem Águas Claras, canais e rio Gravataí estão em processo de eutrofização por fósforo, em todos os 7 pontos, os valores superam os parâmetros de qualidade definidos pela Resolução CONAMA 357/2005, para as classes 1, 2, 3 e 4, para água doce. Os

metais analisados no sedimento: alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel, selênio, vanádio e zinco, apresentaram concentrações totais nos locais amostrados abaixo dos valores orientadores de qualidade do solo quanto à prevenção e para investigação de solos agrícolas, definidos pela Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009). Concentrações mais elevadas no sedimento de zinco, níquel e cobalto foram detectados acima do valor de referência de qualidade (VRQ) definido pela Portaria FEPAM nº 85 (FEPAM, 2014), mas que ficaram abaixo do VMP de investigação em solos agrícolas e necessitam de atenção, acompanhamento e monitoramento periódico. A orizicultura irrigada praticada na região metropolitana de porto alegre especialmente na bacia do Rio Gravataí, através do sistema de cultivo de arroz pré-germinado, convencional e o orgânico causam impactos ambientais significativos, com diminuição da qualidade da água dos cursos hídricos da região, principalmente nos períodos de preparo do solo, semeadura, maturação e colheita do arroz, quando é realizada a drenagem da lavoura, prática que deve ser evitada em qualquer época pelos danos causados na qualidade ambiental dos recursos. O impacto da lavoura de arroz convencional, sistema de cultivo pré-germinado, é intensificado, ou seja, causa maior deterioração da qualidade da água provavelmente pela utilização de fertilização química e agrotóxicos.

Palavras-chave: análises físico-químicas; coliformes; arroz irrigado; CONAMA nº 357/2005; CETESB; Portaria FEPAM nº 85/2014.

WATER AND SOIL QUALITY OF CONVENTIONAL AND ORGANIC CULTIVATION OF PRE-GERMINATED RICE

ABSTRACT

Irrigated rice cultivation, practiced through the pre-germinated planting system, uses large volumes of water and considerably influences the environmental quality of water courses through the release of effluents with a high polluting load, affecting the public water supply. This study aimed to evaluate through physical, chemical, and microbiological parameters water quality and the soil (sediment) seven sampling points from s of rice fields pre-germinated, three conventional cultivation systems, and four organics: P1, P2, P3, P4, P5, P6, and P7. Three sample collections were carried out on 11/11/2019, 03/12/2020, and 11/30/2020, in two rural areas located in the Gravatai River Basin in the municipality of Viamao/RS, defined according to the cultivation used in the areas rice crops: organic or conventional and origin of water used in irrigation (natural water course, reservoir and reuse/reuse). The analysis results of physical-chemical and microbiological parameters of this study show a deterioration of water quality caused to the irrigation rice crops pre-germinated, organic and conventional of sampled points, especially of the parameters: conductivity, DO, turbidity, phosphorus, aluminum, and manganese. The presence of thermotolerant coliforms, present in the sampled points, was less than 200 NMP/100 ml, which is the VMP of class 1 of CONAMA Resolution No. 357 (BRASIL, 2005); therefore, in class 1, except P4 and P5 that fall into class 2 and 3 respectively, indicating that drainage water from irrigated rice plantations with pre-germinated, conventional and organic cultivation systems are little impacted on quality by the release of domestic sewage and animal waste. Some parameters are deteriorating, decreasing water quality beyond the limits of class 3 of CONAMA resolution 357 (BRASIL, 2005), such as turbidity, DO, and phosphorus. The water quality index (WQI) is a good tool to assess and classify water quality, through which a decrease in water quality in the sampled points was found. The main parameter responsible for the drop in water quality can be attributed to the low DO levels. The springs monitored in this study: Aguas Claras dam, channels, and Gravatai river are in the process of eutrophication by phosphorus; in all 7 points, the values exceed the quality parameters defined by CONAMA Resolution 357/2005, for classes 1, 2, 3 and 4 for fresh water. The metals analyzed in the sediment: aluminum, arsenic, barium, cadmium, lead, cobalt, copper, chromium, iron, manganese, nickel, selenium, vanadium, and zinc, showed total concentrations No local sampled below the guiding values of soil quality as the prevention and investigation

of soil s agricultural s, set by CONAMA Resolution No. 420 (BRAZIL, 2009). Higher concentrations of zinc, nickel, and cobalt sediment were detected above the quality reference value (VRQ) defined by FEPAM Ordinance No. 85 (FEPAM, 2014), but below the VMP for research in agricultural soils and need attention, follow-up, and periodic monitoring. Irrigated rice cultivation practiced in the metropolitan region of Porto Alegre, especially in the Gravatai River basin, through the pre-germinated, conventional and organic rice cultivation system causes significant environmental impacts, with reduced water quality in the region's water courses, especially in the periods of soil preparation, sowing, maturation and harvesting of rice, when the crop is drained, a practice that should be avoided at any time due to the damage caused to the environmental quality of the resources. The impact of conventional rice farming, a pre-germinated cultivation system, is intensified; that is, it causes further deterioration of water quality, probably due to the use of chemical fertilization and pesticides.

Keywords: physical-chemical analysis; coliforms; irrigated rice; CONAMA n° 357/2005; CETESB; FEPAM Ordinance No. 85/2014.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Fases Fenológicas do arroz..... | 20 |
| Figura 2 – Localização dos pontos de amostragem nas áreas de cultivo orgânico e convencional no município de Viamão/RS. | 26 |
| Figura 3 – Pontos de coleta de água para amostragem em propriedade de cultivo de arroz orgânico: a) ponto 1 (P1) na Barragem Águas Claras, b) ponto 2 (P2) em um canal de drenagem, c) ponto 3 (P3) em um segundo canal de drenagem e d) ponto 4 (P4) em canal de drenagem de passagem da lavoura orgânica para a lavoura convencional. | 28 |
| Figura 4 – Pontos de coleta de água para amostragem em propriedade de cultivo de arroz tradicional: a) ponto 5 (P5) e b) ponto 6 (P6) em canais de drenagem e reuso da água e c) ponto 7 (P7) em canal de adução do Rio Gravataí. | 29 |
| Figura 5 – Análise de Componentes Principais (PCA) dos elementos físico-químicos e microbiológicos analisados nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado. Componente 1, com 64,72% de afinidade, separa o componente 2 com 16,03% de afinidade. Data de amostragem 12/03/2020. | 42 |
| Figura 6 – Análise de Componentes Principais (PCA) dos elementos físico-químicos e microbiológicos analisados nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado. Componente 1, com 73,14% de afinidade, separa o componente 2 com 17,86% de afinidade. Data de amostragem 30/11/2020. | 43 |
| Figura 7 – Análise de Componentes Principais (PCA) dos elementos físico-químicos e microbiológicos analisados nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado. Componente 1, com 60,37% de afinidade, separa o componente 2 com 30,80% de afinidade. Data de amostragem 11/11/2019. | 48 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Época de plantio e colheita do arroz irrigado convencional e orgânico no RS..... | 21 |
| Tabela 2 – Parâmetros analisados e metodologias aplicadas na análise do sedimento..... | 32 |
| Tabela 3 – Classificação do IQA. | 33 |
| Tabela 4 – Índice de Qualidade da Água (IQA) calculado nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado. | 41 |
| Tabela 5 – Resultados de análises físico-químicas (pH, N e C) e granulométrica do sedimento nos pontos amostrados em 11/11/2019 na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado. | 44 |
| Tabela 6 – Concentrações totais de elementos químicos nos pontos amostrados em 11/11/2019 na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado comparados com os teores permitidos em solo agrícola da Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009) e Valores de Referência de Qualidade (VRQ) para o grupo 4 de solo ocorrente por província geomorfológica/geológica do Rio Grande do Sul definido pela Portaria FEPAM nº 85 (FEPAM, 2014)..... | 46 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1. Objetivo Geral | 14 |
| 1.2. Objetivos Específicos | 14 |
| 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO..... | 15 |
| 2.1. A cultura do arroz no Brasil | 15 |
| 2.2. Arroz orgânico e convencional..... | 15 |
| 2.3. A irrigação na cultura do arroz..... | 17 |
| 2.4. Qualidade da Água | 19 |
| 2.5. Qualidade do solo | 22 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 25 |
| 3.1. Coleta de amostras de água e de solo | 25 |
| 3.2 Análises dos parâmetros microbiológicos | 30 |
| 3.3 Análises dos parâmetros físico-químicos..... | 30 |
| 3.4 Índice de Qualidade da Água | 32 |
| 3.5. Análise estatística | 34 |
| 4. RESULTADOS..... | 35 |
| 4.1. Análises físico-químicas da água nos pontos amostrados | 35 |
| 4.2 Análises microbiológicas da água nos pontos amostrados | 35 |
| 4.3 Índice de Qualidade da Água | 41 |
| 4.4 Análise integrada (Análise de Componentes Principais) dos fatores físico-químicos e microbiológicos das águas amostradas | 41 |
| 4.5 Análises físico-químicas do solo (sedimento) nos pontos amostrados..... | 43 |
| 4.6 Análise integrada (Análise de Componentes Principais) dos fatores físico-químicos dos sedimentos amostrados..... | 47 |
| 5. DISCUSSÃO..... | 49 |
| 6. CONCLUSÃO | 61 |
| 7. REFERÊNCIAS..... | 63 |

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor brasileiro de arroz com uma área colhida de 964.537 ha com produção total de 7.241.458 toneladas na safra 2018/2019 (IRGA, 2019). O sistema de cultivo mínimo é o mais utilizado no Estado com 60,6% da área, seguido pelo plantio convencional, pré-germinado e plantio direto com 24,9%, 12% e 2,5% da área, respectivamente. O sistema de cultivo de arroz pré-germinado é o mais utilizado na região da Planície Costeira Interna com 48.668 ha (35,1%), seguido pela Região Central e pela Planície Costeira Externa com 32.334 ha (24,4%) e 12.856 ha (11,4%) das áreas destas regiões, respectivamente. Entretanto, este sistema representa apenas 5,05%, 3,35% e 1,33% respectivamente da área total de arroz colhida do RS (IRGA, 2019).

Os cursos hídricos da região metropolitana de Porto Alegre no Estado do Rio Grande do Sul (RS) são utilizados principalmente para o abastecimento público e para a irrigação de arroz, mas também são os locais de preferência para a destinação de efluentes industriais, agropecuários e de esgoto sanitário, mesmo estando estes, fora dos padrões recomendados e permitidos para descarte.

A orizicultura irrigada através do sistema de cultivo pré-germinado, utiliza grandes volumes de água, variando de 8.000 m³/ha a 15.000 m³/ha, para a formação da lama no preparo inicial do solo, propiciando a semeadura do arroz pré-germinado propriamente dito. O rebaixamento da lâmina de água, realizada de 3 a 5 dias após a semeadura lança efluentes com elevada carga poluidora nos cursos hídricos. O sistema de cultivo de arroz pré-germinado afeta consideravelmente a qualidade da água do rio Gravataí, pelo lançamento de efluentes com elevada turbidez devido a alta concentração de sólidos em suspensão, decorrentes deste preparo do solo utilizado. No ano de 2016 o lançamento de água drenada de lavouras arrozeiras, com elevada turbidez, causou a interrupção do sistema de captação, tratamento e distribuição de água para o abastecimento público do município de Gravataí (FEPAM, 2016).

Apesar do cultivo de arroz pré-germinado não ser o mais utilizado no RS, é o cultivo adotado na região metropolitana de Porto Alegre. Com isso, os cursos hídricos desta região recebem frequentemente os efluentes contaminados com fertilizantes, agroquímicos, sólidos em suspensão, resíduos orgânicos carregados principalmente pela água de drenagem das lavouras orizícolas. Devido a isso, o tratamento e o fornecimento de água de qualidade para a população são prejudicados, ocasionando em algumas situações, a paralisação do sistema de abastecimento público de água. Portanto, pretende-se com este trabalho analisar a qualidade da

água de drenagem e do solo, através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, de dois tipos de cultivo de arroz pré-germinado no município de Viamão, o convencional e o orgânico.

1.1. Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água de drenagem e do solo provenientes de lavouras de arroz irrigado pré-germinado, em sistema de cultivo convencional e orgânico no município de Viamão, através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

1.2. Objetivos Específicos

- Analisar amostras de água e solo (sedimento) em 03 pontos de lavoura de arroz irrigado pré-germinado de cultivo convencional quanto às características físico-químicas e microbiológicas (coliformes totais e termotolerantes);
- Analisar amostras de água e solo (sedimento) em 04 pontos de lavoura de arroz irrigado pré-germinado de cultivo orgânico quanto às características físico-químicas e microbiológicas (coliformes totais e termotolerantes);
- Analisar e correlacionar os resultados físico-químicos e microbiológicos para avaliação da carga poluidora.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A cultura do arroz no Brasil

A cultura do arroz teve origem na Ásia e as primeiras coletas de mudas silvestres para o transplântio em um ‘cultivo controlado’ e domesticação do arroz selvagem ocorreram na China há aproximadamente 9.000 anos (MOLINA et al., 2011). Estudos genéticos mostraram que as três espécies de arroz cultivadas na atualidade em larga escala, *Oryza sativa* L., *Oryza indica* e *Oryza glaberrima* Steud originaram-se a partir de adaptações de arroz selvagem, o *Oryza rufipogon* Griff (HUANG et al., 2012).

O arroz é uma planta do gênero *Oryza* L., família Poaceae ou Gramíneae, que possui em torno de vinte espécies, sendo a mais cultivada a *Oryza sativa* (JULIANO, 1993). *O. sativa* é o segundo cereal mais cultivado no mundo, apenas atrás do milho, ocupando uma área aproximada de 161 milhões de hectares. A produção de cerca de 756,5 milhões de toneladas de grãos em casca corresponde a 29% do total de grãos usados na alimentação humana (SOSBAI, 2018).

O Brasil, com uma produção anual, base casca, entre 11 e 13 milhões de toneladas de arroz nas últimas safras, participa com 78% da produção do Mercosul (na média de 2009/10 até 2017/18), seguido pelo Uruguai, Argentina e, por último, o Paraguai, que na safra 2017/18 representou em torno de 6% do total produzido pelo bloco (SOSBAI, 2018). Os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Tocantins são responsáveis por mais de 80% da produção nacional de arroz. Especificamente, o RS responde por 69% da produção nacional (8,64 milhões de toneladas), cultivada em 1,12 milhão de hectares, com uma produtividade média de 7.716 kg/ha, (CONAB, 2015). Segundo o Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA (2019) a área colhida de arroz no RS na safra 2018/2019 foi de 964.537 ha, com produtividade de 7.508 Kg/ha e a produção total foi de 7.241.458 toneladas.

2.2. Arroz orgânico e convencional

A legislação brasileira define um produto orgânico, *in natura* ou processado, aquele que é obtido em um sistema orgânico de produção agropecuária, ou oriundo de processo extrativista sustentável e não prejudicial ao ecossistema local (BRASIL, 2019). No Brasil, o artigo 1º da Lei nº 10.831 (BRASIL, 2003) conceitua “sistema orgânico de produção agropecuária, todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos

naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente”. O parágrafo 2º deste mesmo artigo 1º amplia o conceito de sistema orgânico de produção agropecuária e industrial, abrangendo também os denominados: ecológico, biodinâmico, natural, regenerativo, biológico, agroecológicos, permacultura e outros que atendam os princípios.

Segundo o IRGA o plantio de arroz orgânico no RS ocupou 6.000 hectares na safra 2017/2018, sendo 4.600 ha em assentamentos do Movimento Sem Terra (MST). A produtividade média é de 100 sacas por hectare e o custo de produção é a metade na comparação com o cultivo tradicional que usa agroquímicos (IRGA, 2019). O desenvolvimento sustentável da orizicultura no Brasil passa por mudanças conceituais na forma de produção e requer a participação de toda a cadeia. No RS, essa temática está associada à preocupação com o meio ambiente, em especial da qualidade da água proveniente da lavoura de arroz irrigado tradicional, iniciada há vários anos (MATTOS et al., 2009). Embora existam esforços coletivos, institucionais, em torno dessa problemática, intensifica-se a busca por alternativas tecnológicas que forneçam a base para sistemas de produção de arroz orgânico, visto os benefícios para o meio ambiente e saúde, com a não utilização de agrotóxicos que são empregados na lavoura orizícola tradicional. Quando não utilizados em conformidade com a recomendação técnica, os agrotóxicos podem contaminar solos e águas e provocar efeitos negativos sobre os organismos da biota aquática e do solo dentro dos sistemas produtivos e no seu entorno. Da mesma forma, os fertilizantes, principalmente os nitrogenados e os fosforados, podem poluir tanto as águas superficiais como as subterrâneas. Níveis elevados de nitrato e fósforo nas águas podem levar à eutrofização, um aumento do crescimento de algas e esgotamento do oxigênio, gerando consequências desastrosas para os ecossistemas aquáticos (MATTOS et al., 2009).

Os sistemas orgânicos de produção vegetal devem priorizar a manutenção da qualidade da água e a adoção de manejo de pragas e doenças que respeitem a saúde humana e animal. Neste sentido, os orizicultores orgânicos devem fazer uso de substâncias e práticas, que não sejam prejudiciais, nem produzir impacto negativo prolongado sobre o meio ambiente e não acarretar poluição da água superficial ou subterrânea (MATTOS et al., 2009).

O atual padrão tecnológico utilizado nas lavouras de arroz, denominado de convencional, é baseado no uso intensivo de pesticidas, herbicidas e fungicidas das mais variadas faixas toxicológicas e com uso de fertilizantes químicos (BRANCO FILHO e MEDEIROS, 2012).

A agricultura convencional foi definida por Stotz (2012) como uma sistemática agrícola industrializada com exploração da monocultura, uso de insumos químicos (pesticidas, fertilizante) e pela mecanização com ênfase na lucratividade e no aumento de produção.

A agricultura convencional atual é altamente produtiva, mas com grande dependência de insumos externos, muitas vezes utilizados de forma errada causando impactos ambientais de grandes proporções (ROSSET et al., 2014).

2.3. A irrigação na cultura do arroz

A irrigação é uma prática agrícola a qual, através da utilização de um conjunto de técnicas e equipamentos, permite suprir a deficiência parcial ou total de água para as plantas. A irrigação é utilizada principalmente para a produção de hortaliças (verduras, frutas, legumes), mas também para a produção de grandes culturas (arroz, milho, feijão, soja) e até em pastagens (ANA, 2017).

A irrigação por superfície, por aspersão, localizada e subsuperficial são os quatro métodos principais, conforme a forma de aplicação da água. Na irrigação por superfície a água é aplicada diretamente na superfície do solo, controlando-se o nível para aproveitamento das plantas. Na aspersão a água é aplicada sob pressão acima do solo, através de aspersores ou orifícios, na forma de uma chuva artificial. Na irrigação localizada também conhecida por micro irrigação, são aplicados sob pressão, pequenos volumes de água, em uma área bastante limitada. No método subsuperficial também chamado subterrâneo a água é aplicada sob pressão, abaixo da superfície do solo, formando ou controlando o lençol freático diretamente na região onde as raízes das plantas se concentram (ANA, 2017).

Os sistemas de cultivo utilizados na cultura do arroz irrigado nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina diferenciam-se, basicamente, quanto à forma e à época de preparo do solo, aos métodos de semeadura e ao manejo inicial da água. Os principais sistemas utilizados são o convencional, o cultivo mínimo, o plantio direto, o pré-germinado e o transplante de mudas (SOSBAI, 2018). Independentemente do sistema de cultivo de arroz utilizado na região subtropical do Brasil, (convencional, direto, mínimo ou pré-germinado), o sistema de irrigação mais utilizado é o de inundação contínua ou permanente, que se caracteriza pela manutenção de uma lâmina de água com fluxo contínuo na lavoura. O manejo da água em

arroz irrigado por inundação é fundamental para o desempenho da cultura, visto que a água, além de contribuir fisicamente no controle de plantas daninhas, interfere na disponibilidade de nutrientes e na incidência de certas pragas e doenças (GOMES et al., 2008).

A implantação de uma lavoura de arroz pré-germinado compreende um conjunto de técnicas de cultivo, nas quais basicamente as sementes previamente germinadas são lançadas em quadros nivelados e previamente inundados. Assim sendo, tanto quanto a semente pré-germinada, a sistematização da área é um importante requisito para caracterizar o sistema (MATTOS e MARTINS, 2009). Neste sistema, o início da submersão do solo ocorre mais cedo, 20 a 30 dias antes da semeadura, em função da elevada presença de arroz-daninho no solo. Durante esse período, realiza-se o renivelamento do solo, utilizando-se o nível de água como referência ou em condições de solo seco, desde que este seja previamente sistematizado. Todavia, nas duas situações, a submersão do solo antecipada continua a ser recomendada pelo benefício no controle do arroz-daninho (vermelho e preto). Deste modo, a semeadura com sementes pré-germinadas deve ser realizada sobre uma lâmina de água com altura de 5 a 7 cm. Atualmente, não mais se recomenda, após a semeadura, a retirada da lâmina de água da lavoura, independentemente da cultivar, evitando-se, deste modo, perdas de solo, nutrientes e agrotóxicos. Este procedimento reduz os possíveis impactos ambientais negativos da lavoura orizícola e não afeta os níveis de produtividade (GOMES et al., 2008).

O sistema de cultivo de arroz pré-germinado é caracterizado principalmente pela drenagem inicial da lavoura, realizada poucos dias após a semeadura, para garantir o estabelecimento adequado da cultura. Esse manejo inadequado da água, ainda utilizado por muitos orizicultores, causa efeitos ambientalmente muito prejudiciais como a perda de nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio), de sólidos totais, transporte de agrotóxicos adsorvidos em partículas de solo, atingindo os mananciais hídricos. Além disso ocasionam o aumento da turbidez dos recursos hídricos, a reinfestação da área por plantas daninhas e implicam em uso adicional de água (SCIVITTARO et al., 2010).

A presença de uma lâmina de água durante o cultivo do arroz irrigado traz uma série de vantagens, destacando-se o aumento da disponibilidade de nutrientes presentes no solo, notadamente o fósforo, e o controle físico de plantas daninhas não aquáticas. A difusão do oxigênio através de uma lâmina de água é dez mil vezes menor que no ar, contribuindo para a redução da germinação e emergência de plantas daninhas. Embora a presença de lâmina de água seja importante durante todo o ciclo da cultura, as plantas de arroz apresentam fases em que a água é demandada em maior quantidade (GOMES et al., 2008).

No uso de sementes de arroz pré-germinadas em solo previamente inundado, conforme o manejo do solo e da água adotados pode favorecer uma maior ou menor perda de nutrientes e de sólidos totais na água, principalmente da primeira drenagem. Essa liberação poderá causar impactos ambientais negativos e prejuízos para os produtores, pois serão perdidos nutrientes que seriam aproveitados pelas plantas de arroz. Na produção orgânica de arroz irrigado, onde o sistema de cultivo pré-germinado é o mais utilizado, a drenagem deve ser evitada, pois essa prática aumenta a turbidez nos recursos hídricos, ocasiona o uso de uma maior quantidade de água e promove a reinfestação da área por plantas daninhas, principalmente o arroz vermelho (MATTOS e MARTINS, 2009).

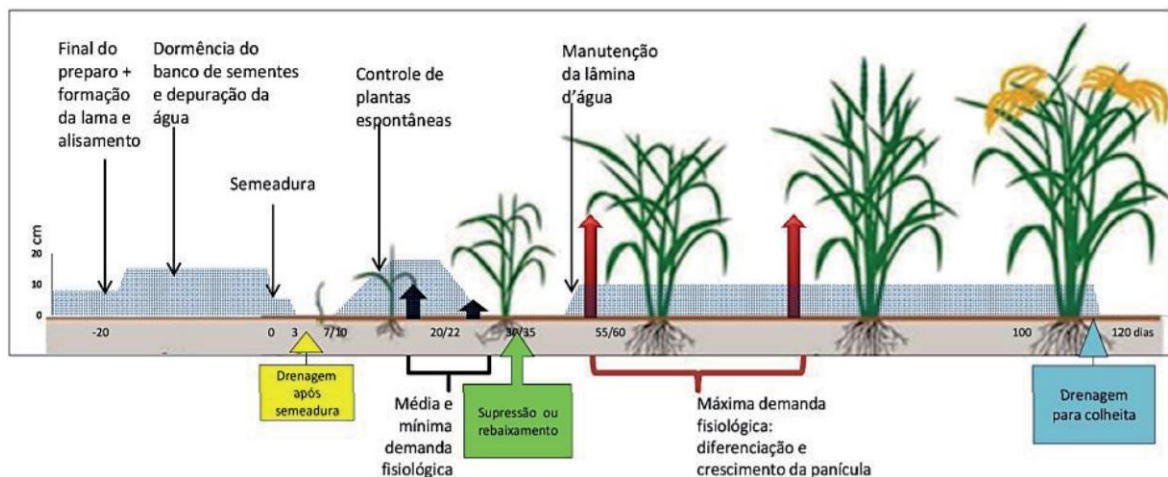
O licenciamento ambiental é um instrumento de gestão ambiental da Política Nacional de Meio Ambiente estabelecida pela Lei Federal nº 6938/1981 (BRASIL, 1981). Foi regulamentado pela Resolução nº 237/1997 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1997), é uma obrigação legal que objetiva conciliar as atividades humanas com a proteção ambiental. A licença ambiental é necessária à construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental. A resolução nº 284/2001 do CONAMA (BRASIL, 2001) dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação, onde no §2º do Art. 1º o define como o conjunto de obras e atividades que o compõem, tais como: reservatório e captação, adução e distribuição de água, drenagem, caminhos internos e a lavoura propriamente dita, bem como qualquer outra ação indispensável à obtenção do produto final do sistema de irrigação. No RS, que possui a maior área irrigada do Brasil, o licenciamento ambiental de empreendimentos irrigantes, está regrado principalmente pela Resolução nº 323/2016 do CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente (RIO GRANDE DO SUL, 2016), alterada pela Resolução nº 340/2018 (RIO GRANDE DO SUL, 2018) e relacionadas posteriores (LIPP-NISSINEN e RODRIGUES, 2018).

2.4. Qualidade da Água

A agricultura é a principal atividade econômica usuária da água do planeta, responsável por 70% a 80% do consumo. Apenas nos Estados Unidos e em alguns países europeus a indústria supera esse consumo. No Brasil, 69% do consumo é utilizado para a irrigação, 13% para o consumo da população urbana e rural, 11% para o consumo animal e 7% para as indústrias (ANA, 2012).

O arroz irrigado através do sistema pré-germinado de cultivo convencional e orgânico são muito semelhantes, principalmente quanto ao preparo do solo, com a formação de lama para a realização de sementeira das sementes pré-germinadas propriamente dito. No sistema pré-germinado de cultivo convencional durante o preparo do solo (Figura 1) ocorre a incorporação de calcário, fertilizantes (NPK) e restos culturais do cultivo anterior, enquanto no cultivo orgânico são incorporados ao solo durante o preparo, além do calcário, o adubo orgânico (cama de aves), fosfato natural e os também os restos culturais. Em relação à sementeira, a principal diferença entre os 2 sistemas refere-se principalmente que no arroz orgânico não podem ser utilizadas sementes de arroz geneticamente modificadas. Quanto ao restante do ciclo para a cultura de arroz irrigado, o manejo da lâmina de água seria semelhante para os 2 sistemas, ocorrendo apenas o rebaixamento da lâmina de água no sistema convencional, para a realização da adubação nitrogenada em cobertura (ureia), aplicação de herbicidas, inseticidas, fungicidas, etc. os quais na produção de arroz orgânico não são realizadas em função da não utilização de insumos de síntese química e agroquímicos. No final do ciclo da cultura (maturação e colheita) a irrigação é suprimida, nos dois cultivos (orgânico e convencional) possibilitando desta forma a realização da colheita do arroz com o solo seco (Tabela 1).

Figura 1 – Ciclo produtivo de arroz irrigado no sistema pré-germinado.



Fonte: Adaptado de ANGHINONI et al. (2020).

Tabela 1 – Época de plantio e colheita do arroz irrigado convencional e orgânico no RS.

| Arroz | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Plantio | | | | | | | | | | | P | P |
| Colheita | | | C | C | | | | | | | | |

Legenda: Época de plantio; Época de colheita; **P** – Concentração do plantio; **C** – Concentração da colheita

Fonte: Elaborado pelo autor

A qualidade da água é definida simplesmente pelas características físicas, químicas e biológicas e decorrentes destas são estipuladas as suas diferentes finalidades. A qualidade da água superficial e subterrânea é um reflexo do regime de chuvas, escoamento superficial, geologia, cobertura vegetal, lançamento de efluentes, uso e manejo do solo na bacia hidrográfica, neste contexto a atividade agropecuária, com alto potencial degradador, tem relevância destacada na contaminação dos mananciais (MERTEN e MINELLA, 2002; ANA, 2018).

A qualidade da água para o abastecimento público da população é diretamente afetada pelo lançamento de efluentes domésticos com contaminantes orgânicos, nutrientes e microrganismos patogênicos. Bem como por efluentes industriais orgânicos e inorgânicos e pelos efluentes resultantes do deflúvio superficial agrícola compostos por sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos animais.

A qualidade da água medida pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) avalia um conjunto de condições e padrões necessários ao atendimento dos usos preponderantes da água, atuais ou futuros. A própria resolução define as formas de controle e monitoramento das águas para categorização de classes e por consequência de usos (MARTINS, 2018). As águas doces são classificadas em:

I – Classe especial – águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II – Classe 1 – águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;

- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274 (BRASIL, 2000);
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
- e) à proteção das comunidades aquáticas em terras Indígenas.

III – Classe 2 – águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274 (BRASIL, 2000);
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) à aquicultura e a atividade de pesca.

IV – Classe 3 – águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário;
- e) a dessedentação de animais.

V – Classe 4 – águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação;
- b) à harmonia paisagística

2.5. Qualidade do solo

A contaminação dos ecossistemas aquáticos é resultante das atividades antropogênicas e constitui uma das grandes preocupações ecológicas dos últimos tempos. Assim, os padrões de uso do solo têm importante influência sobre a qualidade da água (superficial e subterrânea) e os ecossistemas aquáticos, dentro de uma bacia hidrográfica. Em áreas rurais, geralmente, o uso e o manejo das terras agrícolas têm forte influência sobre as concentrações de nutrientes na

água, como o nitrogênio e o fósforo. Enquanto em áreas urbanas e industriais o uso e a ocupação do solo têm sido associados com a poluição orgânica, bem como metais pesados e nutrientes (MENEZES et al., 2016).

A adoção de novas tecnologias na agropecuária (em especial os insumos), causam perda de biodiversidade, afetam decisivamente a estrutura e a funcionalidade dos ecossistemas, pois reduzem a eficiência na captura de recursos biológicos essenciais, a produção de biomassa, a decomposição e a reciclagem de nutrientes essenciais. Causam impactos significativos sobre funções ecológicas essenciais. Entre estes impactos estão a degradação do solo pela erosão e pela compactação, a infestação por plantas invasoras e a abertura de novas áreas para agricultura, porém o uso de agroquímicos (agrotóxicos e fertilizantes) foi identificado como a maior fonte de ameaças à qualidade da água, à saúde dos cursos hídricos e do solo, à polinização e ao controle biológico de pragas (SMITH e SULLIVAN, 2014; WOLFF, 2017).

A utilização indiscriminada de fertilizantes e pesticidas, a mineração, a falta de saneamento básico, os resíduos líquidos urbanos e industriais, as partículas resultantes do desgaste de pneus, os resíduos provenientes de combustíveis, os óleos e graxas, o lixo acumulado nas ruas são as principais fontes de contaminação do solo e dos corpos de água por metais tóxicos. A preocupação com este tipo de contaminação está diretamente ligada à capacidade de retenção e mobilidade destes metais no solo, da possibilidade de atingir o lençol freático e serem adsorvidos pelas plantas, podendo atingir a cadeia alimentar humana através da ingestão de água ou hortaliças (LUNARDI, 2018).

A agricultura constitui uma fonte significativa de poluição de corpos d'água por metais. As principais fontes são os fertilizantes com potencial para liberação de cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb) e zinco (Zn), os pesticidas que liberam Cu, Pb, Mn, Zn, os preservativos de madeira, tais como, cobre (Cu) e Cromo (Cr) e a produção intensiva de bovinos, suínos e aves que utilizam Cu e Zn na formulação de rações e condicionantes alimentares (LIMA, 2013; LUNARDI, 2018).

Os solos funcionam como um compartimento tampão para os elementos químicos inorgânicos, orgânicos e xenobióticos. Para os elementos orgânicos e xenobióticos, os atributos biológicos (macro, microrganismos e matéria orgânica) dos solos, imobilizam, quelatizam, degradam e mineralizam estes elementos, eliminando ou minimizando sua toxicidade. Em se tratando dos elementos inorgânicos como os metais pesados, os atributos químico-físicos dos solos retêm estes elementos em sua matriz orgânica e inorgânica, minimizando a disponibilidade dos mesmos e possíveis impactos relativos a uma labilidade excessiva dos

metais pesados. Porém, se cria um problema quando o limite de retenção característico do solo é ultrapassado (CAIRES, 2009).

A análise de metais em sedimentos é uma importante ferramenta para avaliação das condições ambientais de ambientes aquáticos, pois estes podem acumular concentrações de metais tóxicos mais elevadas do que na coluna da água. Os metais de origem antrópica frequentemente entram no ambiente como complexos inorgânicos ou íons hidratados, o que favorece sua conexão com os sedimentos superficiais através de fracas ligações físico-químicas. Parte desses metais fica na forma biodisponível, tornando a contaminação persistente. Por esses aspectos, ressalta-se a importância do monitoramento dos sedimentos de rios e lagos para proteção dos ecossistemas aquáticos (BORDON et al., 2011).

No Brasil, a Resolução CONAMA n°420 (BRASIL, 2009) dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Esta resolução estabelece valores orientadores para os solos e águas subterrâneas, propondo valores de prevenção (VP) e valores de investigação (VI) para área residencial, agrícola e industrial. Esta resolução também define que os órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal estabeleçam valores de referência de qualidade do solo (VRQ). Quatro classes de solo são estabelecidas considerando a concentração das substâncias químicas presentes. Na classe I estão inseridos os solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ. Na classe II estão os solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao valor de prevenção (VP). Na classe III estão os solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao valor de investigação (VI). Na classe IV estão inseridos os solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI (LUNARDI, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta de amostras de água e de solo

O estudo foi realizado em duas áreas rurais representativas da orizicultura irrigada, com grande tradição no cultivo de arroz, localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, no município de Viamão /RS (região metropolitana de Porto Alegre/RS), sendo inseridas em unidades de conservação: a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG) e na zona de amortecimento do Refúgio de Vida Silvestre Banhado dos Pachecos (RVSBP). Uma propriedade produz arroz convencional e a outra produz arroz orgânico (base agroecológica), ambas utilizando o sistema de cultivo pré-germinado. As propriedades estão localizadas em uma bacia hidrográfica das mais degradadas do Estado do RS, sendo o rio Gravataí o mais sensível da região, importantíssimo para o abastecimento público de água para as populações urbanas de Gravataí e Alvorada. Estão licenciadas ambientalmente com licença de operação na Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM, órgão ambiental do estado do RS, através do ramo 111,30 – irrigação pelo método superficial com barragens, açudes ou sem uso de reservatórios, conforme regras da Resolução CONSEMA Nº 323 (RIO GRANDE DO SUL, 2016), alterada pela Resolução CONSEMA Nº 340 (RIO GRANDE DO SUL, 2017), identificados por empreendimento número 131.965 (LO Nº 04255/2016 – DL) e 145.939 (LO Nº 08409/2016 – DL).

O solo desta região é um planossolo háplico eutrófico arênico, com textura arenosa desde a superfície até 100 cm de profundidade, com grande propensão à erosão, conforme a classificação da EMBRAPA (2018).

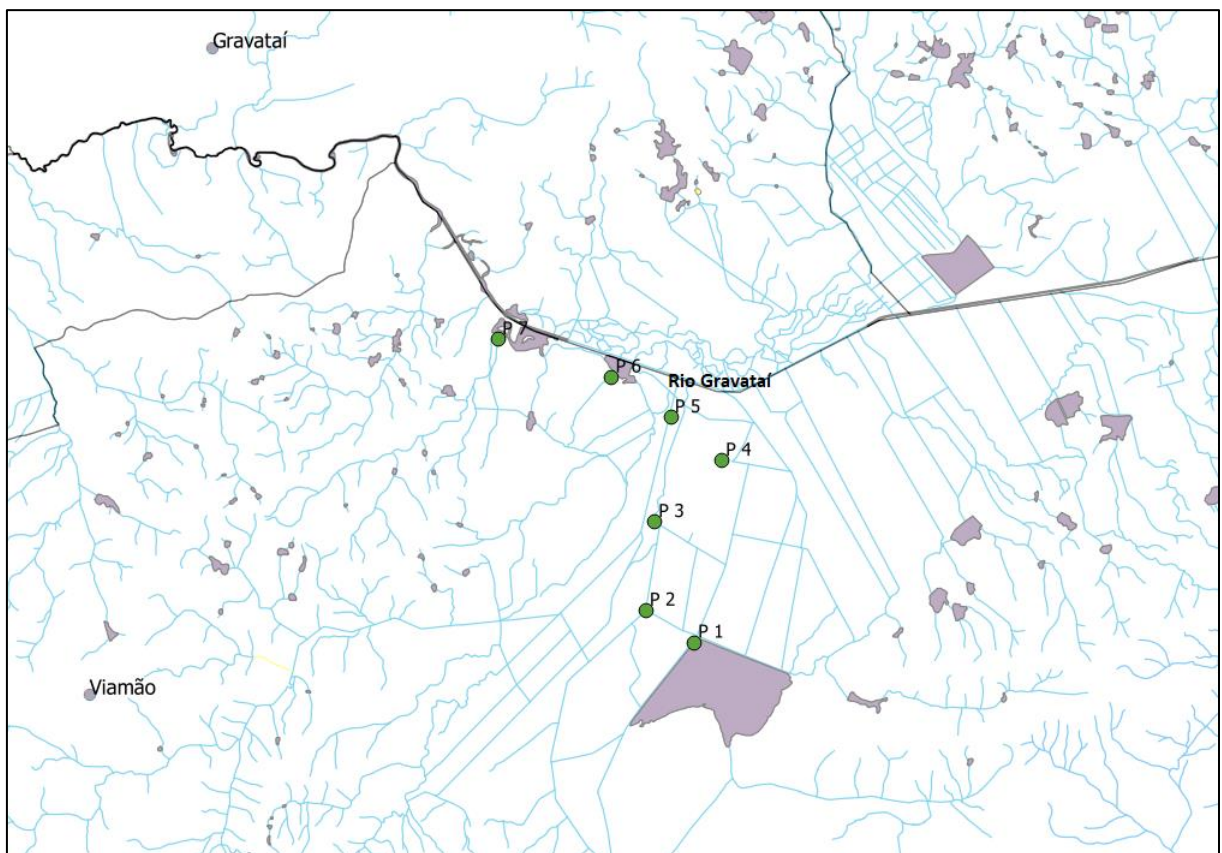
Na safra 2019/2020, a lavoura de arroz convencional de arroz foi semeada a partir de 15 de setembro até 15 de dezembro. Foram aplicados 2,0 ton/ha de calcário dolomítico, adubação de base com 250 kg/ha da fórmula 09-23-30 e 250 kg/ha de adubação em cobertura da fórmula 45-00-00. A irrigação do arroz iniciou em 20/09/2019 e foi encerrada no dia 01/03/2020. A colheita do arroz ocorreu do dia 07/03/2020 ao dia 07/05/2020. Já na safra 2020/2021, a semeadura do arroz foi realizada de 15/09/2020 a 12/12/2020, com a realização de adubação de base com 250 kg/ha da fórmula 11-30-20 e 250 kg/ha da fórmula 45-00-00 em cobertura. A irrigação do arroz iniciou no dia 20/09/2019 e foi encerrada no dia 01/03/2020.

Na lavoura de arroz orgânica a semeadura inicia-se na última semana de setembro e se estende até a última semana de dezembro, com a maioria das áreas sendo cultivadas no período preferencial (outubro e novembro). São efetuadas adubação orgânica com cama de poedeira,

cama de frango, vermicomposto, folheto mix, *terraplant* na base, com 4.000 kg/ha. Não são utilizados defensivos agrícolas.

Os pontos de amostragem nas lavouras de arroz, no total de sete (Figura 1), de água e de solo para as análises, foram definidos em função do cultivo usado nas áreas: orgânico ou convencional, e conforme a origem da água utilizada na irrigação: curso hídrico natural, reservatório e reuso ou reutilização. Na figura 1 observa-se que os pontos de coleta 1 a 4 estão localizados em área de lavoura de arroz orgânico, cuja origem da água para irrigação é um reservatório (ponto 1). Os demais três pontos de coleta da água estão localizados em área de lavoura de arroz convencional cuja água utilizada para irrigação é originária do Rio Gravataí (ponto 7), dos reservatórios e do reuso ou utilização de águas sobejas próprias ou oriundas da lavoura orgânica (pontos 5 e 6). Os locais de coleta foram georreferenciados através de GPS, as coordenadas geográficas estão expressas em graus decimais no *datum* SIRGAS 2000.

Figura 2 – Localização dos pontos de amostragem nas áreas de cultivo orgânico e convencional no município de Viamão/RS.

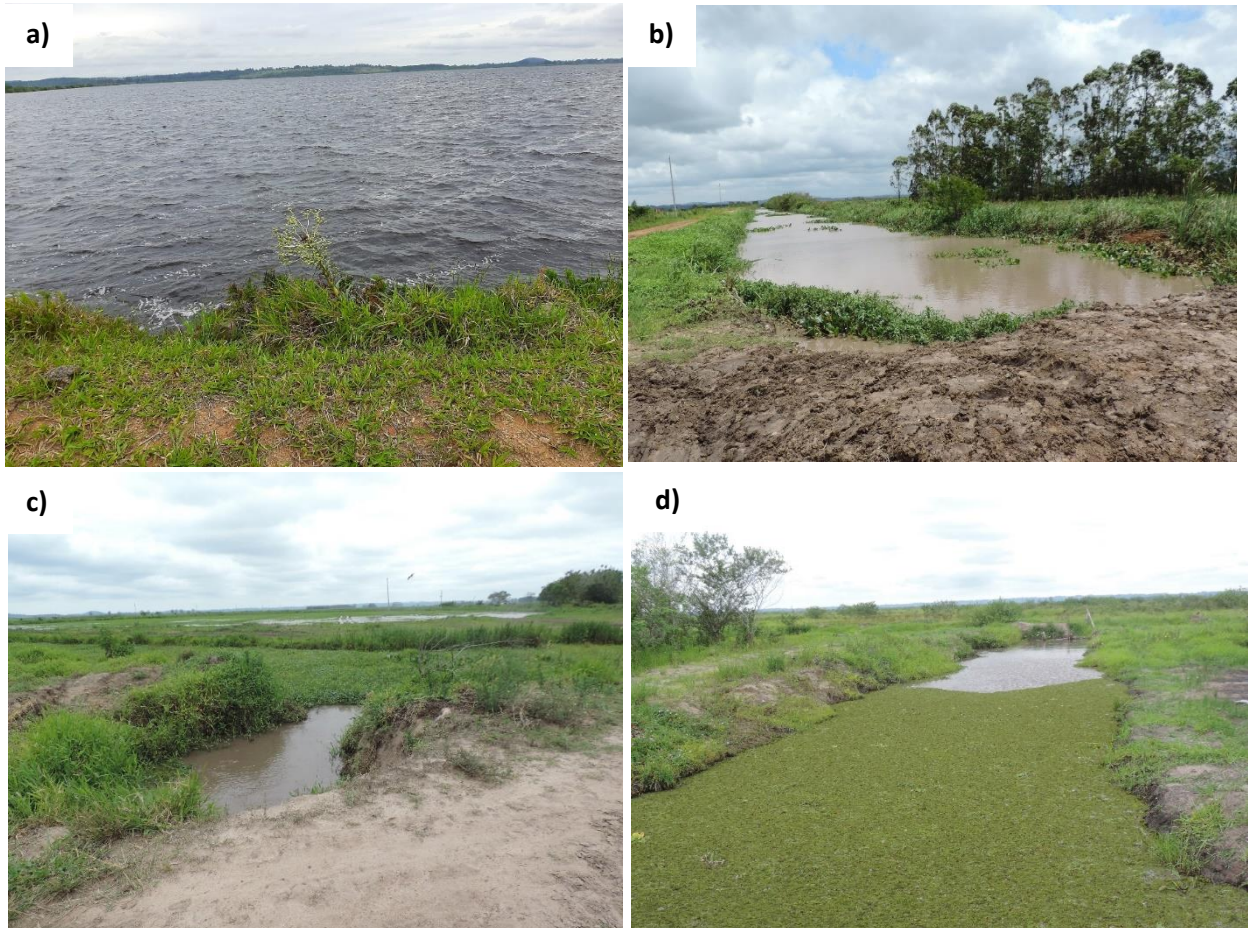


Legenda: — Curso hídrico Reservatório ● Pontos de amostragem - - - Divisa Municipal

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O ponto 1 (P1) (Figura 2a) está localizado no reservatório da Barragem de Águas Claras (Viamão/RS) (-30,070590 e -50,874573), com um volume de água armazenado de 16.277.750 m³ que irriga por gravidade a área total de cultivo de arroz orgânico situada à jusante. O ponto 2 (P2) e 3 (P3) (Figura 2b e 2c) estão localizados em canais de drenagem da lavoura de arroz orgânica (-30,063640 e -50,886690; -30,044350 e -50,884500), sendo o P3 com contribuição de águas servidas que são drenadas de quadras de arroz situadas a montante deste ponto, inclusive com contribuição do P2. O ponto 4 (P4) (Figura 2d) está localizado também em canal de drenagem (-30,030999 e -50,867704), na extremidade norte da área de produção de arroz orgânico, junto à divisa com a lavoura de produção de arroz convencional. Neste ponto convergem as águas drenadas oriundas das áreas cultivadas da lavoura orgânica, inclusive as drenadas de P1, P2 e P3, com passagem pelo banhado artificial, formado para o armazenamento e decantação das águas servidas. Essas águas sobejas, passam para a área de lavoura de arroz convencional através de tubulação tipo *by-pass*, complementada por um sistema de comporta tipo “abre e fecha”. São reutilizadas para irrigação de 200 ha na lavoura de arroz convencional, através de um sistema de recalque por bombeamento elétrico situados em canais, do P5 e P6.

Figura 3 – Pontos de coleta de água para amostragem em propriedade de cultivo de arroz orgânico: a) ponto 1 (P1) na Barragem Águas Claras, b) ponto 2 (P2) em um canal de drenagem, c) ponto 3 (P3) em um segundo canal de drenagem e d) ponto 4 (P4) em canal de drenagem de passagem da lavoura orgânica para a lavoura convencional.

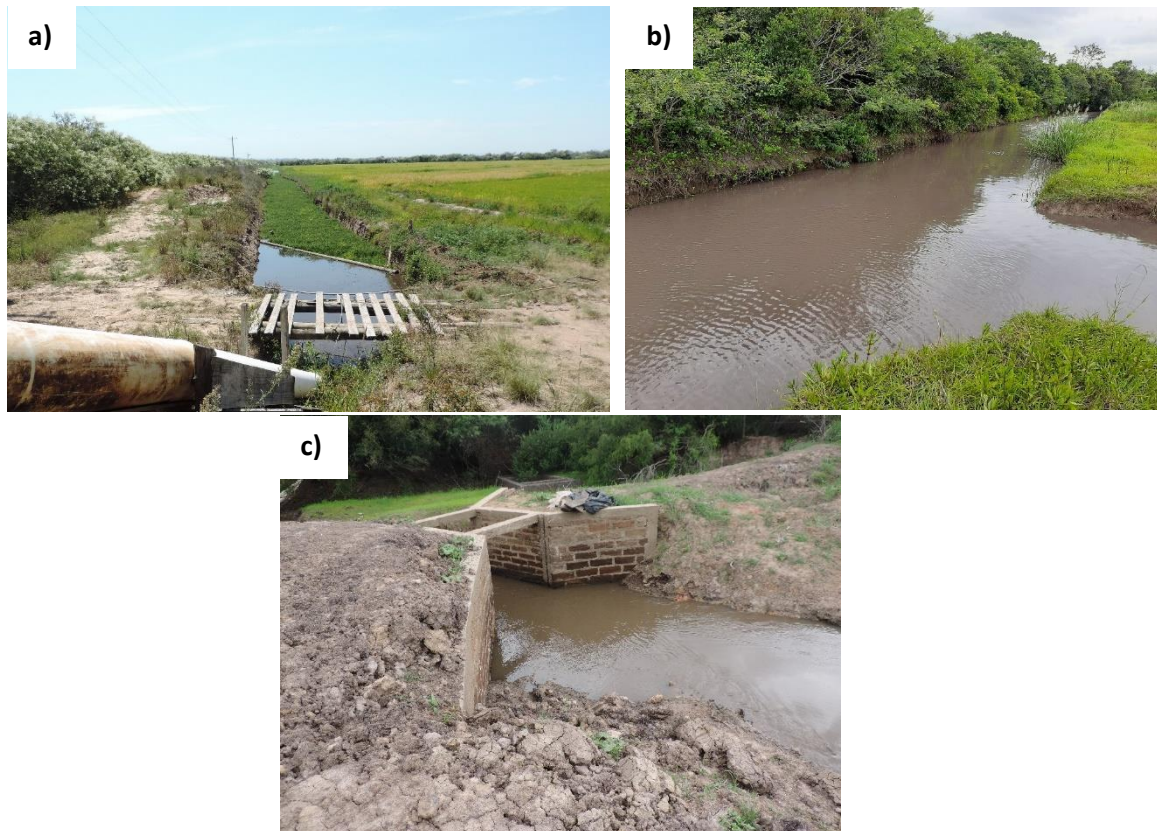


Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O ponto 5 (P5) (Figura 3a) está localizado em canal de drenagem da lavoura de arroz convencional (-30,021599 e -50,880455), com águas drenadas oriundas da área orizícola à montante do canal, bem como das águas sobejas oriundas da drenagem da lavoura orgânica, que passam pelo P4. Estas águas retornam para o sistema de irrigação através de um sistema de recalque por bombeamento elétrico instalado no final do canal. O ponto 6 (P6) (Figura 3b) está localizado em canal de drenagem da lavoura convencional (-30,012875 e -50,895273), com águas oriundas das áreas orizícolas situadas à montante do canal, bem como também do P5, visto que os canais são interligados. O ponto 7 (P7) (Figura 3c) está localizado no canal de adução do Rio Gravataí (-30,004383 e -50,923700), sendo esta a principal fonte de água para irrigação por inundação da lavoura convencional (900 ha), captada através de uma estação de

recalque com bombeamento elétrico. A água drenada pode ser novamente reutilizada através dos P5 e P6.

Figura 4 – Pontos de coleta de água para amostragem em propriedade de cultivo de arroz tradicional: a) ponto 5 (P5) e b) ponto 6 (P6) em canais de drenagem e reuso da água e c) ponto 7 (P7) em canal de adução do Rio Gravataí.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

As coletas de água nos sete pontos amostrais foram realizadas nos dias 11 de novembro de 2019, 12 de março de 2020 e 30 de novembro de 2020. A água amostrada foi armazenada em frascos de vidro e de plástico previamente esterilizados e higienizados, sendo a sua preservação específica inerente à cada análise. Foram coletadas amostras de solo (sedimentos) no dia 11 de novembro de 2019, associados aos locais de amostragem de água superficial, com auxílio de pás plásticas e acondicionadas em sacos plásticos.

3.2 Análises dos parâmetros microbiológicos

A análise dos parâmetros microbiológicos foi realizada no Laboratório de Microbiologia Agrícola do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária – DDPa da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do RS.

A partir de cada amostra bruta de água, foram feitas diluições seriadas até a diluição 10^{-5} . Para a quantificação de coliformes totais e termotolerantes foi utilizada a técnica do Número Mais Provável (NMP), onde foi aplicado 1 mL de cada diluição em 5 séries de 5 tubos contendo 9 mL do substrato cromogênico (Colilert® IDEXX), estes tubos foram incubados por 24 horas a 35°C. Os tubos com mudança da cor original para amarelo foram considerados positivos para coliformes totais. Para a confirmação dos coliformes termotolerantes, os tubos positivos foram submetidos à luz ultravioleta sendo considerados positivos aqueles com emissão de fluorescência. Os resultados dessas diluições foram avaliados através de combinações de contagem de tubos com resultado positivo e comparação com a tabela de Número Mais Provável (NMP).

3.3 Análises dos parâmetros físico-químicos

As análises físico-químicas das amostras de água foram realizadas no Laboratório de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Nanotecnológico da Universidade La Salle e no Laboratório de Análises Ambientais da FEPAM. Contemplaram os parâmetros: sólidos totais dissolvidos (mg/L), sólidos em suspensão (mg/L), alcalinidade total (mg/L), cloreto total (mg/L), DQO (mg/L), DBO (mg/L), fósforo total (mg/L) e nitrogênio amoniacal (mg/L) e permitiram o enquadramento dos locais monitorados conforme a classificação determinada na Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) e Resolução CONAMA nº 420 (Brasil, 2009).

Nas coletas de amostras de água dos dias 12/03/2020 e 30/11/2020 foram utilizadas sondas multiparâmetro HI 9829 (HANNA INSTRUMENTS) e EXO1 (YSI), respectivamente, para a medição da condutividade, oxigênio dissolvido, salinidade, temperatura, turbidez e pH in loco.

Os demais parâmetros inorgânicos: alumínio (Al), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), zinco (Zn) foram analisados no Laboratório de Análises Ambientais da FEPAM.

A identificação dos metais presentes no sedimento foi realizada através da espectrometria de emissão óptica de plasma indutivamente acoplado (ICP – OES) através de equipamento

Perkin Elmer, modelo Optima 7300 DV, do Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), os quais permitiram o enquadramento dos locais amostrados com sedimentos (solo) monitorados conforme a Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009). A tabela 1 apresenta os parâmetros físico-químicos analisados para o sedimento, assim como, as metodologias aplicadas.

Tabela 2 – Parâmetros analisados e metodologias aplicadas na análise do sedimento.

| Parâmetros físico-químicos | Metodologia aplicada/ Limite de detecção |
|-----------------------------------|--|
| pH | Relação amostra: água 1:5/ potenciometria |
| Carbono Orgânico - % (m/m) | Combustão úmida/ Walkley-Black / 0,01% |
| Nitrogênio (TKN) - % (m/m) | Kjeldahl / 0,01% |
| Fósforo total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,01% |
| Potássio total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,01% |
| Cálcio total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,01% |
| Magnésio total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,01% |
| Enxofre total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,01% |
| Cobre total - mg/kg | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,6mg/kg |
| Zinco total - mg/kg | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 2 mg/kg |
| Ferro total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 4mg/kg |
| Manganês total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 4 mg/kg |
| Sódio total - mg/kg | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 10 mg/kg |
| Alumínio total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 20 mg/kg |
| Cádmio total - mg/kg | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,2 mg/kg |
| Cromo total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,4 mg/kg |
| Níquel total - mg/kg | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,4 mg/kg |
| Chumbo total - mg/kg | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 2 mg/kg |
| Arsênio total - mg/kg | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 2 mg/kg |
| Selênio total - mg/kg | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 4 mg/kg |
| Bário total - % (m/m) | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 1 mg/kg |
| Vanádio total - mg/kg | Digestão úmida nítrico perclórica / ICP-OES/ 0,2 mg/kg |
| Molibdênio total - mg/kg | Digestão seca / ICP-OES / 0,2 mg/kg |
| Boro total - mg/kg | Digestão seca/ ICP- OES / 1 mg/kg |
| Mercurio - mg/kg | Digestão úmida EPA 7471 A/vapor frio / 0,01 mg/kg |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

3.4 Índice de qualidade da água

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi adaptado e desenvolvido pela CETESB (2021), tendo como referência o estudo desenvolvido pela “National Sanitation Foundation” dos EUA, em 1970. É um número simples, indica numa escala de 0 a 100, o nível de contaminação presente no curso hídrico, baseado nos parâmetros físico-químicos e microbiológico

(coliformes termotolerantes) de nove variáveis de qualidade da água. Representa a qualidade da água de um local ao longo do tempo, sendo expresso pela seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA – Índice de Qualidade da Água, representado por um número entre 0 e 100

q_i – qualidade do i -ésimo parâmetro, também expresso por um número entre 0 e 100, obtida da respectiva “curva média de variação de qualidade” em função da concentração ou medida.

w_i – peso correspondente ao i -ésimo parâmetro (número entre 0 e 1), atribuído em função da sua importância para conformação global de qualidade.

n – número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Para o cálculo do índice de qualidade da água proposto pela CETESB (2021), foram aplicados pesos para cada variável, que determinam a sua importância na determinação do IQA: para oxigênio dissolvido (mg/L) – 0,17; coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) – 0,15; pH – 0,12; demanda bioquímica de oxigênio (mg/L) – 0,10; nitrogênio amoniacal (mg/L) – 0,10; fósforo total (mg/L) – 0,10; turbidez (UNT) – 0,08; sólidos totais (mg/L) – 0,08 e temperatura (°C) – 0,10. O oxigênio dissolvido, os coliformes termotolerantes, o pH e a demanda bioquímica oxigênio são indicadores que respondem por 54 % dos valores do IQA.

Decorrente das análises laboratoriais destes nove parâmetros, o resultado do cálculo do IQA como índice, possibilita classificar a qualidade da água de um manancial de péssimo a ótimo, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do IQA.

| Categoria | Ponderação |
|-----------|---------------------|
| ÓTIMA | $79 < IQA \leq 100$ |
| BOA | $51 < IQA \leq 79$ |
| REGULAR | $36 < IQA \leq 51$ |
| RUIM | $19 < IQA \leq 36$ |
| PÉSSIMA | $IQA \leq 19$ |

Fonte: CETESB (2021).

3.5 Análise estatística

Para análise integrada dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, foi realizada a Análise de Componentes Principais através do *software* Past 3.14, uma técnica de estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais (VARELLA, 2008).

4. RESULTADOS

4.1 Análises microbiológicas da água nos pontos amostrados

Nas análises microbiológicas realizadas nas águas coletadas nos pontos da lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado, pode-se observar que os maiores valores encontrados de coliformes termotolerantes (CT) foram de $2,4 \times 10^2$ no P4 (lavoura orgânica) e $3,3 \times 10^3$ NMP/100 ml no P5 (lavoura convencional), classificando estas águas como Classe 2 e Classe 3 (Brasil, 2005), respectivamente, na coleta do dia 30/11/2020 (Tabela 3). O parâmetro coliformes totais não consta na Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) e por isso não foi classificado.

Tabela 3 – Coliformes totais e coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) presentes nas águas nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado, comparados com os enquadramentos de Classes na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005): Classe 1 (verde), Classe 2 (azul), Classe 3 (laranja) e Classe 4 (vermelho).

| Parâmetros | Data | Lavoura arroz orgânica | | | | Lavoura arroz convencional | | |
|----------------------------|------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|
| | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 |
| Coliformes totais | 11/11/2019 | $1,5 \times 10^4$ | $1,6 \times 10^5$ | $3,0 \times 10^4$ | $1,3 \times 10^5$ | $9,0 \times 10^4$ | $5,0 \times 10^4$ | $1,3 \times 10^5$ |
| | 12/03/2020 | $2,3 \times 10^4$ | $3,0 \times 10^5$ | $1,3 \times 10^5$ | $1,4 \times 10^4$ | $4,3 \times 10^4$ | $5,0 \times 10^3$ | $8,0 \times 10^3$ |
| | 30/11/2020 | $9,2 \times 10^5$ | $1,3 \times 10^5$ | $7,9 \times 10^4$ | $9,2 \times 10^5$ | $>1,6 \times 10^3$ | $1,3 \times 10^5$ | $3,5 \times 10^2$ |
| Coliformes termotolerantes | 11/11/2019 | 17 | 21 | 17 | 30 | 4 | 8 | 70 |
| | 12/03/2020 | 4 | 13 | 50 | 13 | 6 | 17 | 8 |
| | 30/11/2020 | 1 | 17 | 11 | $2,4 \times 10^2$ | $3,3 \times 10^3$ | 21 | 7,8 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

4.2 Análises físico-químicas da água nos pontos amostrados

Os resultados das análises físico-químicas indicaram uma significativa variação da classificação de qualidade da água entre os pontos analisados de cultivo de arroz orgânico e tradicional.

Nas coletas realizadas no dia 11/11/2019 não foi possível analisar os parâmetros condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, cloretos, demanda química de oxigênio e principalmente o oxigênio dissolvido, a temperatura da água o fósforo total e o

nitrogênio amoniacal importantes para o enquadramento das águas. Os parâmetros físico-químicos que foram analisados referem-se ao pH, Turbidez e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) (Tabela 4). Pode-se observar que a turbidez e a DBO₅ enquadraram a maioria das águas amostradas como Classe 4 de acordo com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Observa-se, portanto, um maior valor de DBO₅ nos pontos localizados na lavoura orgânica. Não foi possível analisar a DBO₅ no P1 e no P7. Para o parâmetro pH não foi possível a classificação, devido a legislação estabelecer o pH somente entre 6,0 a 9,0 (BRASIL, 2005), e nas amostragens o pH variou de 5,6 no P2 a 5,50 nos outros pontos (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado, comparados com os enquadramentos de Classes na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005): Classe 1 (verde), Classe 2 (azul), Classe 3 (laranja), Classe 4 (vermelho) e com qualidade inferior à Classe 3 ou 4 (amarelo). Data de amostragem 11/11/2019.

| Parâmetros | Lavoura arroz orgânica | | | | Lavoura arroz convencional | | |
|-------------------------|------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 |
| pH | 5,50 | 5,60 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 | 5,50 |
| Turbidez (NTU) | 39,1 | 925,3 | 260,3 | 50,2 | 275,0 | 49,3 | 21,6 |
| DBO ₅ (mg/L) | - | 11,17 | 13,10 | 19,32 | 6,89 | 16,82 | - |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Conforme a Tabela 5, nas amostras de água coletadas no dia 12/03/2020, o oxigênio dissolvido (OD) classificou o P2 e o P5 como águas de Classe 4, com os valores de 3,57 e 2,57 mg/L, respectivamente. O OD do P1 foi classificado como Classe 3 (4,36 mg/L) e o P6 como Classe 2 (5,22 mg/L) (Tabela 5). No P3 e P4, os valores de OD foram tão baixos (0,48 e 0,96 mg/L) que ultrapassaram os níveis de classificação da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), não sendo possível seu enquadramento acima de uma Classe 4. Destaca-se que o P2, P3 e o P4 situam-se em área de agricultura orgânica. A turbidez alcançou os maiores níveis no P4 e P5, com 46,9 e 70,6 NTU, respectivamente, classificando estes pontos como águas de Classe 2. O enquadramento do ferro (Fe) ficou em Classe 3 no P1, P3, P4, P5 e P6, sendo que a sua elevação foi gradual entre os pontos, sendo o maior nível encontrado no P5 (3,0 mg/L) e o menor no P1 (0,907 mg/L). No P2 e no P7 o Fe encontrado (10,9 e 5,18 mg/L) também ultrapassou os níveis de classificação da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), não sendo possível seu enquadramento acima de uma Classe 4. Ressalta-se aqui que o maior valor de Fe encontrado foi no P2, águas da lavoura orgânica. O manganês (Mn) classificou o P4 e P5

como águas de Classe 3 (BRASIL, 2005), com valores de 0,129 e 0,106 mg/L, respectivamente, assim como o zinco (Zn) no P5 com o valor de 0,306 mg/L. Para o parâmetro DBO₅, o P2 e o P3 foram classificados como Classe 3 (BRASIL, 2005), com os valores de 9 e 6 mg/L, respectivamente. Enquanto o fósforo total no P3 e P4, classificou estas águas como Classe 3, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), com valores de 0,080 e 0,138 mg/L, respectivamente.

A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) não determina os valores de condutividade (CE), para categorização das águas doces em classes, mas a CETESB (CETESB, 2021) considera os valores de CE superiores a 100 µS/cm indicativos de ambientes impactados. Assim sendo o P6 com 117 µScm⁻¹ no monitoramento realizado no dia 12/03/2020 (Tabela 5) apresenta-se como local impactado, conforme esse critério.

A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) também não determina os valores de alcalinidade para categorização das águas doces em classes, mas os valores encontrados neste estudo variaram de 3,1 a 31,6 mg/L no P1 e P6, respectivamente. Na lavoura de arroz orgânico a alcalinidade variou de 3,1 a 24,1 mg/L no P1 e P2, respectivamente, enquanto na lavoura convencional variou de 15,8 mg/L no P5 e P7 a 32,6 mg/L no P6. Indica a quantidade de íons presentes na água e a capacidade de neutralizar ácidos. A alcalinidade não é um parâmetro importante para indicação de qualidade da água. Os teores de cloreto se situaram entre 8,7 e 20,6 mg/L no P1 e P2, respectivamente, na lavoura de arroz orgânico e entre 11,4 e 22,2 mg/L no P5 e P6, respectivamente, na lavoura de arroz convencional. Para o parâmetro cloreto, todos os sete pontos amostrais enquadraram-se na Classe 1 conforme a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) na amostragem realizada no dia 12/03/2020 (Tabela 5). A DQO variou de 47 mg/L no P3 e P6 a 80 mg/L no P1, abaixo de 180 mg/L, mesmo sendo importante esse parâmetro também não é utilizado para o enquadramento de qualidade dos corpos da água.

Quanto aos sólidos dissolvidos totais, também ocorreu um aumento de teores entre os pontos amostrados na lavoura orgânica e na lavoura de arroz convencional que variou de 63 a 191 mg/L no P2 e P7, respectivamente, com variação de 63 (no P2) a 95 (no P4) mg/L na área de produção de arroz orgânico e de 123 (no P5) a 191 mg/L (no P7) na área de produção de arroz convencional. A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), quanto a esse parâmetro, limita que o teor seja menor ou igual a 500 mg/L para o enquadramento nas Classes 1, 2, 3 e 4, faixa na qual os sete pontos amostrados ficaram classificados na coleta do dia 12/03/2020.

Tabela 5 – Parâmetros físico-químicos das águas nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado, comparados com os enquadramentos de Classes na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005): Classe 1 (verde), Classe 2 (azul), Classe 3 (laranja), Classe 4 (vermelho) e com qualidade inferior à Classe 3 ou 4 (amarelo). Parâmetros sem destaque de cor, não constam na resolução (Brasil, 2005). Data de amostragem 12/03/2020.

| Parâmetros | Lavoura arroz orgânica | | | | Lavoura arroz convencional | | |
|--|------------------------|---------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 |
| Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 6 | 34,0 | 29,0 | 26,0 | 46,0 | 117,0 | 88,0 |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) | 4,36 | 3,57 | 0,48 | 0,96 | 2,57 | 5,22 | 6,79 |
| pH | 5,00 | 4,99 | 4,55 | 4,57 | 4,70 | 5,75 | 6,22 |
| Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) | 32,2 | 29,5 | 26,0 | 26,9 | 24,9 | 26,3 | 29,5 |
| Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) | 33,4 | 30,0 | 34,4 | 38,3 | 33,9 | 32,3 | 29,1 |
| Turbidez (NTU) | 38,7 | 31,5 | 10,5 | 46,9 | 70,6 | 31,5 | 151,4 |
| Cádmio (mg/L) | < 0,006 | < 0,006 | < 0,006 | < 0,006 | < 0,006 | < 0,006 | < 0,006 |
| Cobre (mg/L) | < 0,004 | 0,004 | < 0,004 | < 0,004 | < 0,004 | < 0,004 | < 0,004 |
| Ferro (mg/L) | 0,907 | 10,9 | 1,09 | 2,43 | 3,00 | 2,13 | 5,18 |
| Manganês (mg/L) | 0,031 | 1,25 | 0,059 | 0,129 | 0,106 | 0,056 | 0,100 |
| Níquel (mg/L) | < 0,011 | < 0,011 | < 0,011 | < 0,011 | < 0,011 | < 0,011 | < 0,011 |
| Zinco (mg/L) | 0,064 | < 0,020 | < 0,005 | 0,008 | 0,306 | 0,015 | 0,014 |
| Alcalinidade (mg/L) | 3,1 | 24,1 | 8,5 | 14,1 | 15,8 | 31,6 | 15,8 |
| Cloreto (mg/L) | 8,7 | 20,6 | 10,9 | 10,1 | 11,4 | 22,2 | 16,6 |
| Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L) | 2 | 9 | 6 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Demanda química de oxigênio (mg/L) | 80,0 | 62,0 | 47 | 78 | 65,0 | 47 | 61,0 |
| Fósforo total (mg/L) | 0,135 | 0,217 | 0,080 | 0,138 | 0,176 | 0,210 | 0,298 |
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) | < 0,064 | < 0,064 | < 0,064 | < 0,064 | 0,088 | < 0,064 | < 0,064 |
| Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | 70 | 63 | 71 | 95 | 123 | 112 | 191 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nas coletas de água realizadas no dia 30/11/2020, conforme os resultados da tabela 6, pode-se observar que o OD classificou o P2, P3, P5 e P6 como águas de Classe 4, com os valores de 3,35, 2,14, 3,46 e 3,88 mg/L, respectivamente. O valor de OD do P4 (0,52 mg/L) foi muito abaixo dos valores de classificação da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), não sendo possível seu enquadramento. A turbidez classificou o P7 como Classe 2 (81 NTU), enquanto os altos valores encontrados em P2, P3, P4, P5 e P6 (263, 345, 1800, 1600 e 760 NTU, respectivamente) também ultrapassou o valor de classificação de acordo com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), não sendo possível seu enquadramento. O enquadramento do ferro (Fe) ficou em Classe 3 no P1 e P7 (0,413 e 4,57 mg/L), sendo que nos demais pontos os valores foram tão altos, de 8,38 até 55,7 mg/L, que também não foi possível o enquadramento em uma classe maior que a 4 (BRASIL, 2005). O manganês (Mn) classificou o P2, P4, P5, P6 e P7 como águas de Classe 3 com os valores de 0,162, 0,447, 0,477, 0,301 e 0,151 mg/L, respectivamente. Para o parâmetro DBO₅, o P4 foi classificado como Classe 2 (BRASIL, 2005), com o valor de 4 mg/L, respectivamente. O alumínio (Al) foi encontrado em altas concentrações em todos os pontos amostrados, variando de 4,81 no P7 até 281 mg/L no P4. Estes valores de Al ultrapassam os valores definidos pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), não sendo possível seu enquadramento em uma classe maior que a 4.

A condutividade variou de 34,50 a 209,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para os pontos amostrados, sendo que o P4, P5, P6 e P7 com os valores de 102, 154,10, 209,30 e 130,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 6), respectivamente, estão com a CE superior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicativo de ambientes impactados (CETESB, 2021). Destacam-se que o P5, P6 e P7 situados na lavoura de arroz convencional, possuem valores superiores aos encontrados no P1, P2, P3 e P4 localizados na lavoura de arroz orgânico. A alcalinidade variou na lavoura de arroz orgânico de 4,0 a 32,7 mg/L no P1 e P4 respectivamente, enquanto na lavoura convencional variou de 45,7 a 50,3 mg/L no P5 e P6 respectivamente, também com aumento dos valores da lavoura convencional comparando-se com a orgânica. A alcalinidade indica a quantidade de íons presentes na água e a capacidade de neutralizar ácidos. Os teores de cloreto situaram-se entre 9,4 e 20,3 mg/L no P1 e P4, respectivamente, na lavoura de arroz orgânico e entre 14,6 e 37,9 mg/L no P7 e P5, respectivamente, na lavoura de arroz convencional (Tabela 6). Para os sólidos dissolvidos totais, os valores variaram entre 22 a 684 mg/L nos pontos amostrados. P1 e P5 respectivamente. A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), define que este valor seja menor ou igual a 500 mg/L para enquadramento nas Classes 1, 2, 3 e 4, faixa na qual os pontos amostrados em novembro de 2020 ficaram, com exceção de P5 (684 mg/L) que extrapolou o limite se enquadrando na classe 4.

Tabela 6 – Parâmetros físico-químicos das águas nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado, comparados com os enquadramentos de Classes na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005): Classe 1 (verde), Classe 2 (azul), Classe 3 (laranja), Classe 4 (vermelho) e com qualidade inferior à Classe 3 ou 4 (amarelo). Parâmetros sem destaque de cor, não constam na resolução (BRASIL, 2005). Data de amostragem 30/11/2020.

| Parâmetros | Lavoura arroz orgânica | | | | Lavoura arroz convencional | | |
|--|------------------------|---------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 |
| Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 34,50 | 58,60 | 57,70 | 102,00 | 154,10 | 209,30 | 130,70 |
| Oxigênio dissolvido (mg/L) | 7,90 | 3,35 | 2,14 | 0,52 | 3,46 | 3,88 | 6,58 |
| pH | 4,94 | 5,77 | 5,62 | 5,81 | 6,42 | 6,63 | 6,82 |
| Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) | 25,7 | 25,3 | 25,5 | 25,4 | 25,9 | 25,3 | 26,6 |
| Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) | 24,7 | 23,9 | 23,6 | 23,5 | 22,5 | 22,8 | 22,7 |
| Turbidez (NTU) | 13,80 | 263 | 345 | 1.800 | 1.600 | 760 | 81 |
| Alumínio (mg/L) | 0,247 | 21,1 | 27,4 | 281 | 196 | 84,2 | 4,81 |
| Cádmio (mg/L) | < 0,002 | < 0,002 | < 0,002 | < 0,002 | < 0,002 | < 0,002 | < 0,002 |
| Chumbo (mg/L) | < 0,004 | < 0,004 | < 0,004 | < 0,004 | < 0,004 | < 0,004 | < 0,004 |
| Cobre (mg/L) | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,004 |
| Cromo total (mg/L) | < 0,004 | < 0,007 | 0,008 | 0,051 | 0,037 | 0,017 | < 0,004 |
| Ferro (mg/L) | 0,413 | 8,38 | 9,53 | 55,7 | 47,3 | 21,5 | 4,57 |
| Manganês (mg/L) | 0,027 | 0,162 | 0,060 | 0,447 | 0,477 | 0,301 | 0,151 |
| Níquel (mg/L) | < 0,004 | < 0,004 | < 0,004 | 0,011 | 0,010 | 0,004 | < 0,004 |
| Zinco (mg/L) | 0,003 | 0,018 | 0,062 | 0,467 | 0,125 | 0,047 | 0,018 |
| Alcalinidade (mg/L) | 4,0 | 12,7 | 12,7 | 32,7 | 45,7 | 50,3 | 26,6 |
| Cloreto (mg/L) | 9,4 | 10,8 | 11,7 | 20,3 | 30,2 | 37,9 | 14,6 |
| Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L) | 2,0 | 2 | 14 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Demanda química de oxigênio (mg/L) | 49 | 54 | 64 | 273 | 206 | 123 | 33 |
| Fósforo total (mg/L) | 0,146 | 0,52 | 0,547 | 2,70 | 2,70 | 1,61 | 1,10 |
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) | < 0,064 | < 0,064 | < 0,064 | < 0,064 | 1,67 | 1,20 | 0,488 |
| Sólidos dissolvidos totais (mg/L) | 22 | 96 | 67 | 488 | 684 | 173 | 30 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

4.3 Índice de Qualidade da Água

O Índice de Qualidade da Água (IQA) calculado para os sete pontos amostrais em duas datas de coleta, são apresentados na tabela 7. O IQA da coleta do dia 12/03/2020 classificou as águas de P3, P4 e P5 como “regular” com 40,68, 43,81 e 50,87 respectivamente e P1, P2, P6 e P7 como “boa”, com índices de 66,85, 57,18, 72,80 e 69,99 respectivamente. Na coleta de 30/11/2020 ocorreu uma sensível piora do IQA, onde P4 e P5 foram classificadas como “ruim” com 28,38 e 34,18 respectivamente, P3 e P6 foram classificados como “Regular” com 40,50 e 39,46 respectivamente e as águas de P1, P2 e P7 foram classificadas como “boa” com índices de 77,40, 51,30 e 72,33 respectivamente.

Tabela 4 – Índice de Qualidade da Água (IQA) calculado nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado.

| Data da coleta | Lavoura arroz orgânica | | | | Lavoura arroz convencional | | |
|----------------|------------------------|-------|---------|---------|----------------------------|---------|-------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 |
| 12/03/2020 | 66,85 | 57,18 | 40,68 | 43,81 | 50,87 | 72,80 | 69,99 |
| IQA | Boa | Boa | Regular | Regular | Regular | Boa | Boa |
| 30/11/2020 | 77,40 | 51,30 | 40,50 | 28,38 | 34,18 | 39,46 | 72,33 |
| IQA | Boa | Boa | Regular | Ruim | Ruim | Regular | Boa |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

4.4 Análise integrada (Análise de Componentes Principais) dos fatores físico-químicos e microbiológicos das águas amostradas

A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para investigar as relações entre os parâmetros microbiológicos e os parâmetros físico-químicos encontrados nos pontos de água amostrados da lavoura de arroz orgânica e da lavoura convencional (Fig. 4 e 5).

De acordo com a figura 4 da coleta do dia 12/03/2020, o componente 1 separou o P1, P3, P4 e P5 dos pontos P6 e P7. O P2 e o P3 foram separados dos demais pontos pelo componente 2, sendo o P3 da lavoura orgânica o menos impactado. A temperatura do ar foi separada dos demais atributos pelo componente 1, e o componente 2 separou o ferro e o cloreto das outras variáveis. A turbidez esteve relacionada com o fósforo total, a condutividade, o oxigênio dissolvido e o pH.

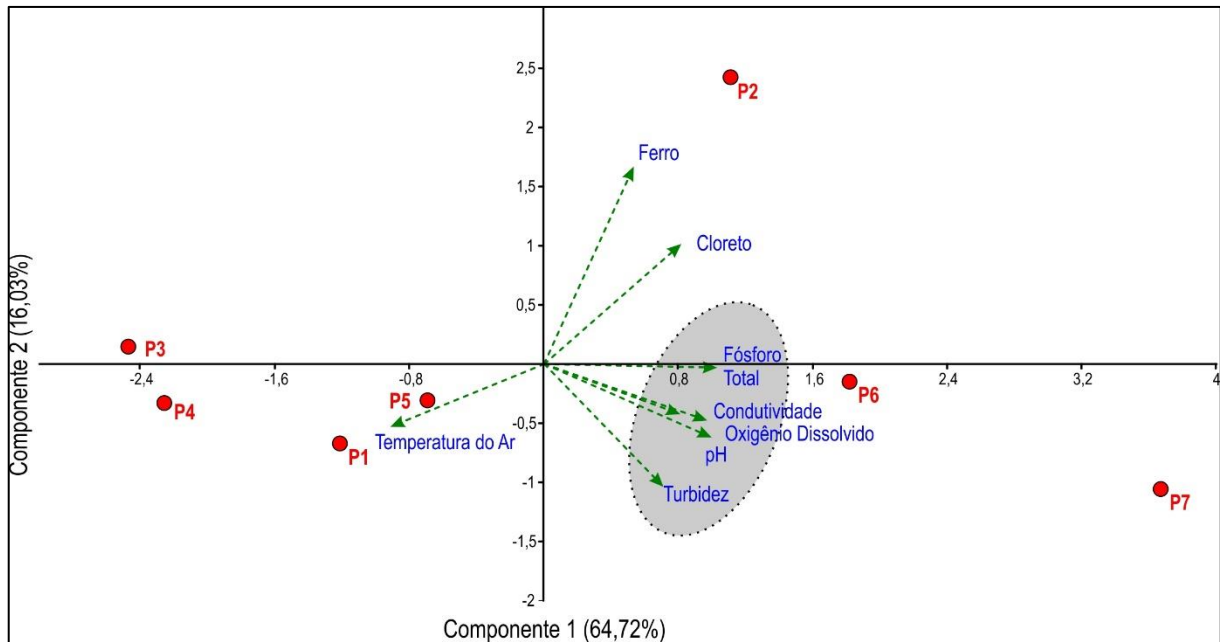


Figura 5 – Análise de Componentes Principais (PCA) dos elementos físico-químicos e microbiológicos analisados nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado. Componente 1, com 64,72% de afinidade, separa o componente 2 com 16,03% de afinidade. Data de amostragem 12/03/2020.

Enquanto na coleta do dia 30/11/2020 (Fig. 5), o componente 1 separou os pontos P4, P5 e P6 e o componente 2 agrupou os pontos P1, P2 e P3, estando separados do P7, indicativo de que estes pontos da lavoura orgânica estão menos impactados. O oxigênio dissolvido foi separado pelo componente 1, e o componente 2 separou e agrupou o níquel, DQO, alumínio, cromo, ferro, turbidez e sólidos dissolvidos totais. A condutividade esteve mais associada com o pH e nitrogênio amoniacal e o fósforo e o manganês também estão bastante associados.

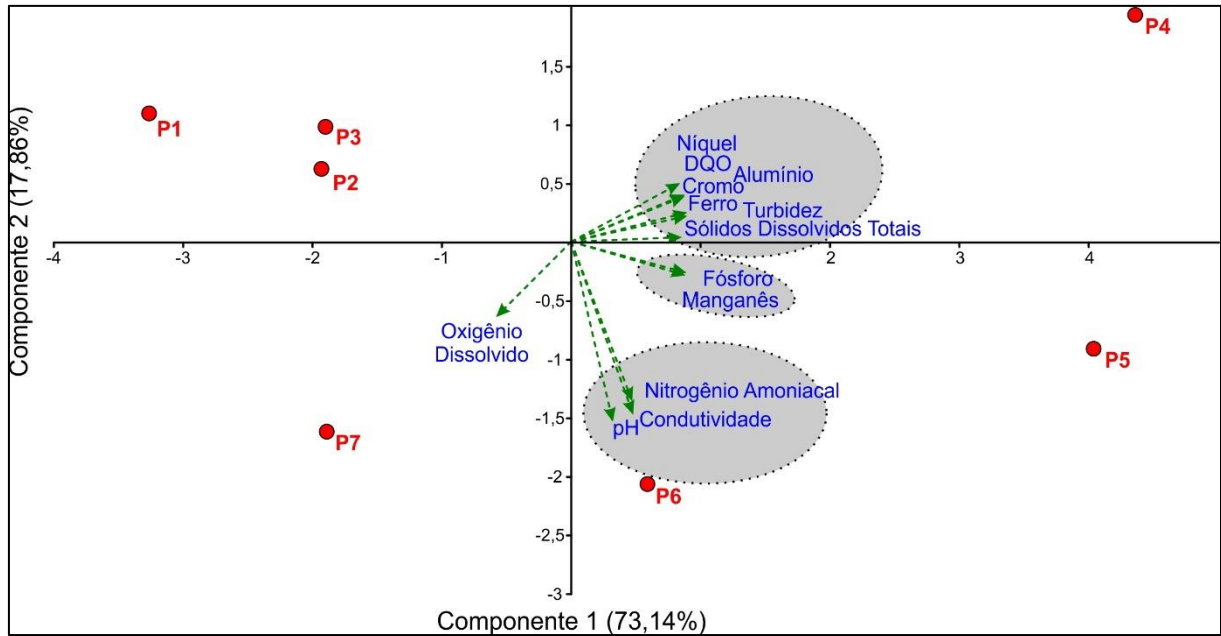


Figura 6 – Análise de Componentes Principais (PCA) dos elementos físico-químicos e microbiológicos analisados nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado. Componente 1, com 73,14% de afinidade, separa o componente 2 com 17,86% de afinidade. Data de amostragem 30/11/2020.

4.5 Análises físico-químicas do solo (sedimento) nos pontos amostrados

As amostras de sedimento para as análises físico-químicas foram coletadas em 11/11/2019, nos mesmos sete pontos localizados na lavoura orgânica e convencional de arroz. No momento do processamento para a realização das análises, a amostra P1 infelizmente foi danificada e perdida. Os dados referentes ao pH, nitrogênio, carbono orgânico e granulometria (argila, areia e silte), resultantes das análises estão representados na Tabela 8.

O pH do sedimento dos pontos amostrais variou de 5,4 no P5 a 6,1 no P2 (baixo de 5,1 a 5,4; médio 5,5 a 6,0 e alto acima de 6. O pH é maior no sedimento originário da lavoura orgânica com valores de 5,5 no P4, 5,8 no P3 e 6,1 no P2. Enquanto na lavoura convencional o pH variou de 5,4 no P5 a 5,5 no P6 e P7. Quanto ao parâmetro de carbono orgânico, P3 e P4 possuem teores de 2,1 e 2,4 %, respectivamente. Os demais pontos (P2, P5, P6 e P7) possuem valores superiores de carbono orgânico, principalmente o P5, P6 e P7 situados na lavoura de arroz convencional, tendo com isso uma relação direta com os teores de nitrogênio, que são maiores nos pontos amostrais da lavoura de arroz convencional com 0,19, 0,14 e 0,12 % em P5, P6 e P7 respectivamente, do que na orgânica com 0,07, 0,09 e 0,05 % no P2, P3 e P4 respectivamente. Os pontos P2, P3 e P4 situados na lavoura orgânica apresentaram teores de areia de 76, 81 e 83

% respectivamente, enquanto P5 e P6 tem um maior teor de silte com 45 e 40 %, respectivamente. No P7, o teor de areia predominou no sedimento com 44% (Tabela 8). Nos pontos amostrais da lavoura de arroz orgânico, foram encontrados teores mais elevados de areia do que os encontrados na lavoura convencional, 76, 81 e 85 % para P2, P3 e P4 respectivamente contra 23, 36 e 44 % em P5, P6 e P7, respectivamente, decorrentes da característica do solo e da sua propensão natural a erosão. Vargas (2010) em estudo realizado para investigar o impacto de aplicação de fertilizantes tipo NPK nas águas subterrâneas, também na região de Águas Claras, Viamão, RS, classificou os solos como areia e areia com lama contendo argilominerais.

Tabela 5 – Resultados de análises físico-químicas (pH, N e C) e granulométrica do sedimento nos pontos amostrados em 11/11/2019 na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado.

| Parâmetros | Lavoura arroz orgânica | | | Lavoura arroz convencional | | |
|----------------------|------------------------|------|------|----------------------------|------|------|
| | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 |
| pH | 6,1 | 5,8 | 5,5 | 5,4 | 5,5 | 5,5 |
| Nitrogênio (TKN %) | 0,07 | 0,09 | 0,05 | 0,19 | 0,14 | 0,12 |
| Carbono Orgânico (%) | 3,2 | 2,1 | 2,4 | 3,6 | 3,0 | 3,5 |
| Argila (%) | 16 | 10 | 12 | 32 | 24 | 22 |
| Areia Grossa (%) | 66 | 65 | 80 | 18 | 31 | 37 |
| Areia Fina (%) | 10 | 16 | 5 | 5 | 5 | 7 |
| Silte (%) | 8 | 9 | 3 | 45 | 40 | 34 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com a tabela 9, os teores de fósforo (P) encontrados no solo (sedimento), variaram de 0,01 % (P3 e P4) a 0,04 % (P5). O teor mais alto de potássio (K) foi encontrado no P5 com 0,10% na lavoura de arroz convencional, enquanto o teor mais baixo foi encontrado no P3 e P4 com 0,04%, na lavoura de arroz orgânico. O teor mais elevado de cálcio (Ca) no P1 com 0,24% e o mais baixo no P3 e P4 com 0,05%. O P2, com 0,18 % de magnésio (Mg) possui o teor mais elevado de magnésio e P4 com 0,02 % o mais baixo. O teor de enxofre (S) está mais elevado no P1 e P5 e mais baixo no P4 com 0,06 e 0%, respectivamente. Os teores mais elevados de ferro (Fe) e alumínio (Al) foram encontrados no P1 e P6, com 1,70 e 2,20 %, respectivamente, sendo os teores mais baixos no P4 e P2 com 0,28 e 0,59 %, respectivamente. P2 apresentou os teores mais elevados de Fe, manganês (Mn) e vanádio (Va) com 1,70, 442,00 e 36 mg/Kg respectivamente. P3 possui o teor mais alto de cromo (Cr) com 17,00 mg/Kg e os teores mais baixos de cobre (Cu), chumbo (Pb), cobalto (Co) e Vanádio (Va) com 0, 2, 2 e 7 mg/Kg respectivamente. O P4 apresentou os teores mais baixos de Fe, Mn, Cr, Ni, Pb e Co com valores de 0,28, 27,0 7,0, 4,0 e 2,0 mg/Kg, respectivamente. O P5 apresentou os valores mais

elevados de zinco (Zn), sódio (Na), Alumínio (Al), Cobalto (Co) e bário (Ba) com 30, 166, 3,2, 7,0, e 95,0 mg/Kg, respectivamente. P6 apresentou os maiores valores de Níquel (Ni) e chumbo (Pb) com 12,00 e 9,00 mg/Kg, respectivamente.

Tabela 6 – Concentrações totais de elementos químicos nos pontos amostrados em 11/11/2019 na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado comparados com os teores permitidos em solo agrícola da Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009) e Valores de Referência de Qualidade (VRQ) para o grupo 4 de solo ocorrente por província geomorfológica/geológica do Rio Grande do Sul definido pela Portaria FEPAM nº 85 (FEPAM, 2014).

| Parâmetros | Lavoura arroz orgânica | | | Lavoura arroz convencional | | | Solo agrícola (Brasil, 2009) | VRQ (mg/Kg) (FEPAM, 2014) |
|------------------|------------------------|-------|-------|----------------------------|--------|--------|---------------------------------|------------------------------|
| | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | | |
| Fósforo (%) | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | ND | ND |
| Potássio (%) | 0,09 | 0,03 | 0,03 | 0,10 | 0,07 | 0,08 | ND | ND |
| Calcio (%) | 0,24 | 0,05 | 0,05 | 0,21 | 0,08 | 0,10 | ND | ND |
| Magnésio (%) | 0,18 | 0,03 | 0,02 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | ND | ND |
| Enxofre (%) | 0,06 | 0,03 | 0,00 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | ND | ND |
| Cobre (mg/Kg) | 3,00 | 0,00 | 1,00 | 4,00 | 2,00 | 2,00 | 200 | 11 |
| Zinco (mg/Kg) | 22,00 | 9,00 | 11,00 | 30,00 | 22,00 | 20,00 | 450 | 29 |
| Ferro (%) | 1,70 | 0,29 | 0,28 | 1,10 | 0,84 | 0,73 | ND | ND |
| Manganês (mg/Kg) | 442,00 | 53,00 | 27,00 | 179,00 | 52,00 | 115,00 | ND | ND |
| Sódio (mg/Kg) | 131,00 | 76,00 | 93,00 | 166,00 | 122,00 | 145,00 | ND | ND |
| Cádmio (mg/Kg) | <0,20 | <0,20 | <0,20 | <0,20 | <0,20 | <0,20 | 3 | 0,42 |
| Cromo (mg/Kg) | 11,00 | 17,00 | 7,00 | 11,00 | 15,00 | 13,00 | 150 | 21 |
| Níquel (mg/Kg) | 8,00 | 7,00 | 4,00 | 6,00 | 12,00 | 8,00 | 70 | 7,0 |
| Chumbo (mg/Kg) | 7,00 | 2,00 | 2,00 | 8,00 | 9,00 | 7,00 | 180 | 16 |
| Alumínio (%) | 1,90 | 0,59 | 0,99 | 3,20 | 2,20 | 2,10 | ND | ND |
| Arsênio (mg/Kg) | <0,20 | <0,20 | <0,20 | <0,20 | <0,20 | <0,20 | 35 | ND |
| Selênio (mg/Kg) | <4,00 | <4,00 | <4,00 | <4,00 | <4,00 | <4,00 | ND | ND |
| Cobalto (mg/Kg) | 6,00 | 2,00 | 2,00 | 7,00 | 6,00 | 5,00 | 35 | 7,0 |
| Bário (mg/Kg) | 75,00 | 23,00 | 30,00 | 95,00 | 51,00 | 65,00 | 300 | ND |
| Vanádio (mg/Kg) | 36,00 | 7,00 | 8,00 | 35,00 | 30,00 | 27,00 | ND | 76 |

ND: não determinado.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Conforme os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) definido pela Portaria FEPAM nº 85 (FEPAM, 2014), para o “grupo de solo originado da província geomorfológica/geológica 4 – rochas sedimentares areníticas do Planalto, da Depressão Periférica e do Escudo Sul Rio-grandense”, os valores de Zn variaram de 9 mg/Kg no P3 a 30 mg/Kg no P7 o qual ficou acima do VRQ para este elemento que é 29 mg/Kg. Os valores de Cu variaram de 0 a 4 mg/Kg no P2 e P5 respectivamente, ficando dentro do VRQ estabelecido para o elemento que é de 11 mg/Kg. Os valores de Cr também ficaram abaixo do VRQ estabelecido para o elemento que é de 21 mg/Kg, variando de 7 mg/Kg no P4 a 17 mg/Kg no P3. Quanto ao Ni com VRQ estabelecido de 7 mg/Kg, os pontos P2, P6 e P7 tiveram os teores de 8 mg/Kg, 12 mg/Kg e 8 mg/Kg, respectivamente, sendo acima do limite estabelecido (FEPAM, 2014). O chumbo com VRQ de 16 mg/Kg não apresentou nenhum ponto com valores acima do estabelecido, com uma variação de 2 mg/Kg para os P2 e P3 a 9 mg/Kg para o P6. Para o cádmio (Cd) os valores ficaram abaixo de 0,20 mg/Kg em todos os pontos amostrados, cujo VRQ é 0,42 mg/Kg. Os valores de Co variaram de 2 mg/Kg do P3 e P4 a 7 mg/Kg do P5, cujo VRQ é 7 mg/Kg. Os valores detectados de Va variaram de 7 mg/Kg de P3 a 36 mg/Kg para o P2 onde o VRQ do Va é 76 mg/Kg. Destaca-se aqui que os metais pesados, tais como, Al, As, Ba, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Se, Va e Zn ficaram todos abaixo dos valores orientadores de qualidade do solo agrícola (Brasil, 2009).

4.6 Análise integrada (Análise de Componentes Principais) dos fatores físico-químicos dos sedimentos amostrados

De acordo com a figura 6 o componente 1 separou o P5, P6 e P7 dos pontos P3 e P4. O P2 e o P3 foram separados dos demais pontos pelo componente 2. O pH e as frações de areia ficaram associados e separados dos demais parâmetros pelo componente 1. Enquanto o componente 2 separou P, K, Ca, Fe, Mg e Mn do Zn, carbono orgânico, N total, argila e silte. O carbono e o nitrogênio orgânicos são os maiores constituintes da matéria orgânica do solo e são estabilizados e protegidos pelas frações silte e, principalmente pela argila no solo. Assim, é esperado que ocorram em menores teores em solos arenosos, por ter menor proteção física promovida por argilominerais, contra o ataque microbiano, como demonstrado pela análise de componentes principais. A associação de C, N e argila, está em sentido oposto às frações mais grosseiras, areia fina e grossa.

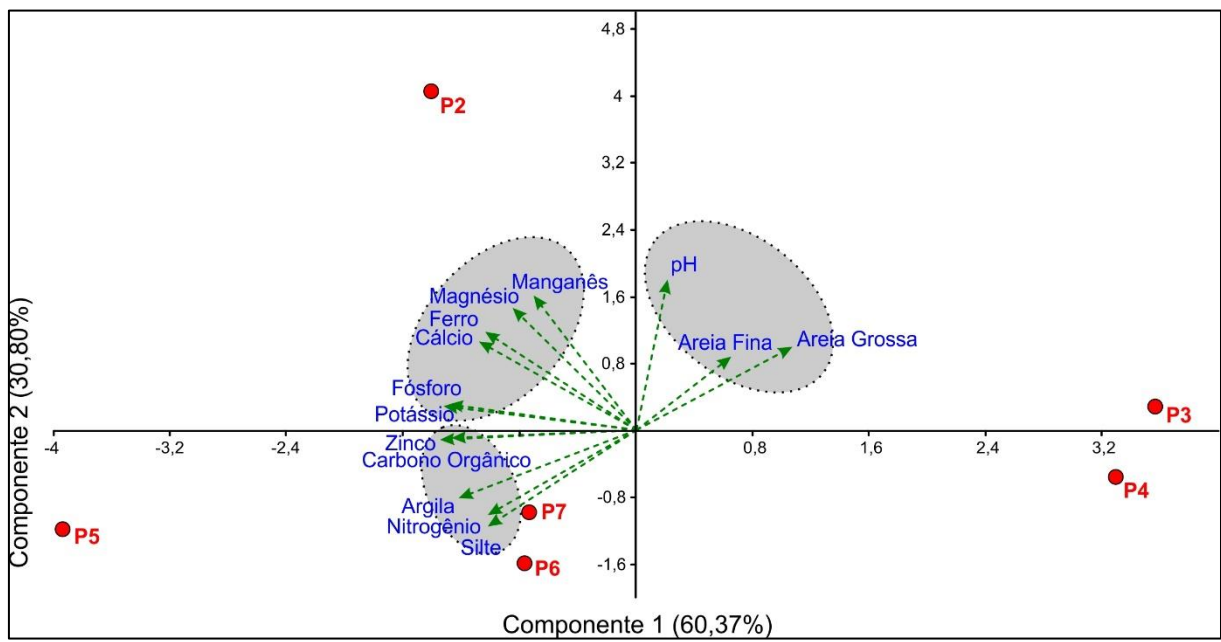


Figura 7 – Análise de Componentes Principais (PCA) dos elementos físico-químicos e microbiológicos analisados nos pontos amostrados na lavoura orgânica e convencional de arroz irrigado. Componente 1, com 60,37% de afinidade, separa o componente 2 com 30,80% de afinidade. Data de amostragem 11/11/2019.

5. DISCUSSÃO

Neste estudo verificou-se a qualidade da água e do solo (sedimento) de duas lavouras de produção de arroz pré-germinado orgânico e convencional irrigadas localizadas em Viamão/RS, na região Metropolitana de Porto Alegre/RS, que está situada na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, no trecho identificado pelo plano de bacia de 2012 como Médio Gravataí, que é composto pelas sub-bacias do Banhado dos Pachecos, do Arroio Pesqueiro, do Arroio Vigário/Arroio Fiúza/Arroio dos Pedros, do Arroio Alexandrina e do Passo dos Negros. Este trecho da bacia do Rio Gravataí está enquadrado como Classe 3 (BOURSCHEID, 2012b). Parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram analisados para as amostras de água ao longo de sete pontos destas lavouras. Os teores determinados foram comparados com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), também com CETESB (2021) para o enquadramento das águas e com CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009) para o enquadramento do sedimento. Segundo Mondstock (2015), as lavouras de arroz podem causar uma grande alteração da qualidade da água, especialmente quando há escoamento de água de lavouras no sistema de cultivo pré-germinado ou no nivelamento do solo, quando esse é feito com a presença de uma lâmina de água. Além disso, quando há precipitações pluviais intensas e o solo é incapaz de absorver o volume de água, e os canais de drenagem auxiliam neste escoamento.

Um dos parâmetros analisado, a turbidez da água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias e plâncton em geral (CETESB, 2021). Neste trabalho, alguns pontos apresentaram forte elevação da turbidez (> 100 NTU) como o P2, P3 e P5 na coleta de 11/11/2019, P7 na coleta de 12/03/2020 e P2, P3, P4, P5 e P6 na coleta de 30/11/2020. A turbidez mais elevada foi observada na amostragem de 30/11/2020, de P4 com 1800 NTU, coincidente com o período de instalação das lavouras, com preparo de solo, semeadura e redução da lâmina de água, com drenagem das quadras. Neste sentido JUST (2010) atribuiu à fase de preparo do solo e à pré-semeadura, quando há o revolvimento e a incorporação de fertilizantes no solo, os valores elevados de turbidez na água de drenagem de lavoura de arroz irrigado pré-germinado, efetuada cinco dias após a semeadura.

O oxigênio dissolvido (OD) é o principal parâmetro para caracterizar a poluição das águas por despejos orgânicos, sendo que os corpos d'água naturais possuem altos níveis de OD, que é indispensável para a manutenção da vida aquática. O OD constitui um dos principais parâmetros de possíveis impactos ambientais, tais como, eutrofização e poluição orgânica

(Britto et al., 2016). A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) estabelece que os valores de OD nos corpos hídricos não podem ser inferiores a 6 mg/L para enquadramento na classe 1, não ser inferior a 5 mg/L para enquadramento na classe 2, não ser inferior a 4 mg/L para enquadramento na classe 3 e tem que ser superior a 2 mg/L para enquadramento na classe 4. Os pontos P1, localizado na barragem de Águas Claras e o P7, localizado no canal de adução do rio Gravataí apresentaram os maiores teores de OD nas amostragens. P1 em 12/03/2020 enquadrou-se na classe 3 (4,36 mg/L), ou seja, águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais (BRASIL, 2005). Na amostragem de 30/11/2020 P1 (7,90 mg/L) e P7 (6,79 e 6,58 mg/L) em ambas as coletas enquadraram-se na classe 1, ou seja águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas (BRASIL, 2005). Por outro lado, os pontos P3 e P4 (0,48 e 0,52 mg/L) no monitoramento de 11/03/2020 e de 30/11/2020 respectivamente, apresentaram os menores teores de OD, ficando abaixo de 2,0 mg/L que é o teor mínimo para enquadramento na classe 4, ou seja, águas destinadas à navegação e à harmonia paisagística (BRASIL, 2005). Os canais drenam as quadras de arroz, e também fazem a decantação da água usada no preparo inicial do solo com incorporação de material orgânico (cama de aves e restos culturais (palhada) do cultivo anterior) por curto período, antes de serem direcionadas para outras quadras. Estes canais possuem um grande risco de atingirem os cursos hídricos de abastecimento quando rompem ou quando extravasam com chuvas mais intensas. Analogamente no perímetro irrigado Betume, situado nos municípios de Neópolis, Ilha das Flores e Pacatuba (Sergipe), Britto et al. (2016) em monitoramento de três pontos (E1, E2 e E3) atribuiu à presença de matéria orgânica no corpo hídrico (resíduo de produção agrícola) no E2 e E3 os valores de OD < 1,0 mg/L, ou seja, abaixo do limite da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Segundo Silva e Pereira Filho (2010), o OD tem grande importância para avaliar as condições naturais da água e detectar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica. No estudo desenvolvido na bacia hidrográfica do Itajaí (Santa Catarina), para avaliar a qualidade da água usada na rizicultura irrigada, o OD apresentou menores concentrações nas drenagens, com média de 3,7 mg/L,

enquanto nas captações a média foi de 6,6 mg/L. Essa variação reflete uma influência negativa da rizicultura sobre a qualidade de água (SILVA e PEREIRA FILHO, 2010)).

O parâmetro condutividade elétrica (CE) não está determinado na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), mas a CETESB (2021) considera os valores superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicativos de ambientes impactados. O P6 (117 $\mu\text{S}/\text{cm}$) localizado na lavoura de arroz convencional do monitoramento realizado no dia 12/03/2020, o P4 (102 $\mu\text{S}/\text{cm}$) da lavoura de arroz orgânico e o P5, P6 e P7 (com 154,1, 209,3 e 130,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente) encontrados no monitoramento realizado no dia 30/11/2020 da lavoura convencional, apresentaram fortes indícios de ambientes impactados, pois os valores de CE encontram-se acima do permitido (CETESB, 2021). No estudo de SCIVITARO et al. (2010), com a incorporação da adubação de pré-semeadura para o arroz (200 kg/ha da formulação 0-20-20), os índices de CE da água de drenagem, pós-semeadura de arroz pré-germinado, se mantiveram superiores a 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicaram a ocorrência de modificações na composição da água, especialmente na concentração de minerais, decorrentes da dissolução de sais dos fertilizantes aplicados. Corroboram também os resultados encontrados por ANDRADE et al. (2010) de aumento da CE entre dois pontos monitorados devido à utilização de fertilizantes. A CE aumentou do P1 para os demais pontos (P2, P3 e P4) na área de produção orgânica de arroz nas amostragens de 2020 com os valores variando de 6 a 34 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente em P1 e P2 em 12/03/2020, período de colheita de arroz, e de 34,50 a 102,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, para P1 e P4 em 30/11/2020 época de concentração de preparo de solo e semeadura. Na lavoura convencional os valores da CE são 2 a 3 vezes mais elevados do que da lavoura orgânica de arroz, com os valores de 46 e 117 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em P5 e P6, respectivamente, em 12/03/2020 e de 154,10 a 209,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em 30/11/2020. Nos pontos P5 e P6, os altos valores da CE, podem ser devido a fertilização utilizada na lavoura convencional, também tem forte influência o aporte de sólidos dissolvidos carregados do solo, ambos influenciando o valor da CE do P7. Segundo LUCAS et al. (2014) a CE da água está diretamente ligada ao aporte de sólidos dissolvidos adicionados com o carreamento do solo ao corpo hídrico.

De acordo com CETESB (2021), os maiores aumentos na demanda bioquímica de oxigênio (DBO) num corpo d'água, são provocados por despejos de origem orgânica, levando à completa extinção do oxigênio na água, o que provoca o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Quanto maior for a DBO, maior será o grau de poluição das águas (CETESB, 2021). Neste estudo a DBO elevada e acima de 10 mg/L que é o valor máximo da classe 3 da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) foi observado no P2 (11,17 mg/L), no P3 (13,10 mg/L), no P4 (19,32 mg/L) e no P6 (16,82 mg/L), na coleta amostral de

11/11/2019 e em P3 (14 mg/L) na amostragem de 30/11/2020 época de implantação das lavouras onde ocorre a concentração de preparo solo e semeadura. Excetuando-se o P6 com CE elevada, os demais quatro pontos estão localizados na área da lavoura orgânica nas coletas realizadas em 11/2019 e 2020, coincidentes com o período de instalação das lavouras e de preparo do solo, com a aplicação de adubos e agroquímicos e a redução da lâmina de água, através da drenagem das quadras. ANDRADE et al. (2010) observou que no início do ciclo, a prática do cultivo do arroz contribuiu para a poluição do rio Paraíba do Sul (Taubaté/SP), no qual é lançado um efluente com carga orgânica elevada proveniente da adubação e manejo da cultura. O estudo desenvolvido por Silva e Pereira Filho (2010) na bacia hidrográfica do Itajaí, para avaliar a qualidade da água usada na rizicultura irrigada a DBO, no período amostrado de 08/2007 a 02/2008, com coletas quinzenais, apresentou uma média de 3,2 mg/L nas captações variando entre 2 e 4,7 mg/L, e nas drenagens uma média de 4,8 mg/L variando entre 3,1 e 7,1 mg/L. Os valores de DBO foram maiores nas drenagens em praticamente todas as amostragens, indicando assim uma maior quantidade de matéria orgânica nas águas que são devolvidas ao rio após a passagem pelos arrozais. Associando a DBO com o nitrogênio amoniacal (NH_4^+) e o OD reforça-se essa ideia, pois a DBO foi maior na devolução aumentando assim a concentração de amônia diminuindo o oxigênio dissolvido.

A demanda química de oxigênio (DQO) é um parâmetro muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos (Brito et al., 2016), sendo que a sua concentração em um corpo d'água deve-se principalmente a estes despejos (MICHALAKE et al., 2016 e BERLANDA, 2017). Na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) não há referência a este parâmetro, estabelecendo limites apenas para a DBO. Em um estudo de MOLOZZI et al. (2006), a DQO na fase de maturação do arroz teve valores maiores nas águas de drenagem do que nas águas de irrigação. Somente após a colheita é que a água de irrigação apresentou uma maior DQO do que a água de drenagem. A DQO neste estudo variou de 47 mg/L (no P3 e P6) da coleta realizada no dia 12/03/2020, na fase de maturação e colheita do arroz, a 273 mg/L (P4) da coleta do dia 30/11/2020, na fase de preparo do solo e semeadura do arroz. A DQO foi mais elevada na lavoura de arroz convencional do que na lavoura de arroz orgânico. As águas de P1 e P7, com origem da barragem de Águas Claras e do Rio Gravataí, respectivamente, são para irrigação, enquanto as águas dos pontos P3, P4, P5 e P6 são de drenagem, sendo reutilizadas para irrigação das lavouras de arroz orgânico e convencional através de bombeamento. Mas a DQO foi mais elevada em P1 (80 mg/L) na amostragem de 12/03/2020 do que nos demais pontos, provavelmente em decorrência da estiagem observada no período. A DQO do P1 da barragem de Águas Claras com 80,0 mg/L e 49,0 mg/L (da

amostragem 12/03/2020 e 30/11/2020 respectivamente), ambiente lântico, possui teores mais altos do que P7 do canal de adução do Rio Gravataí, com água para também destinada para irrigação com 61 e 23 mg/L (de 12/03/2020 e 30/11/2020 respectivamente), ambiente lótico. A DQO foi mais baixa em P1, P2, P3 e P4 da lavoura de arroz orgânico com uma variação de 47 a 80 mg/L. O elevado valor da DQO de P4 com 273 mg/L na amostragem de 30/11/2020 provavelmente foi em decorrência do aporte de água de P3 e P4. Na lavoura convencional de arroz onde a DQO variou de 33 a 206 mg/L (em P5, P6 e P7) e foi mais elevada que na lavoura orgânica, provavelmente pela utilização de adubação química (NPK) e da aplicação de defensivos agrícolas. Segundo Molozzi et al. (2006), no período vegetativo, é feita a aplicação de herbicidas, adubação NPK e aplicação de ureia, o que pode explicar os elevados valores na DQO.

O fósforo (P) é um importante nutriente para os processos biológicos e seu excesso pode causar a eutrofização das águas (ANA, 2019). A origem deste nutriente a partir de áreas agrícolas tem sido relevante como indicador de qualidade de água, já que outros indicadores como sólidos em suspensão e turbidez estão associados ao transporte de P (GUERRA FILHO, 2016). Os teores de P encontrados nas amostras de água coletadas foram mais baixos nas amostragens de 12/03/2020, variando de 0,080 mg/L no P3 e 0,298 mg/L no P7. Na amostragem de 30/11/2020 os teores de P foram mais elevados, variando de 0,146 mg/L no P1 a 2,70 mg/L nos pontos P4 e P5. Os teores de P encontrados em P1 de 0,135 e 0,146 mg/L, respectivamente, nas amostragens de 12/03/2020 e 30/11/2020, superam o valor definido pela Resolução CONAMA nº 357 para as águas doces de classes 1, 2 e 3 para ambiente lântico (BRASIL, 2005), indicando a eutrofização da água da barragem de Águas Claras, pelo aporte oriundo de áreas agrícolas. Os pontos P2, P5, P6 e P7, da coleta de 12/03/2020 e os pontos de P2 a P7 da coleta de 30/11/2020 apresentaram os valores de P muito superiores aos valores definidos pela Resolução CONAMA nº 357 para todas as classes de água doce (BRASIL, 2005), onde o teor de 2,7 mg/L de P dos pontos P4 e P5 é vinte e sete vezes superior ao limite definido. Isso pode caracterizar também uma forte tendência de eutrofização por P nos canais podendo chegar ao rio Gravataí (que também está sendo eutrofizado), pois os valores de P em P7 (canal de adução do Rio Gravataí) também foram elevados com 0,298 e 1,10 mg/L nas coletas amostrais de 12/03/2020 e 30/11/2020, respectivamente. Num estudo realizado na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), da Embrapa Clima Temperado (Capão do Leão/RS), conduzido por Scivitaro et al. (2010), os teores de P encontrados nas águas coletadas durante o período de drenagem das parcelas experimentais cultivadas com arroz pré-germinado variaram de 9 a 27 mg/L, superando o valor máximo definido pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005)

para águas doces das classes 1, 2, 3 e 4. As concentrações elevadas de P e fosfatos são indicativas da eutrofização da água de drenagem, podendo estender esse processo ao corpo receptor, deteriorando, assim, sua qualidade. A inundação prévia do solo promove alterações físicas, químicas e biológicas em relação à condição original, entre as quais se destaca o aumento da disponibilidade de P em solução, o que, acrescido da dissolução parcial do fertilizante fosfatado aplicado em pré semeadura, explica os resultados elevados de P determinados para a água de drenagem (SCIVITARO et al., 2010).

O alumínio (Al) foi analisado somente na amostragem realizada em 30/11/2020, com os teores variando de 0,247 mg/L no P1 a 281 mg/L no P4, superando o limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357 para as águas das classes 1, 2 e 3 (BRASIL, 2005) e pode estar relacionado à geologia da área. O comportamento do Al no ambiente depende de como se encontra e das características do meio, complexando-se com moléculas de água, ânions cloretos, sulfatos, nitratos, fosfatos e material húmico (QUINATTO, 2017). De acordo com CETESB (2021) o aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez. O estudo de Menezes et al. (2009) sobre a qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD) em São José do Ubá/RJ e Itaperuna/RJ, o Al dissolvido, a maior parte das amostras apresentou concentração abaixo de 0,1 mg/L, sendo que esse parâmetro apresentou teores mais elevados nas águas superficiais do que nas águas de circulação profunda. Eventos de chuva ocorridos durante a campanha de amostragem provocaram um claro desvio na distribuição dos resultados desse metal, estabelecendo-se, então, a relação entre os eventos de chuva e a concentração de Al. O pode também estar relacionada à presença de minerais alumino-silicatos na BHRSD (Menezes et al., 2009).

Nas análises dos teores de ferro (Fe) nos sete pontos, encontrou-se o valor mais baixo no P1 (0,413 mg/L) e o valor mais alto no P4 (55,7 mg/L) na coleta de 30/11/2020. Os pontos P2 e P7 tiveram teores de Fe de 10,9 e 5,18 mg/L¹, respectivamente, na coleta de 12/03/2020 e no P2, P3, P4, P5 e P6, na amostragem de 30/11/2020 os teores de Fe foram superiores a 5 mgL⁻¹, que é o valor máximo para este parâmetro determinado pela Resolução CONAMA nº 357 para a classe 3 (Brasil, 2005). Teores elevados de Fe são encontrados com maior frequência em águas superficiais, com matéria orgânica, nas quais se apresenta ligado ou combinado e frequentemente, em estado coloidal (BÁRBARA et al., 2010; QUINATTO, 2017). Nas águas superficiais, o nível de Fe aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens (CETESB, 2021).

Segundo Quinatto (2017), o manganês (Mn) raramente atinge concentrações de 1,0 mg/L em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de <0,2 mg/L. Os teores de Mn nos monitoramentos realizados variaram de 0,027 a 1,25 mg/L em P1 e P2, das coletas de 30/11/2020 e 12/03/2020, respectivamente. Apenas o P2 com 1,25 mg/L extrapolou o valor máximo permitido para enquadramento nas classes 1, 2 e 3 da Resolução CONAMA nº 357 que é de 0,50 mg/L (BRASIL, 2005). Os pontos P4 e P5 da amostragem de 11/03/2020 e P2, P4, P5, P6 e P7 de 30/11/2020 foram enquadrados na classe 3 (BRASIL, 2005). O Mn desenvolve coloração negra na água, podendo se apresentar nos estados de oxidação Mn^{+2} (mais solúvel) e Mn^{+4} (menos solúvel). Devido ao fato de não ocorrerem, nesta faixa de concentração, manchas negras ou depósitos de seu óxido nos sistemas de abastecimento de água (CETESB, 2021).

Os teores de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) ficaram abaixo de 0,064 mg/L nas amostras de água coletadas nos pontos situados na lavoura orgânica de arroz (P1, P2, P3 e P4), nas amostragens de 11/03/2020 e 30/11/2020. Na lavoura convencional de arroz o ponto P5 apresentou teor de 0,88 mg/L, o mais elevado da coleta de 11/03/2020. Na coleta de 30/11/2020 o teor de 2,70 mg/L de NH_4^+ nos pontos P4 e P5 foram os mais elevados, ocorrendo um sensível aumento em relação à amostragem anterior realizada em 11/03/2020 no final de ciclo da cultura do arroz da safra 2019/2020. Este aumento possivelmente é decorrente da realização de adubação de base e em cobertura na lavoura de arroz convencional. Em estudo conduzido por Andrade et al. (2010), no período de adubação da cultura do arroz foi observado um aumento no teor de NH_4^+ total na saída da área, devido a adubação feita quatro dias antes, onde foi acrescentado ao meio uréia na proporção de 115 kg/ha, caracterizando a contaminação. De acordo com CETESB (2021), o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados nas áreas agrícolas também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Estudos realizados por Wolff et al. (2016), com a realização de análise de parâmetros físico-químicos no mês de dezembro, época de pleno desenvolvimento da cultura do arroz irrigado, no Arroio Passo do Mina, Lagoa Capão do Fumo, Lagoa do Rincão e Lagoa da Lavagem, em Mostardas, Litoral do RS, região com alta densidade de lavoura de arroz irrigado, o teor detectado de NH_4^+ foram de 5 mg/L em ambos os mananciais, acima do limite de 3,7 mg/L (para $pH \leq 7,5$) da resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para a classe 2.

Um aumento no teor dos íons cloretos na água é indicador de uma possível poluição por efluentes provenientes da agricultura, bem como por esgotos ou por despejos industriais. Todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais (JUST, 2010; CETESB, 2021). Os teores de cloreto nas amostragens de água realizadas

situaram-se entre 8,7 e 22,2 mg/L no P1 e P6, respectivamente, na coleta de 12/03/2020 e entre 9,4 e 37,9 mg/L no P1 e P6, respectivamente, na coleta de 30/11/2020, enquadrando estas águas na classe 1 da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Houve um aumento crescente na concentração de cloretos entre o P2 e P6 na coleta do dia 30/11/2020. Segundo Betemps et al. (2014) os cloretos em águas naturais são resultantes da dissolução de minerais e sais, mas sua alta concentração pode estar associada à contaminação por despejos de efluentes, impedindo o uso da água para a irrigação e consumo humano. P4 está localizado na lavoura de arroz orgânico, a jusante de P3, P2 e P1, com aporte da drenagem de água desses pontos. P5 e P6 situados na lavoura convencional de arroz, apresentaram valores mais elevados de cloretos, por reutilizarem a água de P4 e os teores de cloreto sendo ampliados pela utilização de adubação química e defensivos nesta área. Os valores de cloreto também são mais elevados no P7 com 16,6 e 14,6 mg/L, respectivamente, onde a água é oriunda do Rio Gravataí do que no P1 8,7 e 9,4 mg/L, respectivamente, onde a água é oriunda da barragem de Águas Claras nas coletas amostrais realizadas em 12/03/2020 e 30/11/2020.

Scivittaro et al. (2010) constatou que durante o período de drenagem, houve uma pequena variação nos resultados de alcalinidade da água pós semeadura de parcelas cultivadas com arroz pré-germinado. Os valores determinados variaram entre 3,0 e 4,0 mg/L de CaCO_3 . Estes valores foram inferiores aos determinados por Golombieski et al. (2005), que trabalharam com amostras de água oriundas de um experimento de arroz irrigado associado à criação de peixes. Possivelmente os resultados de alcalinidade mais altos encontrados por esses autores decorram de diferenças no material de origem e no manejo da adubação do solo utilizado para o cultivo de arroz, bem como do enriquecimento deste pelos excrementos dos peixes mantidos no local de cultivo. Neste estudo, possivelmente a alcalinidade mais elevada nos pontos P5 e P6 com 45,7 e 50,3 mg/L, respectivamente, na coleta de 30/11/2020 sejam decorrentes da adubação química realizada no preparo do solo e em cobertura, na lavoura convencional de arroz.

Os valores de sólidos dissolvidos totais (SDT) foram mais elevados na lavoura convencional de produção de arroz do que na orgânica, principalmente nos pontos P5 (123 e 684 mg/L) e P6 (112 e 173 mg/L) nas coletas de 11/03/2020 e 30/11/2020, possivelmente pela realização da reutilização e recirculação da água inclusive a oriunda da lavoura de arroz orgânico e pela realização da fertilização de base e em cobertura. No estudo de Britto et al. (2016) na avaliação dos resultados médios das análises dos SDT, estes foram superiores no período chuvoso em todas as estações. Esta diferença se deve porque as chuvas acabam lixiviando o solo e carregando as partículas para os cursos d'água. Todos os valores encontrados nas amostragens de Britto et al. (2016) estão dentro do permitido para águas de classe 2 (500

mg/L), segundo a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Os SDT provenientes do manejo desta rizicultura, drena suas águas no rio Betume e no rio São Francisco (Sergipe), podendo comprometer a qualidade da água. Essa prática, embora de uso corrente entre os produtores, implica no aporte de sólidos em suspensão, nutrientes e defensivos agrícolas, que prejudica a sustentabilidade e a conservação deste manancial (BRITTO et al., 2016).

Os valores de cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu) e níquel (Ni) detectados nas análises das amostras de água das duas coletas realizadas em 2020, para todos os pontos amostrados enquadraram-se na classe 1 da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), ou seja, águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção, à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. Quanto ao zinco apenas o P5 da coleta de 11/03/2020 e o P4 de 30/11/2020 se enquadraram na classe 3 da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), ou seja, águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais. Referente ao cromo, analisado apenas na coleta do dia 30/11/2020, somente o P4 (0,051 mg/L) apresentou um valor ligeiramente superior a 0,05 mg/L definido pela Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) para a classe 3, sendo com isso enquadrado na classe 4. No estudo de Lima e Meurer (2013) conduzido na Estação Experimental do IRGA (Cachoeirinha/RS), na análise das concentrações de Cd, Cr e Pb nas águas da lavoura, somente o Cd foi detectado com teores de 0,02 a 0,18 mg/L, ficando acima de 0,01 mg/L da classe 3 da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Para o Pb e Cr, os teores ficaram abaixo do limite de detecção (Pb < 0,02 e Cr < 0,004 mg/L). As concentrações de Cd encontradas acima dos limites, não significa que o cultivo teve influência nestas concentrações, visto que a água de captação apresentava altos teores do elemento e a água de drenagem apresentou os mesmos níveis de concentração, não tendo alterações das concentrações dentro da lavoura.

No estudo realizado por Vargas (2010) nos solos e na água do aquífero livre de lavoura de arroz região das Águas Claras, Viamão, RS a comparação dos valores de background e dos solos fertilizados com NPK, demonstrou nas amostras de água todos os metais, no entanto nas áreas fertilizadas, as águas mostram os efeitos da contaminação, que com exceção do Mo, todos os outros elementos são substancialmente aumentados. Neste estudo os valores destes elementos foram mais elevados na lavoura de arroz convencional do que na lavoura de arroz orgânico, provavelmente decorrentes da fertilização realizada na lavoura convencional.

Os coliformes termotolerantes encontrados nas amostragens de água nas coletas de 11/11/2019, 12/03/2020 e 30/11/2020, nos pontos monitorados na lavoura de arroz orgânica e convencional, foram enquadrados na sua maioria na classe 1 da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), com exceção do P4 e P5 com $2,4 \times 10^2$ e $3,3 \times 10^3$ NMP/100 ml, respectivamente, que foram enquadrados nas classes 2 e 3. Em estudo desenvolvido por Britto et al. (2016), no perímetro irrigado Betume, no baixo Rio São Francisco (Sergipe), a presença de coliformes termotolerantes acima do limite estabelecido em três pontos pode estar relacionado a presença de casas, bares e demais modalidades que contribuem para as alterações antrópicas e a rizicultura nesta região, que pelo processo de cultivo de arroz inundado apresenta uma tendência de carreamento de fertilizantes e matéria orgânica para o corpo hídrico, evidenciando a necessidade de um manejo racional da água. Resultados semelhantes foram demonstrados por Araújo et al. (2011) no monitoramento da água realizado ao longo da Microbacia Ribeirão Gustavo (Massaranduba/SC), onde os coliformes fecais (*E. coli*) foram mais elevados na área de contribuição 5 (2.245 NMP/100 ml), onde existe a maior área de arroz irrigado, a menor área de floresta e as maiores aglomerações humanas. A elevada concentração de *E. coli* mostra que tanto a atividade agrícola, quanto a emissão de efluentes agropecuários ou esgoto doméstico sem tratamento nos rios, podem estar contribuindo para elevar o grau de contaminação. Também pode ocorrer contaminação por escoamento superficial (durante chuvas intensas) ou transbordamento de fossas sépticas (ARAÚJO et al., 2011).

Podemos afirmar que o cultivo de arroz pré-germinado, convencional e orgânico causam impacto na qualidade da água. O Índice de Qualidade da Água (IQA) calculado para os pontos amostrais das coletas de 12/03/2020 e 30/11/2020, através do qual as águas de P1, P2 e P7 foram classificadas como “boa” em ambas as coletas; P3 como “regular” nas duas coletas; P4 e P5 foram “regular” e “ruim”, respectivamente, em 12/03/2020 e 30/11/2020 e P6 foi classificado como “boa” e “regular”, respectivamente, nas duas coletas, mas algumas estratégias de manejo podem ser utilizadas nas lavouras orizícolas, para redução de impactos como a não realização de drenagem da água da lavoura após a realização da semeadura do arroz para fixação da radícula e também antes da colheita. Cunha et al. (2013) classificou as águas da lagoa Caiubá (Rio Grande/RS) no verão, inverno e primavera, pelo IQA como de “excelente” qualidade e no outono como de “boa” qualidade, representando uma água propícia para abastecimento humano. Lopes et al. (2008) chamam a atenção, através de análises isoladas das variáveis que compõem o IQA, para o fato de que o valor isolado deste índice não ser suficiente para uma análise acurada da qualidade de água. Segundo os autores, as oscilações das variáveis do IQA se compensam umas às outras mantendo o índice relativamente estável em um patamar,

embora esta relativa “estabilidade” mascare flutuações importantes no ambiente, que devem ser monitoradas e analisadas com maior cuidado. Um ambiente pode enquadrar-se na faixa “ótima” do IQA mesmo que haja algumas substâncias em concentrações tóxicas à biota (hidrocarbonetos e metais pesados) (Cunha et al., 2013). Em um trabalho na lagoa do Apodi (Rio Grande do Norte), Pinto Filho et al. (2012) também ressaltaram a necessidade de avaliação isolada das variáveis para estabelecimento da qualidade de água uma vez que, sozinho, o IQA não contempla contaminantes potenciais importantes, como os defensivos agrícolas. Os resultados mostraram que a maioria dos parâmetros analisados se enquadra nas determinações da Classe 1, mas também alguns parâmetros se apresentaram como classes 2 e 3.

Nenhum dos pontos amostrais localizados na lavoura de arroz orgânica e convencional apresentou a concentração de cobre (Cu) no sedimento acima do valor de referência de qualidade (VRQ) de 11,0 mg/Kg. Não foi detectado Cu no ponto P3 que é um canal de drenagem na lavoura de arroz orgânico. A concentração mais elevada (4,0 mg/Kg) foi no ponto P5, que também é um canal de drenagem, mas da lavoura de arroz convencional, tendo como provável causa a utilização de defensivos agrícolas.

A concentração de zinco (Zn) no sedimento variou de 9 a 30 mg/Kg no P2 e P5, respectivamente, sendo que apenas o P5 (30 mg/Kg) ultrapassou o VRQ (de 29,0 mg/Kg), possivelmente pela aplicação de fertilizante. Nos demais pontos amostrais os teores de Zn ficaram abaixo do VRQ. No estudo de Lavnitcki et al. (2020) na bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande (Lages/SC), os sedimentos apresentaram concentração de Zn variando de 57,86 a 210,90 mg/Kg entre os pontos amostrados, sendo que os maiores valores foram encontrados nos entroncamentos e pontos intermediários, na porção final da bacia. O Zn foi um dos metais mais abundantes na bacia, sendo encontrado em nascentes e entroncamentos principalmente em áreas urbanizadas devido ao lançamento de efluentes domésticos e águas pluviais. Sanches Filho et al. (2015) em pesquisa realizada no Rio São Lourenço (São Lourenço do Sul/RS), encontrou valores de Zn elevados para a maioria dos pontos variando de 27,9 mg/Kg no ponto 4 a 83,6 mg/Kg no ponto 3 e isso tem sido relacionado com a geologia da região, que não foi caracterizada no estudo.

Não foram encontradas concentrações de cromo (Cr) superiores ao VRQ (21,0 mg/Kg), sendo que os valores encontrados variaram de 7 a 17 mg/Kg nos pontos amostrais P4 e P3 da lavoura orgânica de arroz, respectivamente. Enquanto no estudo de Lavnitcki et al. (2020) realizado na bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande (Lages/SC), o Cr apresentou uma concentração média de 86,14 mg/Kg, sendo o metal mais preocupante. Na forma trivalente o

Cr é considerado um elemento traço, mas na forma hexavalente (Cr^{6+}) mesmo em baixas concentrações é carcinogênico e tóxico (LAVNITCKI et al., 2020).

O níquel (Ni) variou de 4,0 a 12,0 mg/Kg nas análises do sedimento nos pontos amostrais das lavouras orgânica e convencional de arroz. O maior valor foi encontrado no P6 (12,0 mg/Kg), localizado em um canal de drenagem na lavoura de arroz convencional. Os pontos P2, P3, P5 e P6 com 8, 7, 12 e 8 mg/Kg, respectivamente, apresentaram valores iguais ou superiores ao VRQ de 7,0 mg/Kg do parâmetro. No estudo de Sanches et al. (2014) realizado no sedimento do Arroio São Lourenço (São Lourenço do Sul/RS), o teor de Ni no ponto 3 foi de 20 mg/Kg, um nível elevado que representa um possível risco a vida aquática. No estudo de Ezaki (2011) realizado na Microbacia do Córrego do Ajudante (Salto/SP) os valores de concentração de Ni variaram de < 5,0 a 27,5 mg/Kg.

Quanto ao chumbo (Pb), os valores encontrados no sedimento analisados ficaram abaixo do VRQ (16,0 mg/Kg), com o valor máximo encontrado no P7 de 9,0 mg/Kg. Betemps et al. (2014) também encontrou concentrações baixas de Pb no estudo realizado com sedimento do Arroio do Padre (Arroio do Padre/RS), onde os valores variaram de 0,99 a < 2,00 mg/Kg. Enquanto os teores de Pb no estudo realizado por Lavnitick et al. (2020) na bacia hidrográfica do Rio Ponte Grande (Lages/SC) variaram de 8,68 a 70,88, com possível ocorrência de danos no ambiente aquático.

No estudo realizado por Vargas (2010) nos solos e na água do aquífero livre de lavoura de arroz região das Águas Claras, Viamão, RS a comparação dos valores de background e dos solos fertilizados com NPK, demonstrou que existe um processo acumulativo de As, Mn, Pb, V e Zn, relacionado com a fertilização do solo. O mesmo estudo de Vargas (2010) também demonstrou que os elementos que sofreram maior enriquecimento dos solos com a profundidade pelo uso de fertilizantes, dentre outros foram o Fe, As, Al, V, Mn. Neste estudo os valores destes elementos foram mais elevados na lavoura de arroz convencional do que na lavoura de arroz orgânico, provavelmente decorrentes da fertilização realizada na lavoura convencional.

6. CONCLUSÃO

Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicas deste estudo, evidenciam uma deterioração da qualidade da água causado pela utilização na irrigação de lavouras de arroz pré-germinado orgânico e convencional dos sete pontos amostrados, principalmente pelos parâmetros: condutividade, OD, turbidez, fósforo, alumínio e manganês.

A presença de coliformes termotolerantes, presentes nos pontos amostrados, foram inferiores a 200 NMP/100 ml que é o VMP da classe 1 da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) enquadrando-se, portanto, na classe 1, com exceção de P4 e P5 que se enquadraram na classe 2 e 3 respectivamente, indicando que as águas de drenagem oriundas de lavoura de arroz irrigado com sistema de cultivo pré-germinado, convencional e orgânico são pouco impactadas na qualidade pelo lançamento de esgotos domésticos e dejetos animais.

Alguns parâmetros estão em deterioração, diminuindo a qualidade da água para além dos limites da classe 3 da resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005), como a turbidez, o OD e o fósforo. Neste sentido, o enquadramento na classe 1 que é o objetivo a ser atingido em 2032 (BOURSCHEID, 2012b), pelo plano de bacia em vinte anos, parece difícil de ser alcançado com a piora da qualidade da água.

O índice de qualidade das águas (IQA) é uma boa ferramenta para avaliar e classificar a qualidade da água, através do qual constatou-se a diminuição da qualidade da água nos pontos amostrados. O principal parâmetro responsável pela queda da qualidade da água pode ser atribuído aos baixos teores de OD, no período de maturação e colheita do arroz.

Os mananciais monitorados neste estudo: barragem Águas Claras, canais e rio Gravataí estão em processo de eutrofização por fósforo, pois em todos os 7 pontos, os valores superam os parâmetros de qualidade definidos pela Resolução CONAMA 357/2005, para as classes 1, 2, 3 e 4, para água doce.

Os metais analisados no sedimento: alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel, selênio, vanádio e zinco, apresentaram concentrações totais nos locais amostrados abaixo dos valores orientadores de qualidade do solo quanto à prevenção e para investigação de solos agrícolas, definidos pela Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009). Concentrações mais elevadas no sedimento de zinco, níquel e cobalto foram detectados acima do valor de referência de qualidade (VRQ) definido pela Portaria FEPAM nº 85 (FEPAM, 2014), mas que ficaram abaixo do VMP de investigação em solos agrícolas e necessitam de acompanhamento e monitoramento periódico.

A orizicultura irrigada praticada na região metropolitana de porto alegre especialmente na bacia do Rio Gravataí, através do sistema de cultivo de arroz pré-germinado, convencional e o orgânico causam impactos ambientais significativos, com diminuição da qualidade da água dos cursos hídricos da região, principalmente nos períodos de preparo do solo, semeadura, maturação e colheita do arroz, quando é realizada a drenagem da lavoura, prática que deve ser evitada em qualquer época pelos danos causados na qualidade ambiental dos recursos. O impacto da lavoura de arroz convencional, sistema de cultivo pré-germinado, é intensificado, ou seja, causa maior deterioração da qualidade da água provavelmente pela utilização de fertilização química e agrotóxicos.

Recomendamos a realização de monitoramento periódico, contínuo dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas drenadas de lavouras de arroz irrigado, para os recursos hídricos, principalmente das lavouras orizícolas que utilizam o sistema de cultivo pré-germinado, pelos órgãos ambientais.

7. REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília – DF: ANA, 85p, 2017. Disponível em <[https:// http://atlasirrigacao.ana.gov.br](https://http://atlasirrigacao.ana.gov.br)>. Acesso em: 01 out. 2019.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2012** – Edição Especial. Brasília – DF: ANA, 215p, 2012.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2018: informe anual**. Brasília – DF: ANA, 72p, 2018.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Cuidando das Águas - soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Brasília-DF. 2013. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2489/1/CuidandoDasAguassolucao2aEd.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.
- ANDRADE, M. H.; SOUZA, C. F.; VARALLO, A. C. T.; PERES, J. G. **Impactos da produção do arroz irrigado na qualidade da água do rio Paraíba do Sul – trecho Taubaté, SP, Brasil**. *Ambi-água*, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 114-133, 2010.
- ANGHINONI, I. PORTELA, E. DIEHL, R. ZANG, M. Fundamentos, manejo e perspectivas da produção de arroz irrigado de base ecológica no Rio Grande do Sul. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental do Arroz; Porto Alegre. **Boletim Técnico**. 2020. 77 p.
- ARAÚJO, I. S.; DORTZBACH, D.; BLAINSKI, E.; BACIC, I. L. Z. **RELAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO COM A QUALIDADE DA ÁGUA EM UMA MICROBACIA PRODUTORA DE ARROZ IRRIGADO**. In: Congresso Mundial da Água, 2011, Porto de Galinhas. **Anais do XIV Congresso Mundial da Água**, 2011.
- BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; SIQUEIRA, E. Q. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. **Revista de Biociências**, UNITAU, v. 16, n. 1, p. 57-72, 2010.
- BAUM, C. A. **Impactos Ambientais no Solo e na Água Subterrânea Ocasionalmente por Cemitérios Públicos Urbanos de Lages – SC**. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambientais) – Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018.
- BERLANDA, A. **Qualidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Desquite em Otacilio Costa/SC**. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambientais) – Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.
- BETEMPS, Glauco Rasmussen; KERSTNER, Talita; SANCHES FILHO, Pedro José. Caracterização físico-química da água e determinação de metais pesados (Cr, Cu, Pb e Zn) no sedimento do riacho Arroio do Padre (Arroio do Padre, Brasil/RS). **Revista Thema**, v. 11, n. 2, p. 4-20, 2014.
- BORDON, I. C. A. C.; SARKIS, J. E. S.; GOBBATO, G. M.; HORTELLANIA, M. A.; PEIXOTO, C. M. Metal concentration in sediments from the Santos estuarine system: a recente assessment. **J. Braz. Chem. Soc.**[online]. 2011, vol.22, n.10, pp.1858-1865.

BOURSCHEID - ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE S. A. **Processo de Planejamento da Bacia do Rio Gravataí, Plano de Bacia. Plano de Bacia – Relatório Síntese.** Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria do Meio Ambiente. Porto Alegre, 2012a.

BOURSCHEID – ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE S. A. **Processo de Planejamento da Bacia do Rio Gravataí, Plano de Bacia. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí – Relatório Final.** Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria do Meio Ambiente. Porto Alegre, 2012b.

BRANCO FILHO, C. C.; MEDEIROS, Rosa Maria. A importância do processo de certificação para a consolidação da cadeia produtiva do arroz ecológico produzido nos municípios integrantes da região metropolitana de Porto Alegre/RS. **XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária**, Uberlândia, 2012.

BRASIL. Agência Nacional das Águas. **RESOLUÇÃO Nº 903/2013.** Brasília-DF. 2013.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 237/1997.** Publicada DOU nº 247, de 22/12/1997, p. 30841-30843.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 274/2000.** Publicada DOU nº 05, de 08/01/2001, p. 23.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 284/2001.** Publicada DOU nº 188, de 01/10/2001, p. 153.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 357/2005.** Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, p. 58-63.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 420/2009.** Publicada no DOU nº 249, de 30/12/2009, p. 81-84.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** República Federativa do Brasil, DF, 1981.

BRASIL. **Lei nº 10.831, de 23 dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências.** República Federativa do Brasil, DF, 2003.

BRASIL.

BRASIL. MAPA – Orgânicos. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos>. Acesso em: 13 out. de 2019.

BRITTO, Fabio Brandão; SILVA, T. M. M; VASCO, A. N. AGUIAR NETTO, A. O., CARVALHO, C. M. Impactos da produção do arroz inundado na qualidade da água do Rio Betume, Sergipe. **Revista Agrotec**, João Pessoa, v. 37, n. 01, p. 44-54, 2016.

CAIRES, S. M. **Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade.**

Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br>> Acesso em: 04 fev. 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado Ambiental e Sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2009.

CONAB: **Acompanhamento da safra Brasileira v.2, n. 9. Junho/2015**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_boletim_graos_junho_2015.pdf. Acesso em: 31 out. 2019.

CUNHA, R. W.; GARCIA JR, M. D. N.; ALBERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C. Qualidade de água de uma lagoa rasa em meio rural no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 770-779, 2013.

DESCHAMPS, F.C.; TOLEDO, L.G.; NOLDIN, J.A. Índice de qualidade de águas (IQA) na avaliação do impacto da cultura do arroz irrigado sobre a qualidade das águas superficiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3., 2003; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003. **Anais**. Porto Alegre: Instituto Rio Grandense do Arroz, 2003. p.700-702.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. 5. ed. Brasília, DF, 2018. 356 p.

EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Árvore do Conhecimento - Arroz**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe75wint02wx5eo07qw4xeclygdut.html>. Acesso em: 30 mai. 2021.

EZAKI, Sibebe et al. Avaliação da qualidade das águas e sedimentos na microbacia hidrográfica do Córrego do Ajudante, Salto (SP). **Geociências (São Paulo)**, v. 30, n. 3, p. 415-430, 2011.

FEPAM. Fundação Estadual De Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Portaria FEPAM Nº 85/2014 – Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/Portaria085-2014.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2021.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Röessler – **Relatório de Fiscalização de Emergência Ambiental Nº 0809102016**.2016. Não publicado.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Röessler – **Relatório da Qualidade Água Superficial do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2020.

GOLOMBIESKI, J. I.; MARCHEZAN, E.; MOZART BORGES MONTI, M. B.; STORCK, L.; CAMARGO, E. R.; SANTOS, F. M. Qualidade da água no consórcio de peixes com arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1263-1268, 2005.

GOMES, A. S.; SCIVITTARO, W. B.; PETRINI, J. A.; FERREIRA, L. H. G. **A água: Distribuição, regulamentação e uso na agricultura, com ênfase ao arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 46 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 250). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/746734/1/documento250.pdf>. Acesso em: 08 out. 2019.

GUERRA FILHO, P. A. **Qualidade da água superficial em propriedade rural com sistema de produção orgânica**. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016.

HUANG, X.; KURATA, N.; WEI, X.; WANG, ZI-X.; WANG, A.; ZHAO, Q.; ZHAO, Y.; LIU, K. A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice. **Nature**. v. 490, p. 497–501, 2012.

IDEXX. **Colilert**. Disponível em <https://www.idexx.com.br/files/colilert-250-procedure-en.pdf>. Acesso em: 04 set. 2020.

IRGA - Instituto Rio Grandense do Arroz. **Boletim de Resultados da Lavoura - Safra 2018/19 – Arroz Irrigado e Soja em Rotação**. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br>. Acesso em: 15 set. 2019.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome. FAO, 1993. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t0567e/T0567E00.htm#Contents>>. Acesso em: 31 out. 2020.

JUST, M. C. **Avaliação Quantitativa e Qualitativa da Água de Irrigação em Lavouras de Arroz**: O Caso Estudo da Associação de Irrigação e Drenagem Santo Isidoro na Região Sul de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

LAVNITCKI, L.; BECEGATO, V. A.; VILELA, P. B.; BAUM, C. A.; DUMINELLI, E. C.; TONIAZZO, F.; PAULINO, A. T. Concentração de Metais Pesados na Bacia do Rio Ponte Grande no Município de Lages-SC. In: Helenton Carlos da Silva. (Org.). **Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a sustentabilidade 5**. 5ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2020, v. 1, p. 53-70.

LIMA, C. V. S.; MEURER, E. J. Elementos-traço no solo, nas águas e nas plantas de uma lavoura de arroz irrigado do Rio Grande do Sul. **Revista de Estudos Ambientais**, v.15, p.20-30, 2013.

LIMA, D. P. **Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do rio Cassiporé, estado do Amapá, Amazônia, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2013.

LIPP-NISSINEN, K. H.; RODRIGUES, M. B. **Licenciamento Ambiental para Irrigação Superficial da Orizicultura no RS: Manual de Orientação**. Porto Alegre: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, 63 p. 2018.

LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; ARAÚJO, L. F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.

LUCAS, A. A. T.; MOURA, A. S. A; NETTO, A de O. A; FACCIOLI, G. G; SOUSA, I. F. Qualidade da água no riacho Jacaré, Sergipe e Brasil usada para irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 2, p. 98-105, 2014.

LUNARDI, W. G. **Avaliação de Metais Potencialmente Tóxicos em Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani na Cidade de Lages – SC**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018.

MARTINS, A. F. G. **A produção ecológica do arroz nos assentamentos da região metropolitana de Porto Alegre: territórios de resistência ativa e emancipação**. 2017. 279f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARTINS, L. P. **Avaliação da Qualidade Ambiental do Arroio Demétrio através de Critérios Físico-Químicos, Microbiológicos e Toxicológicos**. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) – Universidade La Salle, Canoas, 2018.

MATTOS, M. L. T.; MARTINS, J. F. S.; **Cultivo de arroz irrigado orgânico no Rio Grande do Sul**. Embrapa Clima Temperado-Sistema de Produção 17 (INFOTECA-E), Pelotas, 2009.

MATTOS, M. L. T; SCIVITTARO, W. B.; PETRINI, J. A.; DOS SANTOS, I. M. B. Qualidade da água de drenagem em cultivo de arroz pré-germinado. **Circular Técnica**, 125. Embrapa Clima Temperado. Pelotas, RS, junho, 2012.

MENEZES, J. M.; PRADO, R. B.; SILVA JÚNIOR, G. C.; MANSUR, K. L.; OLIVEIRA, E. S. Qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do rio São Domingos-RJ. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 687-698, 2009.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v 21, n.3, p.519-534.jul/set 2016.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. **Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura**. Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent. v.3, n.4, Porto Alegre, 2002.

MICHALAKE, A. E.; SILVA, C. R.; SILVA, F. F. Análise dos parâmetros físico-químicos do esgoto tratado de Curitiba (PR) - Estação Belém. **Ciência & Natureza**, Santa Maria, v. 8, n. 3, p.1560-1570, set. 2016.

MITH, H. F.; SULLIVAN, C. A. Ecosystem services within agricultural landscapes: farmers' perceptions. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 98, p. 72–80, 2014.

MOLINA, J.; SIKORA, M.; GARUD, N.; FLOWERS, J. M.; RUBINSTEIN, S.; REYNOLDS, A.; HUANG, P.; JACKSON, S.; SCHAAL, B. A.; BUSTAMANTE, C. D.; BOYKO, A. R.; PURUGGANAN, M. D. Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. n. 20, v. 108, p. 8351-8356, 2011.

MOLOZZI, J.; PINHEIRO, A.; SILVA, M. R. da. Qualidade da água em diferentes estádios de desenvolvimento do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1393-1398, 2006.

MONDSTOCK, C. M. **Água de irrigação e drenagem do perímetro de irrigação do Arroio Duro de 2005 a 2012**. Cachoeirinha: IRGA/Divisão de Pesquisa, 2015. 96 p.

PINTO FILHO, J. L. O.; SANTOS, E. G.; SOUZA, M. J. J. B. **Proposta de índice de qualidade de água para a Lagoa do Apodi**, RN, Brasil. *Holos*, v.28, p.69-76, 2012.

QUINATTO, J. **Avaliação da Qualidade da Água de um Rio Urbano Utilizando Indicadores Físico-Químicos e Biológicos: o Caso do Rio Carahá em Lages/SC**. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO 323/2016**. Publicado no DOE, em 21/09/2016.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO 340/2017**. Publicado no DOE, em 14/02/2017.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **RESOLUÇÃO 113/2012**. Publicado no DOE, em 05/11/2012.

RIO GRANDE DO SUL. CÓDIGO AMBIENTAL. **Lei Nº 15.434**. Publicado no DOE em 10/01/2020.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Departamento de Qualidade Ambiental. **Relatório da Qualidade da Água Superficial do Estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/noticias/arq/2020_QUALIDADE_AGUA_SUPERFICIAL_RS.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2021.

ROLAS – Rede Oficial de Laboratórios de Análise do Solo e de Tecido Vegetal. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 375p.

ROSSET, J. S.; COELHO, G. F.; GRECO, M.; STREY, L.; GONÇALVES Jr., A. C. Agricultura convencional versus sistemas agroecológicos: modelos, impactos, avaliação da qualidade e perspectivas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 13, n. 2, p. 80-94, 2014.

SANCHES FILHO, Pedro José; ZIEBELL, Roberto; BETEMPS, Glauco Rasmussen. Determinação de metais pesados no sedimento do Arroio São Lourenço-São Lourenço do Sul (RS). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 1, p. 213-221, 2015.

SANCHES, S. M.; HIPÓLITO, S. G.; PASSOS, C. Vigilância e controle da qualidade da água do Córrego Pirapitinga no município de Ituiutaba–MG. **Revista Agrogeoambiental**, v. 6, n. 3, 2014.

SCIVITTARO, W. B.; PICOLOTO, R.; BRAUN, J. A. F.; PETRINI, J. A. **Monitoramento da qualidade da água de lavoura de arroz pré-germinado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 5 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 87).

SCIVITTARO, W. B.; SILVA, M. T.; BRAUN, J. A. F.; MATTOS, M. L. T. **Monitoramento da Qualidade da Água de Drenagem Inicial de Lavoura de Arroz Pré-germinado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 8 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular técnica, 97).

SILVA, G. C. V. **Avaliação crítica da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Joanes**. Tese (Doutorado em Ciências) - Colegiado dos Cursos de Pós-Graduação em Química Área de concentração: Química Analítica da Universidade Federal da Bahia. Salvador/BA, 2016.

SILVA, D. D. C.; PEREIRA FILHO, J. Qualidade química da água em função de seu uso na rizicultura irrigada na região do baixo estuário do rio Itajaí. **Revista de Estudos Ambientais**, 12(2), 26-37, 2010.

STOTZ, E. N. Os limites da agricultura convencional e as razões de sua persistência: estudo do caso de Sumidouro, RJ. **Revista Brasileira Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 37, n. 125, p. 114-126, jan./jun. 2012.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. XXXII Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. Farroupilha: SOSBAI, 205 p. 2018.

VARGAS, T. **Transferência de elementos maiores, traços e elementos das terras raras no sistema fertilizante – solo – água subterrânea em sedimentos quaternários na região de águas claras Município de Viamão /RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2010.

VARELLA, C. A. A. **Análise Multivariada Aplicada as Ciências Agrárias: Análise de Componentes Principais**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Pós-Graduação em Agronomia – CPGA- CS. Seropédica/RJ. 2008.

WOLFF, C. B. **Avaliação de serviços ecossistêmicos em paisagens agrícolas dos municípios de Ibirubá e Quinze de Novembro (RS) com o protocolo ECOSER**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

WOLFF, C. B.; SPOLAVORI, C. A.; JESUS, E. S. V.; CORREA, A. M. O.; SOARES, R. F. Avaliação dos Recursos Hídricos – Monitoramento Ambiental da Lavoura de Arroz. **Natureza em Revista**, v. 1, p. 76-79, 2016.