

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DE FREDERICO WESTPHALEN - RS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Bianca Vieira de Almeida

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITOEXTRATOR DE *Hedychium
Coronarium* “J. Koenig” EM PEQUENA BACIA DEGRADADA**

Frederico Westphalen, RS
2020

Bianca Vieira de Almeida

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITOEXTRATOR DE *Hedychium Coronarium* “J. Koenig” EM PEQUENA BACIA DEGRADADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), *campus* de Frederico Westphalen, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Orientador: Prof. Dr. Edner Baumhardt

Frederico Westphalen, RS
2020

Bianca Vieira de Almeida

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITOEXTRATOR DE *Hedychium Coronarium* “J. Koenig” EM PEQUENA BACIA DEGRADADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), *campus* de Frederico Westphalen, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Aprovado em 27 de Outubro de 2020

Edner Baumhardt, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Willian Fernando de Borba, Dr. (UFSM)

Éricklis Edson Boito de Souza, Engenheiro Florestal (UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto, com saúde e forças para chegar até o final.

Sou grata à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida, em especial a minha mãe Andréia que sempre esteve ao meu lado me encorajando e incentivando, a meu pai Lairton por ser um exemplo de dedicação. Suas palavras de apoio me fizeram permanecer, e me reerguer, durante todos os momentos que pensei não ser capaz.

Ao meu irmão Luís Felipe, que apesar das brigas e dos ciúmes sempre esteve comigo, agradeço por todo amor e carinho.

As minhas Avós Ernestina e Alice, por todos os ensinamentos e palavras de conforto, sou eternamente grata por todo amor que sempre me deram.

Aos meus Tios Graziela, Tiago, Rafael e Cleber, por todos os puxões de orelhas, incentivos, conselhos e todo amor. Obrigada!

Ao meu afilhado Gabriel por ter tornado meus dias mais felizes, seu nascimento foi um grande presente de Deus, amo você!

Ao meu noivo Anderson Pessotto, que apesar de muitas vezes esteve distante foi fundamental para me manter firme e confiante, obrigada por todo apoio, amor, carinho e compreensão, sem você tudo teria sido mais difícil. Amo você!

Ao meu orientador Prof. Edner Baumhardt, que apesar da intensa rotina de sua vida profissional aceitou me orientar, agradeço por toda atenção e paciência durante o desenvolvimento desse trabalho.

Não poderia deixar de agradecer meu “trio fantástico”, minhas amigas e irmãs de coração Gabriela Granoski e Kananda Menegazzo, por esses cinco anos de companheirismo, sou grata por ter vocês em minha vida, obrigada por todo apoio, por todas as risadas, conselhos e alegrias. Tenho certeza que temos muitas histórias para contar, desejo há vocês todo sucesso do mundo, não tenho dúvida que serão engenheiras fantásticas!

As minhas amigas e parceiras “As Brasileirinhas”, tudo com vocês é mais divertido, cada uma de vocês tem um lugar especial no meu coração. Chegamos até o fim juntas e unidas, enfim engenheiras! Desejo um futuro brilhante há todas vocês.

Ao Técnico de laboratório Gabriel, pelo auxílio durante as análises.

Agradeço a todos os professores do Curso Engenharia Ambiental e Sanitária, UFSM/FW, por todo o aprendizado e ensino, e pelas admiráveis amizades que fizemos, levarei um pouco de cada um para o resto da vida

RESUMO

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITOEXTRATOR DE *Hedychium Coronarium* “J. Koenig” EM PEQUENA BACIA DEGRADADA

AUTORA: Bianca Vieira de Almeida

ORIENTADOR: Edner Baumhardt

A disponibilidade de água no Brasil é uma das maiores do mundo. Contudo, esta distribuição não se dá de maneira uniforme, o que resulta em água em quantidade e qualidade insuficientes para atender às necessidades locais, fato este que se torna mais evidente em áreas com predomínio de atividade agropecuária, onde mananciais podem ser contaminados por práticas inadequadas. Surge então a necessidade de métodos alternativos para tratamento e verificação da qualidade das águas, como a exploração do potencial de fitoextração de plantas objetivando a fitorremediação de áreas e ou solos. Na fitoextração, as plantas agem removendo, armazenando, transferindo, estabilizando e tornando inofensivos os metais pesados presentes no solo. Essas plantas são capazes de tolerar, absorver e translocar altos níveis de metais pesados que seriam tóxicos a qualquer outro organismo. O presente estudo explorou a utilização de “*Hedychium coronarium* J.Koenig (Lírio-do-brejo)” como bioindicadora da qualidade da água, e seu potencial de fitoextração de poluentes comuns em bacias rurais contaminadas. A coleta ocorreu nos meses de setembro a dezembro de 2019, em uma área ruderal, ao longo do eixo principal do Lajeado do Pardo (Pardinho) no município de Frederico Westphalen. Foram coletados dados em dez pontos. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco pontos de coleta das plantas ao longo do Lajeado Pardo e duas partições (rizoma e folha). Considerou-se cada planta como uma unidade experimental, utilizando-se seis repetições por tratamento. As amostras foram separadas nas frações rizoma e parte aérea e processadas pela técnica de fluorescência de raios X por energia dispersiva, sendo determinados os elementos: K₂O, CaO, P₂O₅, SO₃, MnO e Fe₂O₃. Posteriormente, realizou-se análise de variância (ANOVA fatorial) e no caso de efeitos significativos (p<0,05), foi realizado teste de comparação de médias Tukey. A análise de variância demonstrou que a interação entre os pontos de coleta e o particionamento dos elementos (folha e rizoma) não foi significativo. Verificou-se apenas efeito isolado dos fatores. Constatou-se que a proliferação do lírio-do-brejo está diretamente relacionada à falta de vegetação ciliar arbustiva ou arbórea ao longo do curso d’água. Com exceção do enxofre e do ferro, todas as demais médias analisadas mostraram diferença estatística de retenção de elementos entre as diferentes partes da planta (foliar e radicular). Observou-se que a bacia hidrográfica possui contaminação por efluentes e lixiviação de adubos agrícolas, sendo que os elementos analisados se concentram principalmente na parte aérea do lírio-do-brejo que, apesar de ser exótica, mostrou-se eficaz como fitoextratora, absorvendo elementos contaminantes presentes na água.

Palavras-chave: *Hedychium coronarium*. Plantas bioindicadoras. Qualidade da água.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE PHYTOEXTRACTOR POTENTIAL OF *Hedychium Coronarium* “J. Koenig” IN SMALL DEGRADED BASIN

AUTHOR: Bianca Vieira de Almeida

ADVISOR: Edner Baumhardt

The availability of water in Brazil is one of the largest in the world. However, this distribution is not uniform, which results in water in insufficient quantity and quality to meet local needs, a fact that becomes more evident in areas with a predominance of agricultural activity, where water sources can be contaminated by inappropriate practices. Then there is a need for alternative methods for treatment and verification of water quality, such as exploring the potential of plant phytoextraction aiming at phytoremediation of areas and or soils. In phytoextraction, plants act by removing, storing, transferring, stabilizing and rendering the heavy metals present in the soil harmless. These plants are able to tolerate, absorb and translocate high levels of heavy metals that would be toxic to any other organism. The present study explored the use of *Hedychium coronarium* as a bioindicator of water quality, and its potential for phytoextraction of common pollutants in contaminated rural basins. The collection took place from September to December 2019, in a ruderal area, along the main axis of Lajeado do Pardo (Pardinho) in the municipality of Frederico Westphalen. Data were collected at ten points. The design used was completely randomized in a 5 x 2 factorial scheme, with five plant collection points along Lajeado Pardo and two partitions (rhizome and leaf). Each plant was considered as an experimental unit, using six replicates per treatment. The samples were separated into the rhizome and aerial part fractions and processed by the EDX method, being determined the elements: K₂O, CaO, P₂O₅, SO₃, MnO and Fe₂O₃. Subsequently, analysis of variance (factorial ANOVA) was performed and in the case of significant effects ($p < 0.05$), Tukey's means comparison test was performed. The analysis of variance showed that the interaction between the collection points and the partitioning of the elements (leaf and rhizome) was not significant. There was only an isolated effect of the factors. It was found that the proliferation of the lily-of-swamp is directly related to the lack of ciliary shrub or tree vegetation along the watercourse. With the exception of sulfur and iron, all other averages analyzed showed a statistical difference in element retention between different parts of the plant (leaf and root). It was observed that the basin has contamination by effluents and leaching of agricultural fertilizers, and the elements analyzed are mainly concentrated in the aerial part of the swamp lily, which, despite being exotic, proved effective as a phytoextractor, absorbing contaminating elements present in the water.

Keywords: *Hedychium coronarium*. Bioindicator plants. Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo dos limites de uma bacia hidrográfica.	12
Figura 2 - Influências da zona de APP em uma microbacia.	17
Figura 3 - Diferentes formas de uso de bioindicadores.	23
Figura 4 - Lírio-do-brejo, flores e rizoma.	25
Figura 5 - Localização do município de Frederico Westphalen - RS.	28
Figura 6 - Pontos de coleta do material.	29
Figura 7 - Mapa do tipo de solo de Frederico Westphalen - RS.	31
Figura 8 - Locais de coleta das amostras.	33
Figura 9 - Perfil de elevação.	35
Figura 10 - Acúmulo de Óxido de Potássio (a) e Óxido de Cálcio (b), em plantas de <i>Hedychium coronarium</i> em função de diferentes agrupamentos de amostragem.	38
Figura 11 - Óxido de Fósforo (c) e Óxido de Ferro (d), em plantas de <i>Hedychium coronarium</i> em função de diferentes agrupamentos de amostragem. ...	39
Figura 12 - Óxido de Manganês (e) e Óxido de Enxofre, em plantas de <i>Hedychium coronarium</i> em função de diferentes agrupamentos de amostragem. ...	40
Figura 13 - Particionamento do acúmulo de Óxido de Potássio (a) e Óxido de Cálcio (b), em plantas de <i>Hedychium coronarium</i>	42
Figura 14 - Particionamento do acúmulo de Óxido de Fósforo (c) e Óxido de Ferro (d), em plantas de <i>Hedychium coronarium</i>	42
Figura 15 - Particionamento do acúmulo de Óxido de Manganês (e) e Óxido de Enxofre em plantas de <i>Hedychium coronarium</i>	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da fitorremediação.	19
Quadro 2 - Pontos de amostragem e suas respectivas coordenadas geográficas....	29
Quadro 3 - Relação com pontos com sua declividade.	35
Quadro 4 - Agrupamentos relacionados aos pontos de coleta na bacia.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3	REVISÃO DA LITERATURA	12
3.1	AS BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO UNIDADE DE MANEJO	12
3.2	AS PEQUENAS BACIAS E A PROPENSÃO A IMPACTOS AMBIENTAIS ..	14
3.3	PROBLEMAS AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS	15
3.4	ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E A QUALIDADE AMBIENTAL EM BACIAS	17
3.5	FITORREMEDIAÇÃO	18
3.5.1	Fitoextração	20
3.5.2	Principais espécies extratoras do Brasil	21
3.6	BIOINDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA	22
3.6.1	Lírio-do-brejo	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1	IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	28
4.1.1	Clima	29
4.1.2	Vegetação nativa	30
4.1.3	Relevo e tipo de solo	30
4.1.4	Ocupação do solo	32
4.2	ANÁLISE DA PLANTA.....	32
4.2.1	Delineamento estatístico	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	OCUPAÇÃO DO LÍRIO-DO-BREJO NA BACIA	35
5.2	QUANTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS	37
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
	APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ELEMENTOS EDX - RF	51

1 INTRODUÇÃO

Conforme citado por Heller e Pádua (2010), a disponibilidade de água no Brasil é uma das maiores do mundo. Contudo, a distribuição hídrica não é uniforme, fazendo com que haja grande discrepância nos índices pluviométricos conforme a região do país. Desta forma, as regiões mais populosas, como os estados do sudeste, podem sofrer com a escassez deste recurso, enquanto a região Amazônica apresenta elevados índices de chuva e disponibilidade hídrica elevada.

O ciclo da água é composto por diversas entradas e saídas, sendo que estas são influenciadas por diversos fatores. As etapas do ciclo hidrológico podem sofrer alterações antrópicas, através de modificações humanas que interfiram no regime hídrico de determinada região. Desta forma, é essencial garantir a integridade e saúde das bacias hidrográficas de modo a assegurar a disponibilidade de água em quantidade e qualidade ideais para a população (HORN, 2012).

Nas áreas onde predomina a atividade agropecuária, é comum se observar mananciais e cursos d'água com índices altos de contaminação de diversas fontes e de diferentes tipos, devido ao uso sem critérios de defensivos agrícolas, falta de práticas conservacionistas do solo e manejo inadequado dos dejetos oriundos das criações. Estes contaminantes primeiramente degradam a qualidade da água e podem causar impactos negativos na flora e fauna local, além de prejudicarem a saúde humana caso sejam consumidos por meio da água ou irrigação de cultivos para alimentação (ALVARENGA et al., 2019). Os custos para a determinação, quantificação e retirada destes elementos do meio hídrico são por vezes, muito onerosos. Surgem, através desta problemática, métodos alternativos para tratamento e verificação da qualidade das águas, com o objetivo de verificar se são seguras e livres de patógenos.

Uma destas alternativas é a exploração do potencial de fitoextração de uma planta objetivando a fitorremediação de áreas e ou solos. A remediação de áreas contaminadas é uma exigência legal e um compromisso social que precisam ser executados, criando demandas tecnológicas, oportunidades de pesquisa científica e possibilidades de negócios. Pode ser conseguido por inúmeras tecnologias que envolvem processos químicos ou físicos que são, em geral, tecnicamente difíceis e de custos elevados (ROMEIRO et al., 2007). Dentre algumas tecnologias para aplicação da remediação, tem-se a biorremediação e a fitorremediação como

alternativas para a retirada de elementos nocivos ou não desejáveis do local ou a remoção de elementos contaminantes do solo (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

Os mecanismos utilizados na fitorremediação são vários, a depender do poluente a ser removido e da planta utilizada. Existe a fitoestabilização, fitoestimulação, fitovolatilização, fitodegradação e fitoextração (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Na fitoextração, as plantas agem removendo, armazenando, transferindo, estabilizando e tornando inofensivos os metais pesados presentes no solo. Emprega plantas hiperacumuladoras para remover os metais do solo pela absorção e pelo acúmulo nas raízes e na parte aérea, podendo ser, posteriormente, dispostas em aterros sanitários ou recicladas para a recuperação do metal (ROMEIRO et al., 2007). De acordo com Khan et al. (2000), plantas fitoextratoras possuem a capacidade de tolerar, absorver e translocar altos níveis de metais pesados que usualmente seriam tóxicos a outro organismo.

Não são todas as plantas que possuem potencial para fitorremediação, mas, de acordo com Pedroso (2014), um bom indicador do potencial da espécie em remover certos contaminantes é sua presença em solos e áreas contaminadas. Por ser uma técnica barata e de fácil execução, a fitorremediação vem ganhando espaço frente aos demais métodos de retirada de contaminantes (químicos ou físicos). De acordo com Andrade, Tavares e Mahler (2007), existem registros de plantas sendo utilizadas na biorremediação de lodos de esgoto há mais de três séculos.

O presente estudo explorará a utilização de "*Hedychium coronarium* J. Koenig", conhecida como lírio-do-brejo, como bioindicadora da qualidade da água, e seu potencial de fitoextração de poluentes comuns em bacias rurais contaminadas do Médio e Alto Uruguai do Estado do Rio Grande do Sul.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar se o *Hedychium coronarium* possui potencial para fitoextração de elementos químicos em área de preservação permanente de uma Pequena bacia hidrográfica rural.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Observar a ocupação da planta ao longo da bacia e definir pontos de interesse;
- Quantificar a retenção de alguns elementos químicos extraídos que podem ser oriundos das atividades antrópicas da bacia; e
- Identificar qual porção da planta possui maior concentração dos elementos extraídos;

3 REVISÃO DA LITERATURA

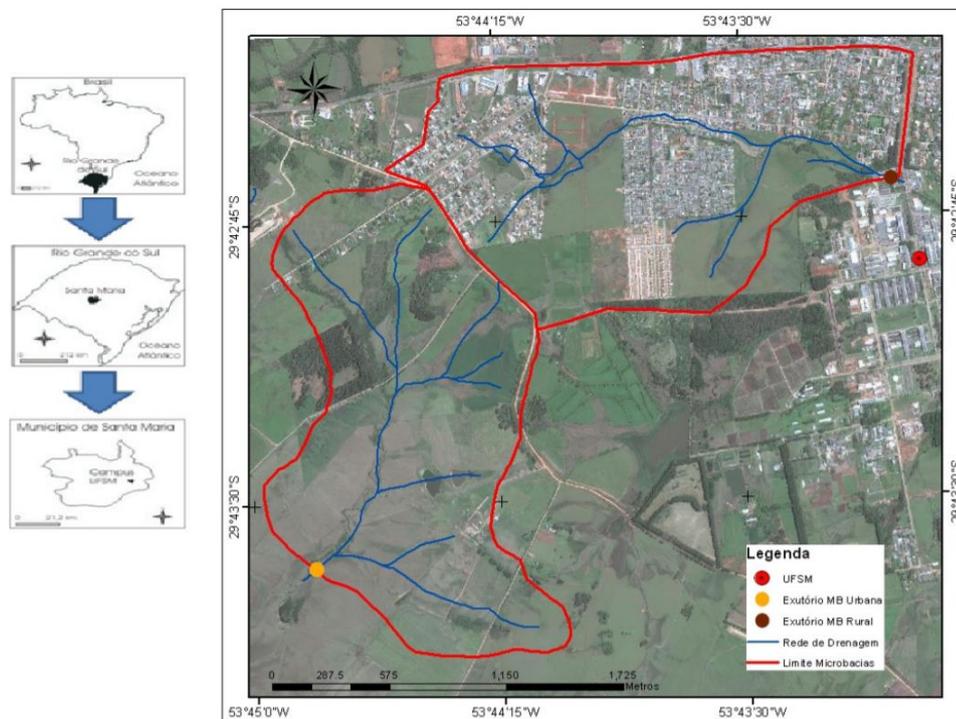
3.1 AS BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO UNIDADE DE MANEJO

Conforme Kobiyama, Mota e Corseuil (2008, p. 44), a definição de uma bacia hidrográfica é:

[...] uma área geográfica, que compreende todas as nascentes de um rio principal e de seus rios afluentes, juntamente com as áreas ao redor desses rios. Em outras palavras, é uma região sobre a terra, na qual o escoamento superficial em qualquer ponto converge para um único ponto fixo, chamado exutório (KOBİYAMA; MOTA; CORSEUIL, 2008, p. 44).

Horn (2012) lembra que os limites geográficos impostos pela delimitação de municípios e estados não é o mesmo limite das bacias hidrográficas, que seguem sua própria delimitação baseada na área de escoamento, drenagem e influência da água pluvial no regime hidrológico do rio ou conjunto de rios. A Figura 1 mostra uma microbacia hidrográfica, com identificação de seus limites e exutório.

Figura 1 - Exemplo dos limites de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Horn (2012).

A legislação brasileira que trata sobre a gestão dos recursos hídricos é a Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), que considera a bacia hidrográfica como uma Unidade de Gestão de Recursos Hídricos, cujo objetivo é promover o planejamento regional, controlar os usos da água na região em que a bacia está inserida, proteger e conservar as fontes de captação de água na bacia.

Por conta disso, é imprescindível que haja uma organização a nível de bacia hidrográfica no que concerne aos aspectos de atividades permitidas no entorno da bacia, como agricultura, pecuária, reflorestamento, atividades industriais e aglomerações humanas. Isso se deve ao fato de que “o fluxo de matéria, como solo, água, nutrientes e poluentes, é coordenado dentro dos contornos da bacia, em uma dinâmica estabelecida pelo comportamento da água nesta unidade” (KOBAYAMA; MOTA; CORSEUIL, 2008, p. 46).

O manejo integrado de bacias é um conceito empregado cada vez com mais frequência quando se discute gerenciamento de recursos hídricos (SANTANA, 2003, p. 34).

O manejo integrado de bacias hidrográficas visa tornar compatível produção com preservação ambiental, buscando adequar a interveniência antrópica às características biofísicas dessas unidades naturais (ordenamento do uso/ocupação da paisagem, observadas as aptidões de cada segmento e sua distribuição espacial na respectiva bacia hidrográfica), sob gestão integrativa e participativa, de forma que sejam minimizados impactos negativos e se garanta o desenvolvimento sustentado. Busca integrar esforços das diversas instituições presentes nas várias áreas de conhecimento, a fim de que todas as atividades econômicas dentro da bacia sejam desenvolvidas de forma sustentável e trabalhadas integradamente (SANTANA, 2003, p. 34).

Segundo Lima (2008, p. 2-3), é essencial compreender a importância da bacia hidrográfica como unidade de manejo, reconhecendo que:

A bacia hidrográfica é a unidade natural de planejamento de recursos naturais e que a água é o agente unificador de integração no manejo de bacias hidrográficas, baseado na sua vital e estreita relação com outros recursos naturais. Portanto, os conhecimentos da hidrologia, bem como do funcionamento hidrológico da bacia hidrográfica, são fundamentais para o planejamento e manejo sustentável dos recursos naturais renováveis (LIMA, 2008, p. 2-3).

3.2 AS PEQUENAS BACIAS E A PROPENSÃO A IMPACTOS AMBIENTAIS

As bacias hidrográficas pequenas, também chamadas de microbacias ou sub bacias, são aquelas de área tão pequena que sua sensibilidade às chuvas intensas ou às diferenças no uso e ocupação do solo não são suprimidas pelas características da rede de drenagem existente no local (DAMAME; OLIVEIRA, LONGO, 2019). Segundo os autores, a compreensão da relação entre ocupação urbana e degradação ambiental é imprescindível para evitar desastres naturais, como alagamentos e deslizamentos de terra, por exemplo.

Portanto, o uso e ocupação do solo no entorno de pequenas bacias hidrográficas afeta de maneira drástica a fragilidade e vulnerabilidade do ecossistema, afetando o solo, a capacidade de drenagem, a qualidade e quantidade dos recursos hídricos da área. Um dos pontos mais importantes em uma bacia hidrográfica é a sua nascente, uma vez que usualmente os mananciais onde brotam as águas subterrâneas possuem qualidade sanitária superior. Já que o curso hídrico segue um fluxo, a tendência é que as alterações na qualidade (causadas usualmente por ações antrópicas) acumulem-se conforme o rio siga seu fluxo natural. No que se refere a este tópico, Damame, Oliveira e Longo (2019, p. 56) sugerem que:

Hoje em dia, a maior parte da população vive em zonas costeiras que são partes finais da bacia hidrográfica. Assim, há grande possibilidade de que a água seja usada e despejada na parte jusante e novamente utilizada pelos moradores costeiros, pois a água chega até lá, devido a seu ciclo dentro da bacia. Dessa maneira, pode-se dizer que qualquer lugar é potencialmente manancial. Em áreas de mananciais, onde é permitido o uso agrícola das terras, deve ser dada preferência ao cultivo orgânico. Então, pode-se dizer que em qualquer lugar que seja praticada agricultura, deve ser executada a agricultura orgânica para não contaminar os recursos hídricos (DAMAME, OLIVEIRA; LONGO, 2019, p. 56).

Em um estudo comparativo entre duas microbacias (uma urbana e outra rural), Horn (2012) verificou que o escoamento superficial da bacia com ocupação predominantemente urbana foi significativamente superior ao da bacia com ocupação agrícola. Entretanto, a perda de volume hídrico de entrada por fatores não controlados (como balanço de perdas via interceptação, transpiração da vegetação, evaporação do solo e do curso d'água, infiltração profunda etc.) foi significativamente superior na bacia rural. Além disso, a bacia localizada em zona rural apresentou menor disponibilidade hídrica em meses de estiagem. Estes resultados vão de encontro

ao estudo das bacias hidrográficas rurais, uma vez que espera-se que estas bacias apresentem maior disponibilidade hídrica. Este resultado mostra a heterogeneidade das microbacias, que são afetadas por diversos fatores.

3.3 PROBLEMAS AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS

Os sistemas naturais são afetados no âmbito físico, químico e biológico em locais onde o uso e ocupação do solo por atividades do ramo agropecuário. Segundo Merten e Minella (2002, p. 34), “os poluentes resultantes do deflúvio superficial agrícola são constituídos de sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos animais”. Alguns estudos sugerem que, em bacias localizadas em zonas rurais, os resíduos provenientes da agricultura e pecuária são responsáveis por mais da metade da contaminação dos recursos hídricos.

O assoreamento é um problema grave que afeta negativamente a qualidade de rios e do próprio solo. Conforme Ehlers (2017), perdas de até 25 toneladas de solo por hectare são frequentes no país, sendo que o principal motivo é a remoção da mata ciliar encontrada nas margens dos cursos hídricos. Esta remoção facilita o carregamento de solo, roxas e sedimentos. Além disso, pode transportar resíduos de defensivos agrícolas, contaminando as águas com agrotóxicos. O assoreamento “lava” as lavouras, exigindo o uso mais intenso de defensivos, tornando este um ciclo perigoso não só para o meio ambiente, mas também para a saúde humana.

Uma vez que as principais fontes de contaminação de águas superficiais em regiões agrícolas estão relacionadas ao manejo inadequado do solo, é importante que as recomendações para uso de defensivos agrícolas e descarte de resíduos sólidos sejam seguidas, garantindo que com boas práticas de manejo o dano aos rios causado pelas atividades agrícolas seja o menor possível (REISSLER; MAZIONE, 2018).

Não são só as atividades agrícolas que podem causar problemas ambientais em bacias rurais, como também as atividades pecuárias. Áreas extensas de pastagem que não recebem o manejo adequado acabam gerando alta compactação do solo, que, aliada à retirada da mata ciliar, pode gerar graves problemas no solo e na bacia hidrográfica. Quanto maior a compactação do solo, menor será sua capacidade de infiltração, fazendo com que as águas pluviais escurram mais facilmente, carregando consigo resíduos orgânicos, como os esterco bovinos, juntamente com solo e defensivos agrícolas utilizados nestas áreas (MAGALHÃES; BARBOSA, 2019).

A criação de outros animais também pode gerar problemas ambientais na bacia hidrográfica, caso o manejo dos dejetos seja feito de maneira irregular. A suinocultura, atividade pecuária de grande importância para o Brasil e para a região sul, possui alto potencial poluidor. A degradação biológica de dejetos suínos libera gases tóxicos no solo e na água, que podem ocasionar cenários de desequilíbrio no meio ambiente. A saúde pública também pode ser afetada pela suinocultura de manejo inadequado (SANTOS; SILVA, 2018).

No Brasil, a Resolução nº 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) é que estabelece a classificação e padrões de qualidade das águas superficiais do país. De acordo com Silveira, Taffarel e Beneduzi (2018, p. 3):

A qualidade da água medida por tal resolução avalia um conjunto de condições e padrões necessários ao atendimento dos seus usos preponderantes, atuais ou futuros, determinando diversos parâmetros a serem observados, estabelecendo limites individuais para as substâncias que caracterizam as condições físicas, químicas e biológicas do corpo hídrico. As águas classificadas como classe 1 são destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas. As de classe 2 são águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à aquicultura e à atividade de pesca. As de classe 3 são destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras e à pesca amadora, e as de classe 4 são águas que podem apenas ser destinadas apenas à navegação e à harmonia paisagística (SILVEIRA, TAFFAREL; BENEDUZI, 2018, p. 3).

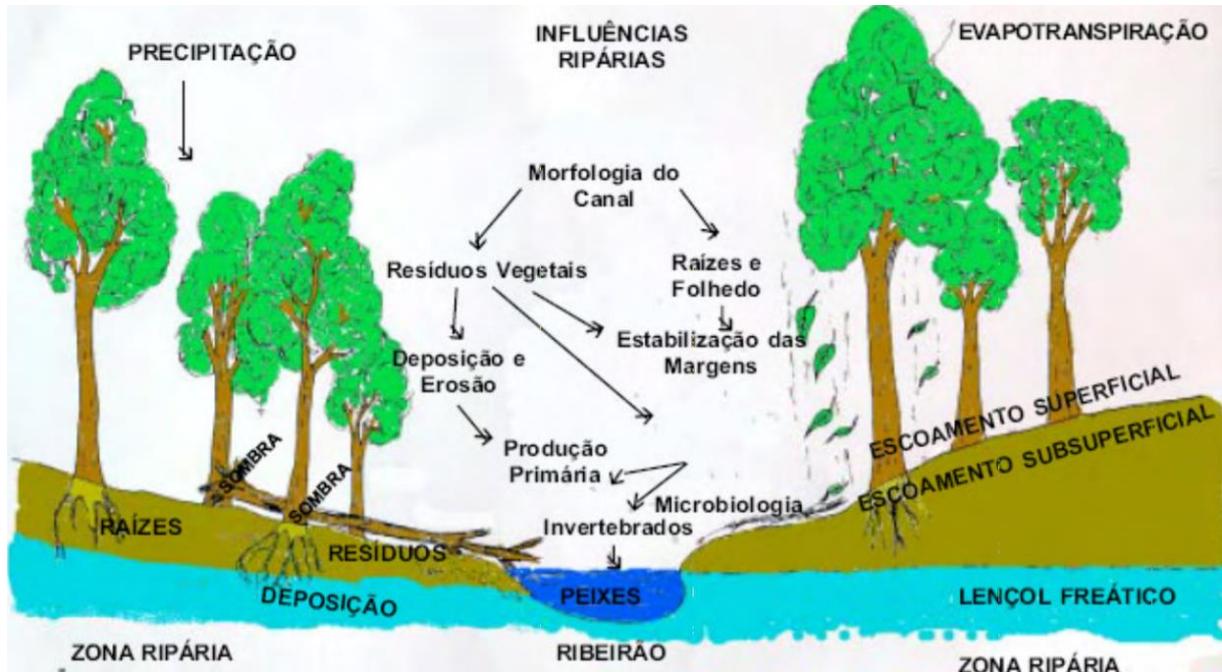
Em um estudo realizado em uma bacia rural do município de Lavras do Sul - RS, os autores encontraram valores de condutividade elétrica superiores a $100 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, o que pode sugerir contaminação por deposição de rejeitos agrícolas em locais inadequados (CUNHA et al., 2017). Para Figur e Reis (2017), em pesquisa na bacia do Rio Abaúna, em Getúlio Vargas - RS, verificou-se que a qualidade das águas superficiais cumpriu os padrões estabelecidos na Resolução do CONAMA nas áreas em que a mata ciliar existia e estava em conformidade com o Código Florestal. Entretanto, em pontos em que houve a remoção da mata ciliar que protege o rio, os autores verificaram a presença de sedimentos em suspensão que alteraram a qualidade da água nestes pontos.

3.4 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E A QUALIDADE AMBIENTAL EM BACIAS EM BACIAS

Como visto anteriormente, garantir a sustentabilidade e sanidade das bacias hidrográficas é fundamental para assegurar água de qualidade e em quantidade ideais para suprir a demanda por seus diversos usos. Desta forma, Lima (2008) ressalta a importância da manutenção das áreas de preservação permanente que compõem a mata ciliar e protegem o curso d'água de influências externas. Segundo o autor, os principais processos desempenhados pela zona de Área de Preservação Permanente (APP) em uma bacia hidrográfica são: a geração do escoamento direto em microbacias; a quantidade e a qualidade da água, a ciclagem de nutrientes e a interação direta com o ecossistema aquático.

A Figura 2 ilustra a influência da área de preservação permanente – também chamada de zona ripária – em uma microbacia.

Figura 2 - Influências da zona de APP em uma microbacia.



Fonte: Lima (2008).

A legislação que delimita a área de preservação permanente de cada curso d'água é o Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012). Segundo a própria legislação, a APP pode ser definida como:

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas ((BRASIL, 2012).

O Código Florestal Federal prevê, basicamente, que a área de preservação permanente em cursos d'água sejam de:

- 30 metros para cursos d'água de até 10 metros de largura;
- 50 metros para cursos d'água entre 10 e 50 metros de largura;
- 100 metros para cursos d'água entre 50 e 200 metros de largura;
- 200 metros para cursos d'água entre 200 e 600 metros de largura;
- 500 metros para cursos d'água com mais de 600 metros de largura;
- Raio mínimo de 50 metros no entorno de nascentes.

Entretanto, enquanto a legislação prevê estes valores fixos dependendo do tamanho do curso d'água, alguns autores sugerem que no que se refere à proteção de áreas no entorno de rios, é essencial analisar cada caso separadamente, dependendo das características do curso d'água e da região em que o mesmo está inserido. De acordo com Lima e Zakia (2000, s. p.):

A zona ripária está intimamente ligada ao curso d'água, mas os seus limites não são facilmente demarcados. Em tese, os limites laterais se estenderiam até o alcance da planície de inundação. Todavia, os processos físicos que moldam continuamente os leitos dos cursos d'água, que vão desde intervalos de recorrência curtos das cheias anuais, até fenômenos mais intensos das enchentes decenais e seculares, impõem, também, a necessidade de se considerar um padrão temporal de variação da zona ripária. O limite a montante, por exemplo, seria a nascente, mas durante parte do ano a zona saturada da microbacia se expande consideravelmente, o que implica na necessidade de se considerar também as áreas côncavas das cabeceiras ("*stream-head hollows*") como parte integrante da zona ripária (LIMA; ZAKIA, 2000, s. p.).

3.5 FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação, de acordo com Rodrigues e Orlandelli (2018), surge como uma alternativa de minimizar os impactos antrópicos ao meio ambiente. Conforme os autores, esta técnica consiste na recuperação da qualidade ambiental de certo meio

(ar, solo ou água) através da utilização de vegetais, que podem reduzir ou mesmo eliminar a toxicidade de ambientes.

Andrade, Tavares e Mahler (2007) sugerem que a fitorremediação possui algumas vantagens e também pontos negativos quando comparada a tecnologias químicas ou físicas de remoção de poluentes. Estas informações estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da fitorremediação.

Pontos positivos	Pontos negativos
Custo relativamente baixo.	Resultados normalmente são mais lentos que em tratamentos químicos.
A aplicação se dá <i>in situ</i> e permite a reutilização do solo.	O crescimento vegetal varia conforme a região, clima e características do solo.
Pode ser aplicado em diferentes poluentes, inclusive alguns recalcitrantes.	Dependendo da concentração e toxicidade do poluente, este pode impedir o desenvolvimento da planta, impossibilitando seu uso.
A técnica possibilita maior harmonia estética, sem causar distúrbios ou impactos ambientais, como escavações e tráfego pesado.	Sua aplicação está restrita à superfície do solo ou águas rasas.
A monitoração de espécies vegetais é mais fácil que a de microrganismos.	É necessário realizar a disposição da biomassa vegetal quando ocorre a fitoextração de poluentes não metabolizáveis ou metabolizados a compostos também tóxicos.
Pode ser aplicado em áreas extensas.	Não é capaz de reduzir o poluente em sua totalidade.
Pode apresentar uma solução permanente em diversos casos, uma vez que poluentes orgânicos podem ser mineralizados.	Pode ocorrer a produção de metabólitos mais tóxicos que o poluente original.
O material vegetal, após o tratamento, pode ser utilizado na confecção de móveis, geração de energia, etc.	Caso não sejam tomados os devidos cuidados, pode favorecer o transporte do poluente ou a inserção e bioacúmulo na cadeia trófica, aumentando os riscos relativos à contaminação e indução de efeitos deletérios em seres vivos.

Fonte: Adaptado de Andrade, Tavares e Mahler (2007).

Mais de 250 mil espécies vegetais possuem potencial de fitorremediação. Os mecanismos envolvidos neste processo são vários, como a fitodegradação (onde o contaminante é convertido a uma forma menos tóxica), fitovolatilização (quando o

contaminante é absorvido e posteriormente convertido em forma volátil, sendo então liberado para a atmosfera), fitoestimulação (ocorre quando a biodegradação por microrganismos é favorecida através de exsudatos das raízes ou do fornecimento de tecidos vegetais), fitoestabilização (ocorre quando há imobilização do contaminante através de lignificação ou humificação) e a fitoextração, que será discutida na próxima seção (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

3.5.1 Fitoextração

A fitoextração é um dos mecanismos da fitorremediação. Ela ocorre através da absorção do poluente, que é então armazenado no tecido vegetal da planta fitoextratora, facilitando desta forma o descarte do material contaminado. Diversas plantas possuem esta capacidade – de armazenar, em seus tecidos, os poluentes presentes no meio (seja água, ar ou solo), sem, no entanto, degradá-los (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

De acordo com Andrade, Tavares e Mahler (2007, p. 24), na fitoextração:

[...] as espécies são plantadas e posteriormente colhidas, com o intuito de deixar o local livre das substâncias tóxicas. O destino do material vegetal produzido dependerá da possibilidade ou não de seu aproveitamento, sendo decidido de acordo com a espécie vegetal cultivada, sua capacidade de bioacúmulo e o risco ambiental representado. Dependendo do caso, o tecido vegetal pode ser incinerado, depositado em aterro, coprocessado na fabricação de cimento, ou, em caso de aproveitamento, utilizado para produção de fibras, móveis, etc (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007, p. 24).

Segundo informações de Lasat (2000), até o início do milênio já haviam sido documentadas mais de 400 espécies vegetais com capacidade de acumulação de poluentes e os possíveis usos após a utilização das plantas na fitorremediação dependem também de sua espécie. Estas plantas fitoextradoras pertencem a 45 famílias diferentes, sendo que a maioria está inserida nas famílias *Brassicaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* e *Scrophulariaceae* (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Existem ainda as plantas chamadas de hiperacumuladoras, com alto potencial de extração de poluentes. Tais plantas são capazes de tolerar altíssimas concentrações de metais pesados: > 10.000 mg.kg⁻¹ de zinco e magnésio, > 1.000

mg.kg⁻¹ de chumbo, níquel e cobre, e > 100 mg.kg⁻¹ de cádmio, por exemplo (ALMEIDA, 2018).

As plantas utilizadas na fitoextração devem ter algumas características básicas, de modo a produzir resultados satisfatórios na utilização da técnica. Além de possuírem uma elevada capacidade de absorção, plantas fitorremediadoras são mais eficazes quando apresentam raízes profundas, taxa de crescimento elevada, facilidade de remoção e ampla resistência ao(s) poluente(s) que se deseja atenuar. Plantas com potencial de fitoextração também devem possuir a capacidade de crescer fora da sua área de coleta, ter alta biomassa e acumular os poluentes em suas partes colhíveis, de modo a removê-los com facilidade do ambiente contaminado (COUTINHO; BARBOSA, 2007; KACALKOVA; TLUSTOA; SZAKOVA, 2015).

Lubben e Sauerbeck (1991) propôs um fator de transferência (t) capaz de definir o potencial extrator de determinada espécie vegetal. Para isso, basta encontrar a razão entre a concentração total do contaminante na planta e a concentração total do contaminante no meio, sendo que quanto maior o valor de t, maior o potencial fitoextrator da planta.

3.5.2 Principais espécies extratoras do Brasil

Em diversos países estão sendo conduzidos estudos com o intuito de avaliar o potencial fitoextrator de diferentes espécies vegetais. Li et al. (2016), por exemplo, verificaram a capacidade de seis espécies vegetais na extração de cádmio, chumbo e zinco, sendo que o amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) foi a espécie que apresentou melhores resultados para cádmio e zinco. Cabe ressaltar que a planta que apresentou maior biomassa da parte aérea foi o amaranto. Embora a chicória tenha apresentado alto potencial fitoextrator, por ter uma biomassa inferior, a planta não é capaz de absorver grandes concentrações dos metais.

No Brasil, em estudo conduzido por Souza et al. (2011), os autores constataram que o feno de erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) possui potencial de extração de sais em solo salino sódico, sendo que os teores de sódio e a percentagem de sódio trocável foram reduzidos no solo após o cultivo da planta, indicando sua eficácia na dessalinização de ambientes.

Costa (2019) verificou o potencial fitoextrator de palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dick) na região do semiárido brasileiro. A autora constatou que

a planta possui alto potencial como fitoextratora, acumulando de forma eficiente em sua biomassa diversos elementos químicos, com destaque para a acumulação de potássio, ferro, manganês e cobre.

Já Costa (2018), em experimento com girassol (*Heliantus annus* C. Linnaeus) irrigado com água proveniente de processos produtivos petrolíferos (com alta concentração de sódio e cloro), verificou que a espécie vegetal foi capaz de bioacumular em sua biomassa diversos metais pesados, como manganês, zinco, cromo, níquel e chumbo.

Alvarenga et al. (2019) verificaram o potencial de extração de arsênio por capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum), cultivado em lodo de esgoto puro. Os autores verificaram redução de 27% da concentração inicial de arsênio após 150 dias de experimento, o que comprova o potencial fitoextrator do capim elefante.

Em estudo realizado em área de vinhedos, Panziera et al. (2018) observaram o potencial de acúmulo de cobre da aveia preta (*Avena sativa*, Hack). Os autores verificaram que a aveia preta tolerou todas as concentrações de cobre aplicadas ao tratamento, tendo ocorrido acumulação dos elementos nas raízes, caule e folhas das plantas.

Já Paiva (2018), realizou um experimento com três diferentes plantas, sendo o mangue-vermelho (*Rhizophora mangle* L.), mangue-branco (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn) e o mangue-preto (*Avicennia schaueriana* Stapft & Leechm) em ambiente de manguezal com contaminação por césio e cobalto. Dentre as espécies vegetais estudadas, o mangue-branco apresentou o maior potencial de bioacumulação de cobalto, principalmente nas raízes e folhas. Já para o elemento césio, o mangue-preto foi a melhor espécie fitoextratora.

3.6 BIOINDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA

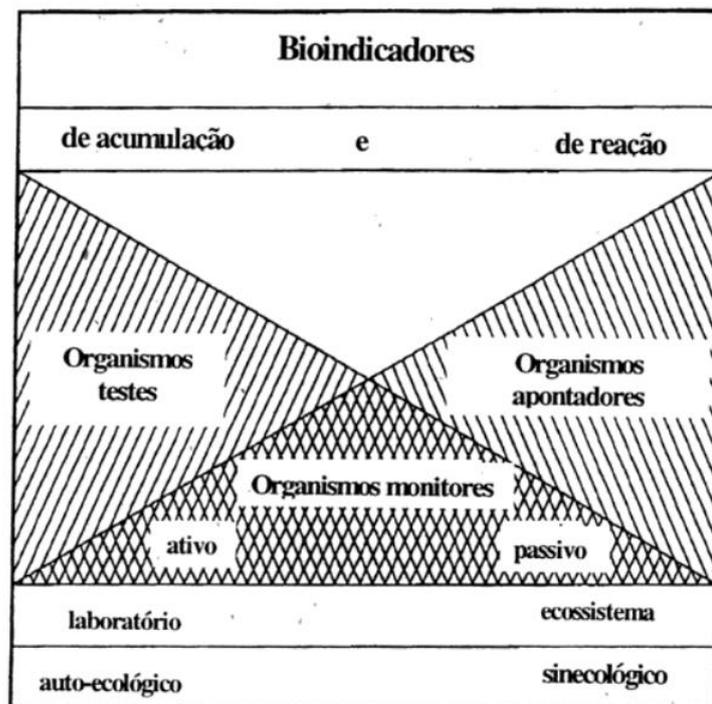
Bioindicadores podem ser uma espécie, grupo de espécie ou comunidade biológica que possui a capacidade de influenciar nos impactos ambientais antrópicos de determinado meio. Conforme Arndt, Nobel e Schweizer (1987, p. 291), bioindicadores “são organismos ou comunidades que reagem a alterações ambientais modificando suas funções vitais e/ou sua composição química e com isso fornecem informações sobre a situação ambiental”.

De acordo com Lima (2000), o relato mais antigo sobre plantas bioindicadoras tem mais de quatro séculos. Entretanto, o termo passou a aparecer de forma mais frequente na literatura a partir da década de 60, principalmente na Alemanha. De acordo com Martos e Maia (2001), existem três classificações para as plantas bioindicadoras, conforme sua forma de uso:

- Indicadores ecológicos: são plantas que indicam, através de variações na sua população (como pelo desaparecimento ou mesmo pelo aumento significativo do número de indivíduos), o impacto da poluição no meio em que estão inseridas;
- Indicadores testes: são aqueles que possuem alto potencial para serem usados em laboratório;
- Indicadores monitores: estas plantas mostram, qualitativa e quantitativamente, o impacto da poluição do meio em que estão inseridas sobre organismos vivos. São muito utilizadas por serem espécies que usualmente já estão inseridas no ambiente estudado (monitoramento passivo), mas também podem ser inseridas através de padronização (monitoramento ativo).

Esta classificação conforme o uso pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 - Diferentes formas de uso de bioindicadores.



Fonte: Martos e Maia (2001, p. 80).

Conforme Martos e Maia (2001), as plantas bioindicadoras são utilizadas em diversas situações, como no monitoramento de fontes pontuais de poluição, na verificação da eficiência de medidas de controle de poluição, monitoramentos regionais, nacionais, internacionais, e em áreas remotas, em estudos de impacto ambiental etc.

Santos et al. (2019) avaliaram o potencial de utilização da herbácea *Tradescantia pallida purpúrea*, conhecida popularmente como trapoeraba, como planta bioindicadora da qualidade da água no Rio Tietê, em São Paulo. Os resultados indicam alta concentração de poluentes na água em questão, sendo encontrados números superiores de micronúcleos nas plantas expostas a esta amostra, em comparação com o tratamento controle. Os autores ressaltam que os cromossomos nos estágios iniciais da planta são sensíveis a agentes químicos e físicos, induzindo, portanto, a formação de micronúcleos quando estas estão inseridas em ambiente poluído. Portanto, o potencial de utilização da trapoeraba como planta bioindicadora é alto, sendo amplamente encontrada em todas as regiões do país.

Petry et al. (2016) também avaliaram a *Tradescantia pallida purpurea* como planta bioindicadora da qualidade ambiental aquática no Arroio Luiz Rau, em Novo Hamburgo. A avaliação qualitativa da água superficial mostrou que a mesma está em desacordo com a legislação vigente, apresentando DBO em concentrações superiores ao limite legal. A utilização da herbácea provou-se eficaz como bioindicadora, indicando genotoxicidade na água do arroio analisado, através da análise da frequência de micronúcleos da planta exposta à água contaminada.

Hegel e Melo (2016) observaram a ocorrência de macrófitas aquáticas em Arroios da Reserva Particular do Patrimônio Natural Maragato, no Paraná. As autoras verificaram maior densidade das espécies *Tripogandra diuretica* e *Egeria densa*, sendo que, após a análise do substrato do fundo apresentou teores elevados de Fósforo (P), Potássio (K), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Cobre (Cu) para a primeira e de N, Fe, Mn e Zn para a segunda. As autoras ressaltam que o fator que mais contribui para o crescimento acelerado de macrófitas é a poluição antrópica (seja através de fontes domésticas, industriais ou agrícolas), razão pela qual estas plantas possuem alto potencial para serem utilizadas como bioindicadoras.

3.6.1 Lírio-do-brejo

O lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*) é uma planta macrófita cuja distribuição demográfica é extremamente ampla. De acordo com Ascheri et al. (2009), a introdução do lírio-do-brejo no país deu-se em 1987, e hoje sua ocorrência é comum em todos os estados brasileiros, mas de forma mais abundante nas regiões litorâneas. No Brasil, a planta é considerada como exótica invasora. A Figura 4 mostra uma representação fotográfica da espécie.

Figura 4 - Lírio-do-brejo, flores e rizoma.



Fonte: Verma e Bansal (2010).

De acordo com Verma e Bansal (2010), o lírio-do-brejo é uma planta que possui diversos usos. Além de servirem para ornamentações, as flores são comestíveis e são utilizadas na indústria alimentícia para dar sabor a doces e sobremesas, e podem compor saladas. O óleo extraído das flores é utilizado na fabricação de perfumes e as fibras da planta, por possuírem alta concentração de celulose, podem ser utilizadas na fabricação de papel. O caule e as raízes são utilizados no tratamento de amidalite

ou problemas de garganta e a seiva do caule pode ser aplicada em inchaços e machucados da pele. Além de todas estas funções, segundo os autores, alguns compostos do lírio-do-brejo são utilizados no tratamento de diversas patologias, como diabetes, alguns tipos de câncer, doenças reumáticas etc.

O potencial de tratamento de esgoto doméstico foi estudado por Rodolfo e Lourdes (1996) e por Almeida e Almeida (2005). Os autores verificaram que o lírio-do-brejo, em consórcio com outras macrófitas, possui alto potencial de remoção de coliformes de águas residuárias domésticas. Conforme os autores, existem algumas características fundamentais que as plantas utilizadas no tratamento de esgoto devem ter, como as raízes, que devem prover uma superfície de fixação para as bactérias aeróbicas, bem como lhes fornecer oxigênio, retirando nutrientes da solução e absorvendo altos volumes de água. Desta forma, é essencial que a planta possua a capacidade de se enraizar e desenvolver em meio saturado. O lírio-do-brejo possui estas características.

Em estudo conduzido por Almeida, Oliveira e Kliemann (2007), foi avaliado o potencial do uso de tratamento de esgoto doméstico de diversas plantas, como taboa, lírio-do-brejo, conta-de-lágrima e capim angola. Os autores verificaram que o tratamento tipo zona de raízes aplicado na pesquisa foi altamente eficiente, com destaque para as espécies lírio-do-brejo e taboa. Estas duas plantas apresentaram maior eficiência na redução de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), na oxigenação do substrato, na remoção do nitrogênio amoniacal e na remoção de coliformes.

Mendonça et al. (2012) verificaram o potencial de remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de uma indústria de laticínios, para sistemas alagados com a utilização de bunho (*Typha dominguensis*) e lírio-do-brejo. Conforme os autores, os resultados indicam que “sistemas alagados construídos cultivados com *Typha dominguensis* e *Hedychium coronarium* podem ser utilizados para remover nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios”, pois removem de maneira satisfatória estes nutrientes da amostra a ser tratada.

Kletecke (2011), analisou a capacidade de retenção de nitrogênio e fósforo em diversas plantas ornamentais, incluindo a *Hedychium coronarium*, como pós-tratamento de águas residuárias provenientes de esgoto doméstico. A autora observou que o lírio-do-brejo foi eficiente na retenção de nutrientes e matéria orgânica do efluente, podendo ser utilizada com este propósito de maneira eficaz. A autora

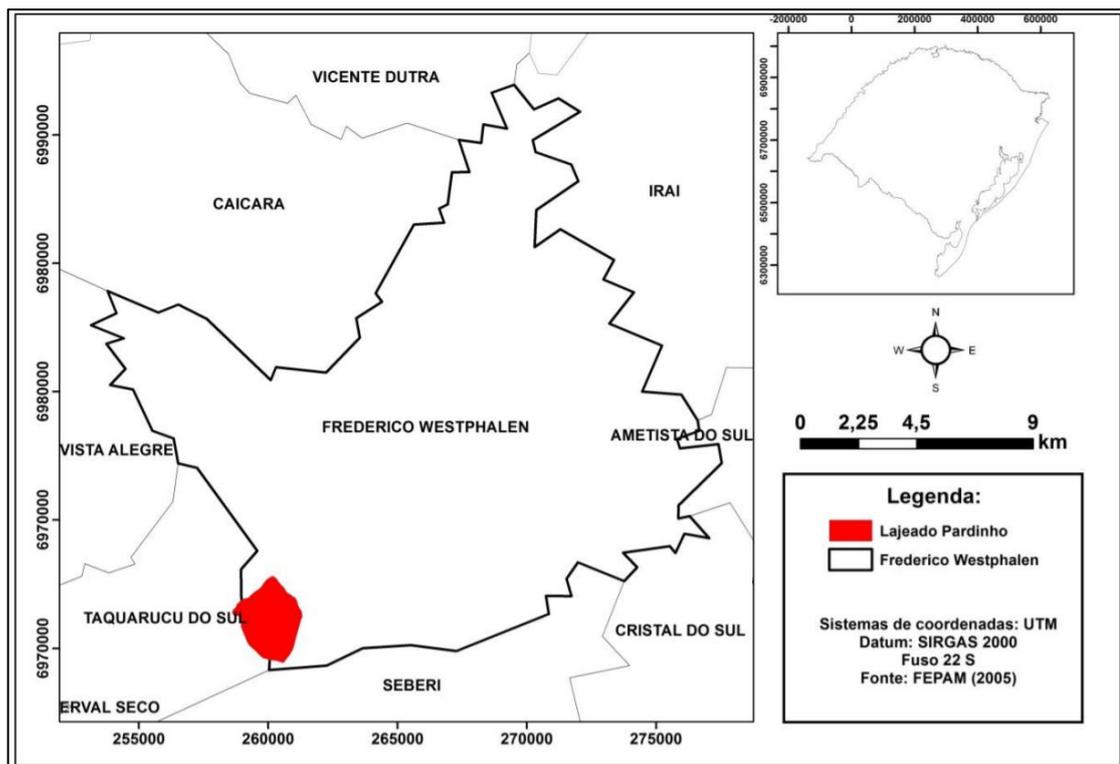
sugere ainda que uma das vantagens em relação ao uso de plantas ornamentais no tratamento de efluentes é a qualidade estética, muito mais agradável e aceita pela população em geral do que os sistemas tradicionais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O estudo foi realizado na Linha Sete de Setembro ($27^{\circ}23'48.46''$ S – $53^{\circ}25'28.74''$ O), nas proximidades da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada no município de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 5). O município está inserido na região do Médio Alto Uruguai, a uma altitude de 566 metros e possui área de 265 km², possuindo 31.498 habitantes (IBGE, 2020). De acordo com Kottek et al. (2006), localiza-se numa região de clima subtropical úmido, com precipitações abundantes e bem distribuídas ao longo do ano.

Figura 5 - Localização do município de Frederico Westphalen - RS.

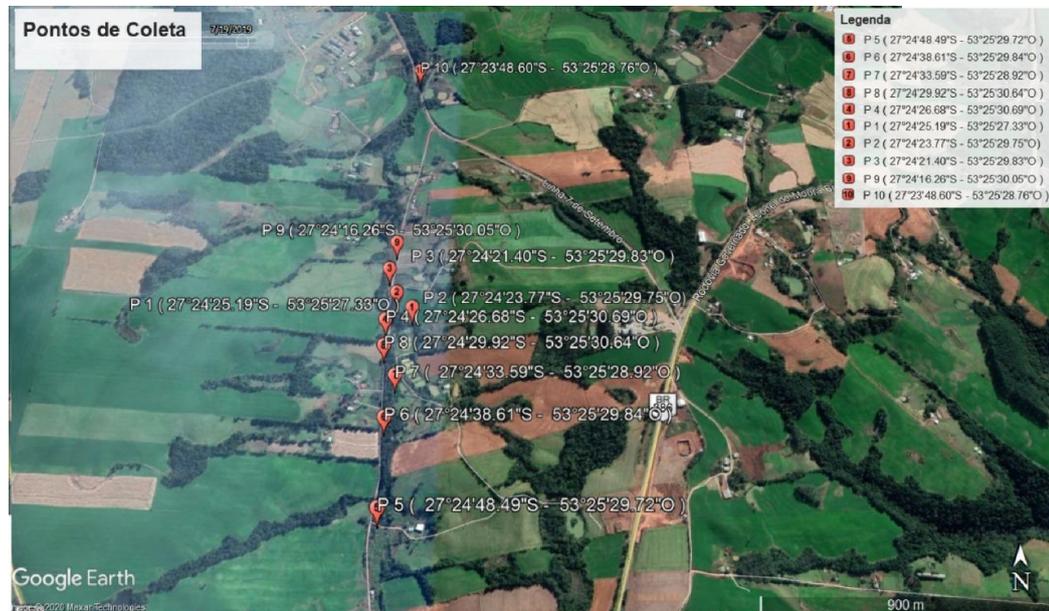


Fonte: Souza et al. (2017).

A coleta do *Hedychium coronarium* foi realizada em um raio de 0,62 km², onde foram escolhidos dez pontos para amostragem (Figura 6). Tanto a parte aérea quanto o rizoma foram coletados, sendo que em cada ponto coletou-se três plantas em uma triangulação. A primeira coleta foi realizada no dia 05 de junho de 2019 e os materiais

foram alocados em sacos individuais, previamente identificados, separados em parte aérea e rizoma.

Figura 6 - Pontos de coleta do material.



Fonte: A Autora (2020).

Quadro 2 - Pontos de amostragem e suas respectivas coordenadas geográficas.

Pontos	Coordenadas
P1	27°24'24.00"S – 53°25'27.77"O
P2	27°24'24.03"S – 53°25'28.88"O
P3	27°24'23.56"S – 53°25'29.62"O
P4	27°24'26.66"S – 53°25'30.70"O
P5	27°24'48.40"S – 53°25'29.70"O
P6	27°24'38.57"S – 53°25'29.94"O
P7	27°24'33.50"S – 53°25'28.89"O
P8	27°24'29.81"S – 53°25'30.68"O
P9	27°24'19.17"S – 53°25'30.06"O
P10	27°23'48.46"S – 53°25'28.74"O

Fonte: A Autora (2020).

4.1.1 Clima

No que se refere às condições meteorológicas, o município de Frederico Westphalen localiza-se em uma zona de clima subtropical úmido, região conhecida por possuir verões úmidos. Na escala climática que correlaciona diversos fatores

regionais, como temperatura, precipitação e bioma (Köppen-Geiger), o município possui a classificação Cfa, caracterizada por precipitações abundantes e bem distribuídas ao longo do ano (KOTTEK et al., 2006).

Quanto à precipitação, a média anual é de 1952 mm. Já a temperatura média da região é de 20,3 °C, sendo a máxima média anual de 27,5 °C e a mínima média anual de 15,2 °C. Estes dados foram obtidos através das informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - (1981-2010), sendo que foram utilizados os dados da estação convencional mais próxima do local de estudo, localizada no município de Iraí.

4.1.2 Vegetação nativa

Frederico Westphalen está inserido na região correspondente ao Bioma Mata Atlântica. Conforme Oderich e Miguel (2017), a precipitação abundante e as temperaturas da região contribuem para a formação de florestas densas, características do bioma em questão.

Conforme o IBGE (1986), as florestas da região são classificadas como Floresta Estacional Semidecidual. Para Leite e Klein (1990), o clima típico que ocorre em florestas semidecíduais gaúchas é o ombrófilo – caracterizado pela ausência de período seco – mas no qual ao menos um trimestre do ano possui média de temperatura compensada inferior a 15 °C. Para os autores, o clima mais frio desta região é o responsável pelo fenômeno da estacionalidade foliar.

Conforme Siminski, Reis e Tres (2014, p. 19):

Apesar de se tratar de uma região onde se desenvolveu uma floresta fisionomicamente exuberante, com árvores de até 30 e 35m de altura, observa-se a ocorrência de um estrato superior bastante descontínuo (aberto) e a floresta, tanto na sua formação submontana quanto na montana, mostrava-se bem mais pobre em formas de vida do que as Florestas Ombrófilas típicas do Sul do País, com estrato superior, em geral, constituído por reduzido número de espécies.

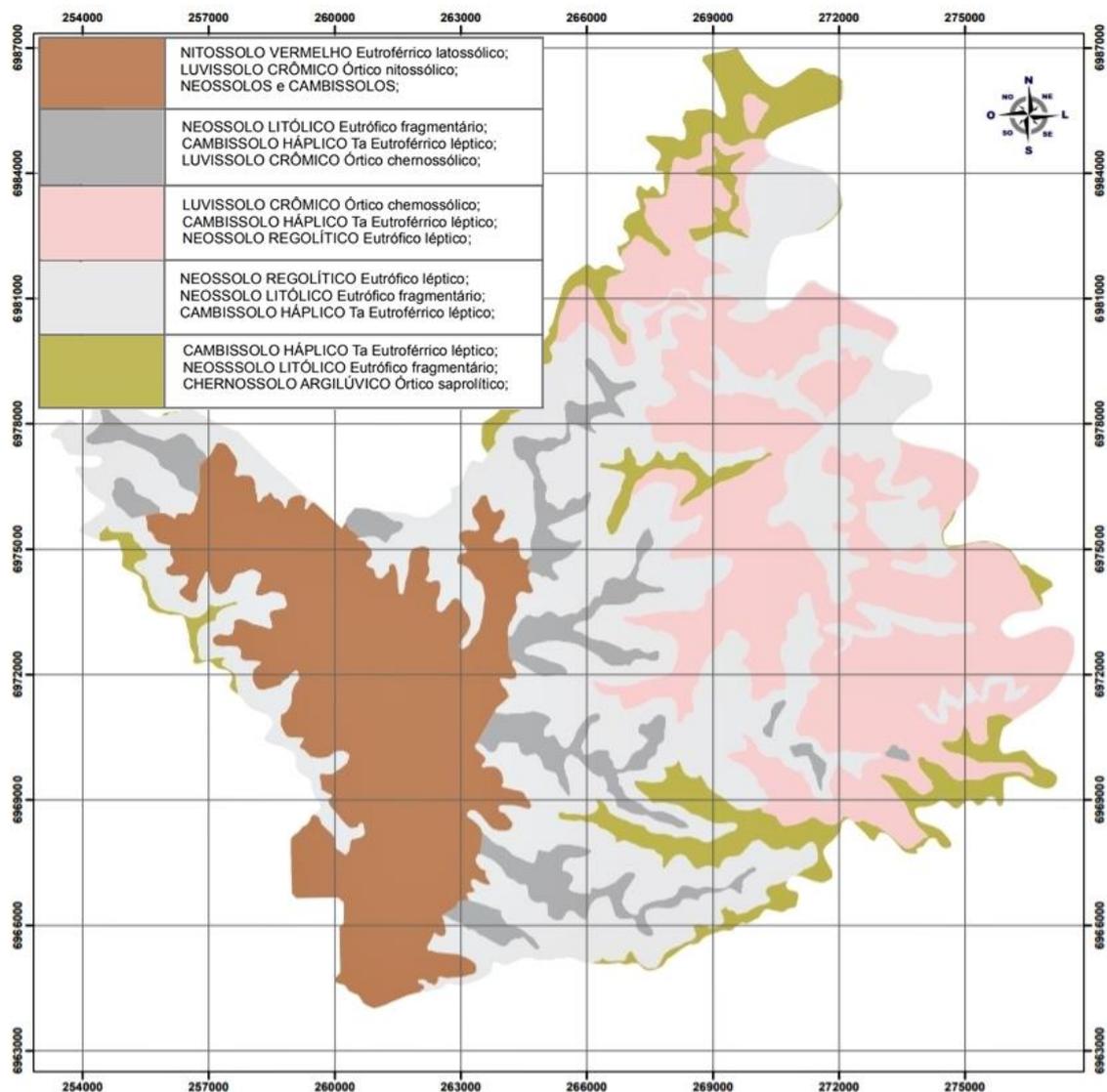
4.1.3 Relevo e tipo de solo

Conforme Cunha et al. (2011), a região oeste do município possui prevalência de superfícies íngremes e relevo escarpado, que compõe a borda dos espigões em vales íngremes. Além disso, existem regiões compostas do antigo espigão rochoso

que, pelo intemperismo, estão sendo aplainadas e formando chapadas modernas. No que se refere ao tipo de solo da região, destacam-se o Neossolo, Cambissolo, Nitossolo, Luvisolo, e Chernossolo, conforme Figura 7.

A parte representada pela cor cinza claro abrange 37,8% da área de Frederico Westphalen, e possui em sua composição Neossolo regolítico eutrófico léptico; Neossolo litólico eutrófico fragmentário e Cambissolo háptico eutrófico léptico. A região representada pela cor rosa na Figura 7 abrange os seguintes tipos de solo: Luvisolo crômico órtico chernossólico; Cambissolo háptico eutrófico léptico e Neossolo regolítico eutrófico léptico. Estes solos ocupam 25,6% da área do município (CUNHA et al., 2011).

Figura 7 - Mapa do tipo de solo de Frederico Westphalen - RS.



Fonte: Cunha et al. (2011).

A região oeste, representada pela cor marrom, ocupa 20,8% da área do município e é composta por Nitossolo vermelho eutrófico latossólico; Luvisolo crômico órtico nitossólico, Neossolo e Cambissolo. A região representada pela cor verde ocupa 8,5% do território e é composta pelos seguintes solos: Cambissolo háplico eutrófico elíptico; Neossolo litólico eutrófico fragmentário e Chernossolo argilúvico órtico saprofíticos. Por fim, a área representada pela cor cinza escuro ocupa 7,2% da área do município e é composta pelos solos Neossolo litólico eutrófico fragmentário; Cambissolo háplico eutrófico léptico e Luvisolo crômico órtico chernossólico (CUNHA et al., 2011).

4.1.4 Ocupação do solo

Dentre as atividades mais desenvolvidas no município de Frederico Westphalen, destaca-se o comércio. Existem ainda algumas indústrias, expressivas no ramo metalúrgico, além da lapidação de pedras preciosas, frigoríficos, abatedouros e fábricas de ração. A agropecuária também se faz presente na cidade – principalmente na forma de agricultura familiar –, com destaque para a suinocultura e avicultura, bem como produção de feijão, milho, soja e hortaliças (ARNS; PIOVEZANA, 2008).

Conforme Renz et al. (2014), a atividade de pastoreio também está presente na região. Todas estas atividades do ramo agropecuário contribuem para a contaminação do solo e dos recursos hídricos do município, uma vez que existe o uso intensivo de fertilizantes, herbicidas, fungicidas e demais defensivos agrícolas. Além disso, conforme o autor, a vegetação da região foi amplamente desmatada nas últimas décadas, contribuindo para a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

4.2 ANÁLISE DA PLANTA

As análises das plantas foram realizadas no Laboratório do Grupo de Pesquisa Gerenciamento Ambiental e Manejo de Recursos Hídricos (GAMRH), localizado na Universidade Federal de Santa Maria, no município de Frederico Westphalen, RS.

As espécies vegetais foram coletadas nos meses de setembro a dezembro de 2019, nas primeiras horas do dia, sem precipitação pluvial em uma área ruderal, localizada nas proximidades da Universidade Federal de Santa Maria, no município

de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul. A identificação foi realizada através do método de comparação com outras espécies existentes no herbário do departamento de Engenharia Florestal no campus de Frederico Westphalen, da Universidade Federal de Santa Maria.

A coleta das plantas foi feita em dias propícios e no período da manhã. Amostras de plantas foram retiradas aleatoriamente ao longo do eixo principal do lajeado do pardo (pardinho) em que os exemplares da espécie em estudo, se encontravam em maior abundância. Foram coletados dados em dez pontos (Figura 8), visando identificar mudança no uso do solo ou fontes de perturbação à montante dos pontos de coleta.

Figura 8 - Locais de coleta das amostras.



Fonte: A Autora (2020).

4.2.1 Delineamento estatístico

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco pontos de coleta das plantas ao longo do Lajeado Pardo e duas

partições (rizoma e folha). Considerou-se cada planta como uma unidade experimental, utilizando-se seis repetições por tratamento.

As amostras foram separadas nas frações rizoma e parte aérea e analisadas com auxílio da técnica de Florescência de Raios - X por Energia Dispersiva (EDX - RF), sendo determinados os elementos: Óxido de Potássio (K_2O), Óxido de Cálcio (CaO), Pentóxido de Fósforo (P_2O_5), Trióxido de Enxofre (SO_3), Dióxido de Manganês (MnO) e Óxido de Ferro (Fe_2O_3), por não terem apresentado problemas de detecção pelo método EDX - RF utilizado. Conforme Martinelli et al. (2006) e Selin et al. (1993), esta metodologia não destrutiva permite determinar de maneira extremamente precisa os elementos químicos presentes em amostras vivas ou mortas. Neste sentido, utilizou-se Certificado de Material de Referência N° 1917-103, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, denominado IPT 18B - Concentrado Fosfático (Jacupiranga), de forma que, para a validação e comprovação da eficiência do método, foram realizadas amostragens em heptaplicata.

No laboratório, as amostras foram devidamente lavadas e a parte aérea das mesmas foram picadas com tesoura de poda e encaminhadas para a estufa para secagem por aproximadamente 48 horas, em uma temperatura de 45 °C, até eliminação de toda a umidade retida nas plantas (BRASIL, 2011).

Com as amostras secas, foi realizada a moagem das amostras, onde ocorreu a trituração das mesmas, em seguida sendo passadas pela peneira, utilizando a 250 microns. Após todas as amostras terem sido peneiradas, foram novamente encaminhadas para a estufa, a fim de eliminar a umidade absorvida pelo ar. Depois de secas, as amostras foram pesadas – tanto a parte aérea da planta quanto o rizoma, e foram feitas as pastilhas do EDX - RF para realizar a leitura, bem como as análises dos seguintes elementos: K_2O , CaO, MnO, Fe_2O_3 , P_2O_5 e SO_3 .

Os dados foram submetidos a análise dos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, realizou-se análise de variância (ANOVA fatorial) e no caso de efeitos significativos ($p < 0,05$), foi realizado teste de comparação de médias pelo teste Tukey, com nível de probabilidade de erro de 0,05.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância demonstrou que a interação entre os pontos de coleta e o particionamento dos elementos (folha e rizoma) não foi significativo. Verificou-se apenas efeito isolado dos fatores ($p < 0,05$). Estes resultados podem ser observados no Apêndice A.

5.1 OCUPAÇÃO DO LÍRIO-DO-BREJO NA BACIA

Ao se iniciar a discussão dos resultados, cabe ressaltar alguns aspectos importantes do entorno dos agrupamentos de coleta. A pequena bacia, cuja qual foi escolhida para a realização deste estudo, está visivelmente impactada pela agricultura, tendo condições diferentes de declividade da nascente até o último ponto de coleta, como podemos observar na Figura 9. Os pontos não seguiram uma numeração contínua e crescente da nascente até o exutório ($27^{\circ}23'48.46''S - 53^{\circ}25'28.74''O$) pelo surgimento de questões técnicas de coleta e de laboratório, que demandaram retificação de coleta e aumento de pontos.

Figura 9 - Perfil de elevação.



Fonte: A Autora (2020).

Quadro 3 - Relação com pontos com sua declividade.

Pontos	Declividade
P1	483m
P2	482m
P3	480m
P4	481m
P5	487 m
P6	484 m
P7	480m

P8	480m
P9	478m
P10	471m

Fonte: A Autora (2020).

Para a análise estatística foram escolhidos aleatoriamente nos 10 pontos de coleta (P1 a P10) dois pontos para formar cada um dos agrupamentos P1, P2, P3, P4 e P5, como segue:

Quadro 4 - Agrupamentos relacionados aos pontos de coleta na bacia.

Agrupamentos (P)	Pontos de coleta (p)
Agrupamento P1	1 e 2
Agrupamento P2	3 e 4
Agrupamento P3	5 e 6
Agrupamento P4	7 e 8
Agrupamento P5	9 e 10

Fonte: A Autora (2020).

Essa escolha de associar dois pontos de coleta em cada agrupamento foi necessária para haver interação estatística entre os agrupamentos. O Lírio-do-brejo está presente em todos os locais em que se coletou material, em maior ou menor quantidade, conforme a declividade no ponto. Algumas regiões da bacia menos declivosas (com características de sedimentação) apresentam maior presença de indivíduos, provavelmente pela facilidade de propagação e assim formam verdadeiros bolsões de plantas em condições de saturação extrema do solo, no entanto, sem a presença de água corrente.

O trecho considerado mais declivoso da bacia (P5), também possui contribuição de um vilarejo, sem tratamento de esgoto e próximo a principal nascente, no entanto, com a área de preservação mais conservada de todos os demais locais deste estudo e com área de lavoura anual em praticamente toda a área de captação que desaguam nos pontos de coleta p5 e p6. Em segmentos mais planos da calha do rio, onde há sedimentação, inicia-se a proliferação do lírio do brejo.

Ao longo do eixo do rio principal, pode-se observar a existência de vários tanques de criação de peixes e a presença de lavoura anual no restante da área. A declividade já é menos significativa após os pontos o que culmina com deposição de grande quantidade de sedimentos, erosão da calha do curso de água e um

favorecimento para a fixação do Lírio-do-brejo nestes locais em que se nota grandes reboleiras da espécie. A área de preservação vai se tornando quase imperceptível conforme a declividade vai diminuindo ao longo da descida do rio, com poucas plantas protegendo o curso de água e na sua maioria exóticas, como a uva-do-japão (*Houvenia dulcis*, Thunberg).

No trecho final do rio, próximo aos pontos de coleta p9 e p10, já se observa a condição mais meandrante da calha do rio principal em função da pouca declividade. As culturas anuais compartilham o espaço com a criação de gado de leite e a suinocultura. A calha do rio principal já possui um volume de água considerável em relação aos pontos iniciais de coleta. Quase não se observa a presença de APP no trecho final. O Lírio-do-brejo toma uma projeção para as margens do curso de água e não mais em locais de sedimentação como nos pontos anteriores. Percebe-se claramente o aumento da presença da espécie em estudo, quanto maior são as clareiras ou ausência de mata ciliar arbustiva ou arbórea.

5.2 QUANTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

De maneira geral as plantas absorvem os elementos chamados de essenciais que são divididos em Macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S e Micronutrientes, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn. Para o elemento ser considerado essencial, o mesmo deve satisfazer os critérios de essencialidade para o desenvolvimento da planta. Cada elemento exerce uma função específica ao longo do desenvolvimento da planta, essas funções podem ser classificadas em: (1) Ativador enzimático: os elementos em questão não fazem parte da estrutura da planta, ele além de ativar, inibe sistemas enzimáticos; (2) Estrutural: esses elementos são componentes das moléculas de qualquer composto orgânico, por exemplo o elemento citado neste trabalho Ca; (3) Constituinte de enzima: são os elementos que constituem uma estrutura específica, sendo ela o grupo prostético de enzimas. Como exemplo presente no trabalho pode ser citado o elemento Fe e Mn (FAQUIN, 2005).

O Ca é considerado indispensável para o bom funcionamento das membranas celulares. Dentro da planta ele atua como estimulante para o desenvolvimento de suas raízes e folhas, ativando seus sistemas enzimáticos. O P é um nutriente insubstituível na planta, pois ele contribui em seu ciclo de produção. A maior concentração de fosforo é encontrada em plantas jovens, em seus pontos de crescimento, a

movimentação do fósforo dentro da planta é rápida, saindo dos tecidos velhos para os mais jovens (LOPES, 1998).

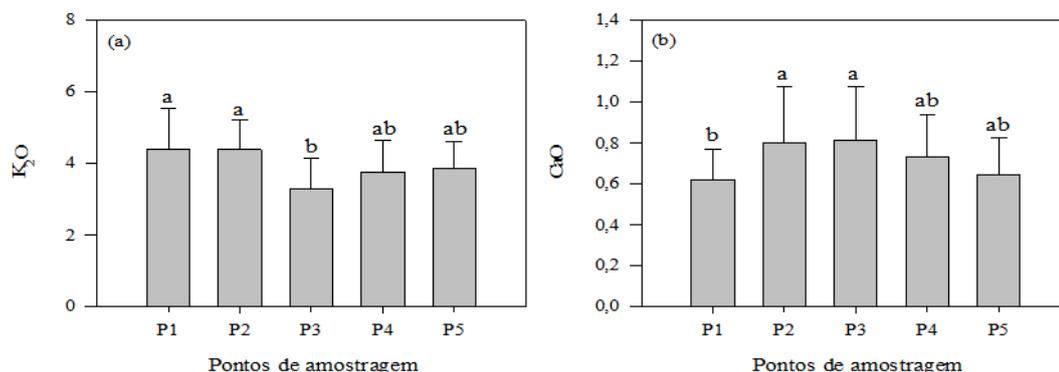
O K é um dos três elementos primários, constituinte da molécula da fotossíntese. Desempenhando a função estrutural na planta, tendo um papel importantíssimo como ativador enzimático (LOPES, 1998).

O S é formado por vinte e um aminoácidos que formam as proteínas, e por sua vez é absorvido pelos estômatos das folhas, sendo um elemento pouco redistribuído na planta. Ele auxilia na produção de sementes, no desenvolvimento de enzimas e vitaminas (FAQUIN, 2005).

O elemento manganês não é translocado nas plantas, é absorvido pelo sistema radicular da planta. Ele atua como sistema enzimático ativando inúmeras reações metabólicas. Além de ajudar nos processos de germinação e maturidade da planta. Assim como o Mn o Fe não é translocado dentro da planta, a redistribuição do mesmo se dá pelo xilema, acessando a corrente respiratória. O pH é um fator fundamental para sua disponibilidade no solo. O ferro atua como catalisador da biossíntese, contribui para o desenvolvimento das raízes e troncos (LOPES, 1998).

As Figuras 10, 11 e 12 demonstram o acúmulo dos elementos químicos analisados em plantas de *Hedychium coronarium* em função de diferentes agrupamentos.

Figura 10 - Acúmulo de Óxido de Potássio (a) e Óxido de Cálcio (b), em plantas de *Hedychium coronarium* em função de diferentes agrupamentos de amostragem.



Fonte: A Autora (2020).

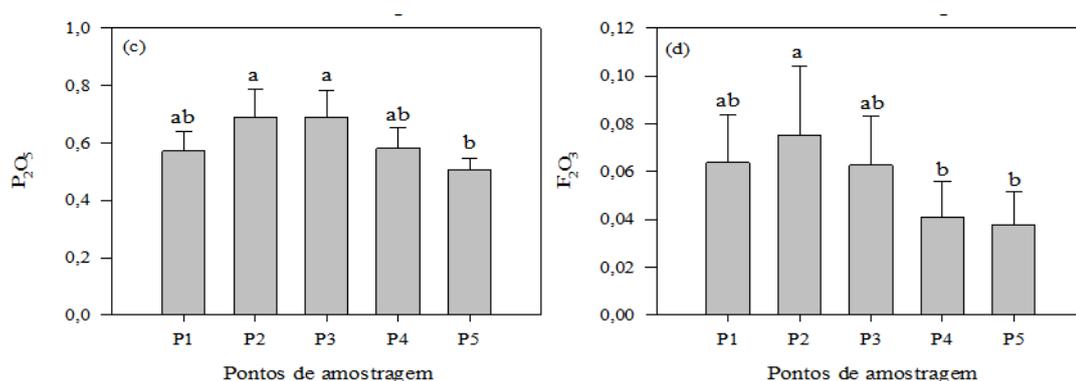
*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey. Barras verticais indicam o intervalo de 95% de confiança.

Foi possível detectar que o elemento potássio (K) (com resultado obtido com a ligação do elemento Oxigênio nas análises do EDX em laboratório - K₂O) que apenas

o agrupamento P3 diferenciou-se estatisticamente dos agrupamentos P1 e P2 e não foi estatisticamente diferente dos agrupamentos P4 e P5. Não foi possível realizar a análise de solo para verificar a concentração deste elemento em cada ponto. O agrupamento P3 (composto pelos pontos de coleta p5 e p6) é aquele na porção mais superior da bacia, que recebe água com maior velocidade e de área um pouco mais preservada. A considerar que o elemento K é um dos componentes de maior necessidade das plantas e presente no adubo químico NPK, existe a possibilidade do elemento filtrante da bacia (mata ciliar no trecho anterior) estar funcionando como um filtro e não permitindo o deslocamento deste elemento em maior quantidade por escoamento superficial.

Na Figura 10b é possível notar também que o elemento cálcio (Ca) foi mais presente nos agrupamentos P2 (p3 e p4) e P3 (p5 e p6) onde P3 recebe água do trecho mais preservado e com grande quantidade de matéria orgânica e ambos os agrupamentos estão localizados em depósitos de sedimentos bastante úmidos em que o lírio do brejo se beneficia para sua reprodução e deposita muita matéria orgânica de sua própria decomposição. A biomassa gerada pelos anos de infestação da planta, pode ter contribuído para essa diferenciação na quantidade de Ca presente. Para os demais agrupamentos, não há uma relação de diferença estatística para o cálcio.

Figura 11 - Óxido de Fósforo (c) e Óxido de Ferro (d), em plantas de *Hedychium coronarium* em função de diferentes agrupamentos de amostragem.



Fonte: A Autora (2020).

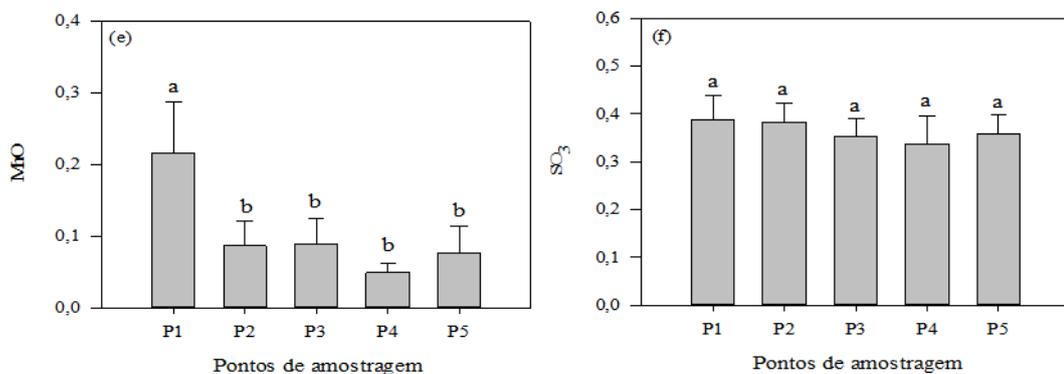
*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey. Barras verticais indicam o intervalo de 95% de confiança.

Para o elemento Fósforo (P), representado na Figura 11c, a abundância deste seguiu um padrão semelhante ao Cálcio (Ca), em que o local dos agrupamentos P2 (p3 e p4) e P3 (p5 e p6) são mais propícios ao depósito de biomassa e ainda favorece

a adsorção do Fósforo (P) a outros elementos presentes no solo. Cabe ressaltar que, ainda que não tenha sido realizada a análise de solo, em função da disponibilidade de tempo, porém provavelmente as diferenças estatísticas entre os elementos possa ser mais facilmente explicada pela situação de degradação da bacia do que pela diferença do substrato geológico.

Em relação ao elemento Ferro (Fe), por ser muito abundante no solo, as deposições de sedimentos devem facilitar sua absorção pela planta (FAQUIN, 2005), como ocorreu no agrupamento P2 (p3 e p4), conforme ilustra a Figura 11d. Os agrupamentos com diferença significativa para o ponto P2, foram o P4 (p7 e p8) e P5 (p9 e p10), justamente estes em que a calha do rio está menos erodida e o rio está mais encaixado, não se observando o lírio-do-brejo no plano horizontal e sim, mais nas margens ou fora dela, com certa declividade. O P2 está localizado em um das reboleiras da planta com ausência de visualização de água corrente. As plantas na posição P2, estão, aparentemente, muito bem nutridas e com melhor crescimento do que nos agrupamentos P1, P3, P4 e P5.

Figura 12 - Óxido de Manganês (e) e Óxido de Enxofre, em plantas de *Hedychium coronarium* em função de diferentes agrupamentos de amostragem.



Fonte: A Autora (2020).

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey. Barras verticais indicam o intervalo de 95% de confiança.

Sobre o elemento Manganês (Mn), como é possível observar na Figura 12e, houve uma diferença significativa e estatisticamente distinta do agrupamento P1 para os demais agrupamentos. A disponibilidade desse elemento ocorre em determinados aspectos, como por exemplo pH alto, relacionado com a presença de Ca e Fe. Por se tratar de um agrupamento próximo ao P2, que possui quantidade significativa do elemento Cálcio (Ca) e Ferro (Fe) essa combinação pode ter sido condição favorável

para sua disponibilidade e conseqüentemente absorção pela planta. Todas as plantas coletadas apresentavam aspecto sadio, sem presença de manchas foliares ou suspeita de deficiência nutricional ou doenças. Isso leva a um entendimento inicial e provável, de que a planta não absorveu este elemento em todo o seu potencial fisiológico, não o fazendo nos demais agrupamentos em função, provavelmente, de sua baixa disponibilidade e relação com os elementos que alteram a sua disponibilidade.

O elemento Enxofre (S) não apresentou diferença significativa na sua distribuição em todas as plantas analisadas, conforme mostra a Figura 12f. Esse fato pode estar relacionado a duas situações, a primeira delas diz respeito à disponibilidade do elemento no solo e na água e a segunda pode estar relacionada ao potencial da planta absorver esse elemento (FAQUIN, 2005).

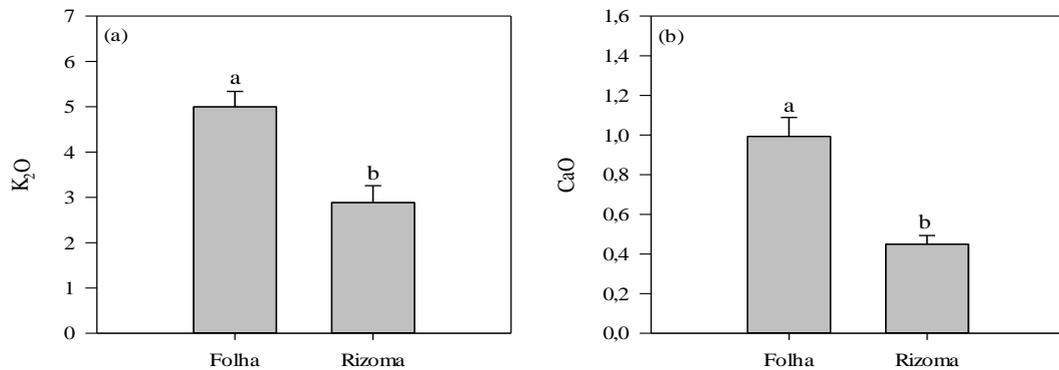
As Figuras 13, 14 e 15, por sua vez, se permite comparar o acúmulo dos elementos estudados na parte foliar e na raiz das plantas.

Para a análise das diferenças estatísticas em relação ao particionamento (folhas e raízes) de cada amostra de lírio do brejo retirada do campo, a exceção do enxofre e do ferro, todas as demais médias analisadas mostraram diferença estatística de retenção de elementos nas folhas e raízes, conforme mostra as Figuras 13,14 e 15.

O elemento Potássio (K) é bastante móvel no tecido das plantas Sengik (2003) e sua disponibilidade está associada a presença de Cálcio (Ca) e Manganês (Mn) no meio. Segundo o mesmo autor, o Potássio (K), absorvido como íon cátion (K⁺), é um nutriente que não faz parte de qualquer composto nas plantas, mas de forma livre regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, abertura e fechamento de estômatos, absorção de água do solo, atividades enzimáticas, formação de amido e síntese proteica.

A coleta do material de análise ocorreu em época de temperaturas que favoreceram a floração e brotação do lírio do brejo, o que provavelmente tenha contribuído para a translocação do elemento em maior quantidade para as folhas novas do que para os rizomas (Figura 13a), ao passo que, as folhas mais velhas são as que mais sofrem com a deficiência de K. Esse resultado pode representar um potencial da planta em absorver potássio em quantidades maiores caso estejam disponíveis.

Figura 13 - Particionamento do acúmulo de Óxido de Potássio (a) e Óxido de Cálcio (b), em plantas de *Hedychium coronarium*.

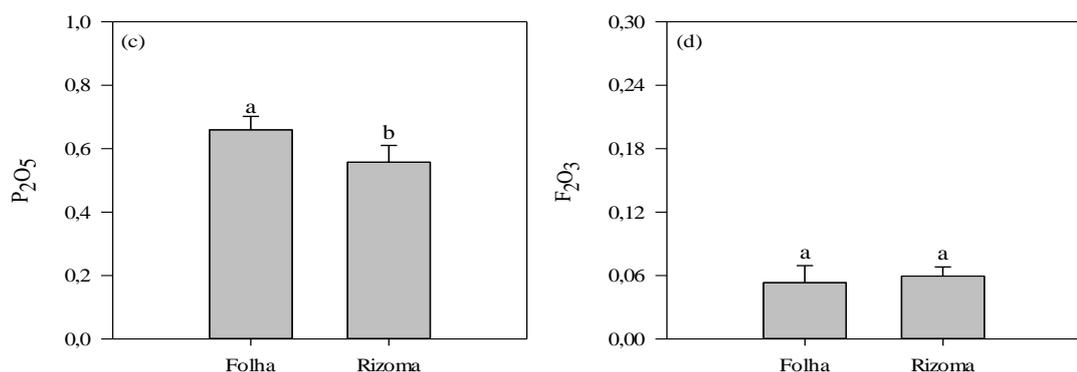


Fonte: A Autora (2020).

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey. Barras verticais indicam o intervalo de 95% de confiança.

Segundo Bissani et al. (2004), o Ca, depois do Fe é o elemento mais encontrado nos solos e em quantidades muito superiores a necessidade das plantas. Na Figura 13b, é possível observar que o Ca possui maior predominância na parte foliar da planta. Segundo Sengik (2003), o elemento é absorvido como íon bivalente, e é imóvel na planta. Ainda conforme o autor, o excesso de Ca pode acarretar menor crescimento radicular e queda de flores.

Figura 14 - Particionamento do acúmulo de Óxido de Fósforo (c) e Óxido de Ferro (d), em plantas de *Hedychium coronarium*.



Fonte: A Autora (2020).

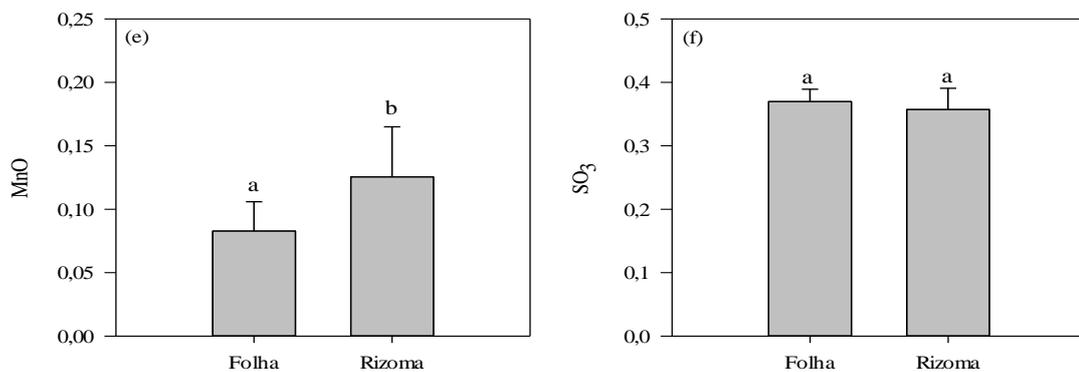
*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey. Barras verticais indicam o intervalo de 95% de confiança.

Conforme a Figura 14c, o P também foi encontrado em maior concentração na parte aérea da planta. De acordo com Sengik (2003), este elemento é absorvido pelas raízes e desempenha um importante papel na produção de fontes de energia da planta

(trifosfato de adenosina). Além disso, o P desempenha outras funções relacionadas à fotossíntese e respiração vegetal, apresentando interações com outros elementos, como N, S, Cu, Fe, Mn e Zn (MENDES, 2007).

Já a Figura 14d mostra que a concentração de Fe não foi estatisticamente diferente entre a parte foliar e radicular da planta. Segundo Mendes (2007), o elemento possui pouca mobilidade na planta, sendo que as folhas – principalmente as novas – podem apresentar características de deficiência de ferro. Conforme a autora, um elemento que influencia na solubilidade do Fe na planta são altas concentrações de P.

Figura 15 - Particionamento do acúmulo de Óxido de Manganês (e) e Óxido de Enxofre em plantas de *Hedychium coronarium*.



Fonte: A Autora (2020).

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey. Barras verticais indicam o intervalo de 95% de confiança.

A Figura 15e mostra a concentração de manganês comparativamente entre a parte aérea e radicular do lírio do brejo. É possível observar que o Mn apresentou maiores concentrações no rizoma. Para Sengik (2003), a principal atuação do elemento se dá nos sistemas enzimáticos das plantas, tendo papel fundamental nos processos de produção de aminoácidos e na fotossíntese.

Por fim, ao observar a Figura 15f é possível perceber que o elemento S não apresentou diferença significativa em sua concentração no comparativo entre área foliar e rizoma. Isso pode ser explicado, conforme Sengik (2003), porque a absorção do elemento se dá por via foliar (na forma de gás sulfúrico) e também por via radicular (na forma do ânion sulfato).

6 CONCLUSÃO

Conforme os objetivos específicos previamente estabelecidos, foi possível observar que a bacia rural escolhida possuía diversos pontos de interesse, com a presença constante da planta *Hedychium coronarium*. Por meio da revisão de literatura, foi possível observar que alguns elementos encontrados na planta podem estar diretamente relacionados ao uso e ocupação do solo ou má conservação da mata ciliar ao longo do rio principal, ocasionados principalmente por cultivos agrícolas e sua adubação, como é o caso do potássio e fósforo, por exemplo. Além disso, é possível observar que a proliferação do lírio-do-brejo está diretamente relacionada à falta de vegetação ciliar arbustiva ou arbórea ao longo do curso d'água.

Observou-se também que planta teve uma maior concentração dos elementos na parte aérea da planta quando comparados à raiz. Pode-se assim, assegurar que o lírio-do-brejo é uma planta com alto potencial de fitoextração, ao considerar o alto grau de degradação ambiental da bacia em questão.

Apesar de ser uma planta exótica, o Lírio-do-brejo mostrou ser eficaz na retirada e fixação de alguns elementos que são considerados contaminantes quando o assunto é potabilidade. Aparentemente as plantas estavam em excelente estado nutricional, sem sequelas foliares por falta ou excesso de minerais identificáveis a olho nu. Dessa forma, considera-se que ela possa ter ainda uma reserva potencial de absorção de maior quantidade de elementos conduzidos pela água ou adsorvido nos coloides do solo nas margens.

De acordo com os resultados obtidos ao longo deste estudo, o lírio-do-brejo pode estar trazendo alguns benefícios sobre a qualidade da água ao longo do rio principal da bacia. E ao se considerar que rio abastece o município de Frederico Westphalen com água potável, no médio prazo, talvez estima-se que o dano ecológico de uma exótica no rio seja superado pelo filtro natural que a planta se mostra. Em virtude disso segue dois questionamentos que só poderão ser respondidos com mais pesquisas sobre o tema: a retirada do Lírio-do-brejo da bacia causaria maior ou menor impacto na bacia, a considerar sua rápida reprodução e disseminação?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 1, p. 299-351, 2000.

ALMEIDA, R. de. **Fitoextração de metais pesados em solo contaminado por escória de minério de chumbo, no município de Santo Amaro - Bahia**. 2018. 119f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Faculdade Maria Milza, Governador Mangabeira, 2018.

ALMEIDA, R. de A.; ALMEIDA, N. A. M. Remoção de coliformes do esgoto por meio de espécies vegetais. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, Goiânia, v. 7, n. 3, p. 306-317, 2005.

ALMEIDA, R. de A.; OLIVEIRA, L. F. C. de.; KLIEMANN, H. J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2007.

ALVARENGA, A. C.; CARDOSO, P. H. S.; CUNHA, I. G. S.; GONÇALVES, P. W. B.; SAMPAIO, R. A. Extração de arsênio em lodo de esgoto pelo processo de fitoextração. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 565-573, 2019.

ANDRADE, J. C. da M.; TAVARES, S. R. de L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 176p.

ARNDT, U.; NOBEL, W.; SCHWEIZER, B. **Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse**, Ulmer, 1987.

ARNS, C. E.; PIOVEAZANA, L. Desenvolvimento econômico na microrregião de Frederico Westphalen (RS). **Revista Grifos**, Chapecó, n. 24, p. 61-74, 2008.

ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. de S.; ASCHERI, J. L. R.; JUNIOR, E. A. F. Propriedades termodinâmicas de adsorção de água do amido de rizomas do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 454-462, 2009.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade do solo e manejo da adubação das culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. 328p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Resolução CONAMA nº 357/2005** - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005.

BRASIL. **Lei nº 9.433**: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, 1997.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. Brasília, 2012.

COSTA, D. de O. **Utilização de água produzida do petróleo na produção e capacidade de fitoextração de cactácea no semiárido brasileiro**. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

COSTA, F. G. B. **Produção e capacidade de fitoextração do girassol (*Heliantus annuus*) irrigado com água produzida**. 2019. 135f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.

CUNHA, M. K. R.; GOMES, C. H.; CECCATO, H. D.; MADRID, F. G.; LOPES, A. P. **Caracterização geoquímica da água através de parâmetros físico-químicos no arroio Jaguari, Lavras do Sul – RS**. In: 9º SIEPE, Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, Bagé, 2017. Anais... 9º SIEPE, 21 a 23 de novembro, 2017.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. da C.; KOESTER, E.; OLIVEIRA, L. D. de; ALBA, J. M. F. TERRES, V. C.; LOPES, R. T. **Estudos de Solos do Município de Frederico Westphalen, RS**. Circular Técnica 116. Pelotas: Embrapa, 2011.

DAMAME, D. B.; OLIVEIRA, E. D. de.; LONGO, R. M. Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2019.

EHLERS, E. **O que é agricultura sustentável**. Editora Brasiliense: Brasília, 2017. 96p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. UFLA, FAEPE, 2005.

FIGUR, C.; REIS, J. T. A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Abaúna, em Getúlio Vargas, RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 352-365, 2017.

HEGEL, C. G. Z.; MELO, E. F. R. Q. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água dos Arroios da RPPN Maragato. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 9, n. 3, p. 673-693, 2016.

HELLER; L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 428p.

HORN, J. F. C. **Regime hidrológico de duas microbacias contíguas: um comparativo entre uso urbano e rural**. 2012. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Folha SH.22 Porto Alegre e partes das Folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. (Levantamento dos Recursos Naturais, v. 33).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. **Resultado dos Dados Preliminares do Censo – 2020**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidade>. Acesso em: 05 de mai. 2020.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. 1981-2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 20 de mai. 2020.

KACALKOVA, K.; TLUSTOA, P.; SZAKOVA, J. Phytoextraction of risk elements by willow and poplar trees. **International Journal of Phytoremediation**, v. 17, p. 414-421, 2015.

KHAN, A. G.; KUEK, C.; CHAUDHRY, T. M.; KHOO, C. S.; HAYES, N. J. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. **Chemosphere**, Oxford, vol. 41, p. 197-207, 2000.

KLETECKE, R. M. **Remoção/exportação de nutrientes de esgoto doméstico utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta***. 2011. 311p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campinas, Campinas, SP, 2011.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. de A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos Hídricos e Saneamento**. Curitiba: Organic Trading, 2008.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LASAT, M. M. Phytoextraction of toxic metals. A review of biological mechanisms. **Journal of Hazardous Substance Research**, v. 2, p. 1-5, 2000.

LEITE, P.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil: região Sul**. v. 2. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 113-150.

LI, N.; GUO, B.; LI, H.; FU, Q.; FENG, R.; DING, Y. Effects of Double Harvesting on Heavy Metal Uptake by Six Forage Species and the Potential for Phytoextraction in Field. **Pedosphere**, v. 26, n. 5, p. 717-724, 2016.

LIMA, J. S. **Bioindicação, biomonitoramento: Aspectos bioquímicos e morfológicos**. Techoje. Instituto de Educação Tecnológica, IETEC, Belo Horizonte, 11p., 2000.

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográfica**. USP: Piracicaba, 2008. 253p.

LIMA, W. de P.; ZAKIA, M. J. B. **Hidrologia de matas ciliares**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 177p., 1998.

MAGALHÃES, R. J. F.; BARBOSA, A. R. O valor do serviço de proteção de mananciais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 24, n. 5, p. 1049-1060, 2019.

MARTINELLI, F. L.; HOLANDA, R. A.; ANDRADE, L. R.; TIRRE-ARAUJO, M. S. Alterações histológicas e de conteúdo mineral na area de correção de fenda alveolar por distração Osteogênica – in vivo. **Revista Odonto Ciência**, Porto Alegre, v. 21, n. 52, 2006.

MARTOS, H. L.; MAIA, N. B. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: Embrapa Florestas, 2001. 285p.

MENDES, A. M. S. **Introdução a fertilidade do solo**. In: CURSO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2007, Barreiras. Palestras... Barreiras: MAPA; SFA-BA: Embrapa Semi-Árido; Embrapa Solos - UEP Recife, 2007. 1 CD-ROM.

MENDONÇA, H. V. de.; RIBEIRO, C. B. de M.; BORGES, A. C.; BASTOS, R. R. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. **Revista Ambiente & Água**, Campina Grande, v. 7, n. 2, 2012.

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

ODERICH, E. H.; MIGUEL, L. de A. História e situação da agricultura e do desenvolvimento rural em quatro municípios do noroeste do Rio Grande do Sul. **COLÓQUIO - Revista do Desenvolvimento Regional**, Taquara, v. 14, n. 1, p. 115 - 132, 2017.

PAIVA, J. D. S. de. **Remediação por fitorremediação de contaminação radioativa por espécies nativas de manguezais**. 2018. 117p. Tese

(Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

PANZIERA, A. G.; SWAROWSKY, A.; ESTEFANEL, V.; GOMES, B. C. V. Potencial de fitoextração de cobre por aveia preta em área de vinhedos no sul do Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 565-573, 2018.

PEDROSO, R. G. A. V. **Fitoextração, fitoestabilização e análise ultraestrutural de *Gomphrena clausenii* Moq. exposta a Cu e Pb**. 2014. 59p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

PETRY, C. T.; COSTA, G. M. da.; BENVENUTI, T.; RODRIGUES, M. A. S.; DROSTE, A. Avaliação integrada da qualidade química e da genotoxicidade da água do arroio Luiz Rau, no trecho inferior da Bacia do Rio dos Sinos, no Sul do Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, n. 4, 2016.

REISSLER, J.; MANZIONE, R. L. Contribuição da morfometria de bacias hidrográficas para a conservação das águas subterrâneas sob o avanço da agricultura irrigada em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. **Irriga**, Botucatu, vol. 1, n. 1, p. 125-131, 2018.

RENZ, V. D.; RITTER, L. G.; CONCEIÇÃO, S. R. da; GARLET, G.; HASS, A. Delimitação e monitoramento vegetativo da bacia hidrográfica do Lajeado Chiquinha. **REGET**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 172-177, 2014.

RODOLFO, L. P.; LOURDES, C. M. de. Processo fito-pedológico aplicado no tratamento de efluente doméstico. In: Congresso Interoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1996, México. **Anais...** vol. 1, p. 1-8, 1996.

RODRIGUES, P. T. A.; ORLANDELLI, R. C. Plantas como ferramentas para a remediação ambiental: uma revisão da literatura. **UNICIÊNCIAS**, v. 22, n. 1, p. 38 - 44, 2018.

ROMEIRO, S.; LAGÔA, A. M. M. A. de.; FURLANI, P. R.; ABREU, C. A. de.; PEREIRA, B. F. F. Absorção de chumbo e potencial de fitorremediação de *Canavalia ensiformes* L. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 327 - 334, 2007.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Documentos nº 30, EMBRAPA: Sete Lagoas, 2003.

SANTOS, D. T. dos.; SILVA, V. M. da. A suinocultura e os impactos ao meio ambiente. **Ciência e Tecnologia**, Cruz Alta, v. 2, n. 2, p. 43 - 48, 2018.

SANTOS, N. B. dos.; MOURA, C. de.; ROCHA-LIMA, A. B. C.; LOBO, D. de A.; SALDIVA, P. H. N.; BIZETO, L. Utilização de *Tradescantia pallida purpurea* como bioindicadora de agentes tóxicos na água. **UNISANTA Bioscience**, v. 8, n. 3, p. 326 - 335, 2019.

SELIN, E. et al. Multi-element analysis of tree rings by EDXRF spectrometry. **X-Ray Spectrometry**, v. 22, n. 4, p. 281 - 285, 1993.

SENGIK, E. S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. 2003. Disponível em: <<http://www.nupel.uem.br/...>>. Acesso em: 29 de set. de 2020.

SILVEIRA, L. F. da.; TAFFAREL, S. R.; BENEDUZI, A. **Qualidade ambiental das águas do arroio Estância Velha/RS**. SEFIC, Unilasalle, 22 a 27 de outubro, 2018.

SIMINSKI, A.; REIS, A.; TRES, D. R. **Programa de Capacitação em Gestão de Água**. TSGA, Projeto Tecnologias Sociais para Gestão da Água, Fase II, Florianópolis, 2014.

SOUZA, E. R. de.; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do.; MONTENEGRO, A. A. de A.; FREIRE, F. J.; MELO, H. F. de. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 477 - 483, 2011.

SOUZA, E. E. B de.; BAUMHARDT, E.; BORBA, W. F. de; WEILER, E. B.; BOLDRIN, M.; TERRA, L. G.; VALCORTE, G.; HORN, J. F. C. **Mapeamento de uso e cobertura do solo de uma pequena bacia hidrográfica no noroeste do Rio Grande do Sul**. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Florianópolis, 2017.

VERMA, M.; BANSAL, Y. K. Butterfly lilly (*Hedychium coronarium* Koenig): an endangered medicinal plant. **Plant Archives**, v. 10, n. 2, p. 841-843, 2010.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ELEMENTOS EDX - RF

• Óxido de Potássio – K₂O

Quadro da análise de variancia

	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Pontocoleta	4	11.265	4	3.510	0.01360
Partição	1	63.594	5	79.267	0.00000
Pontocoleta*Partição	4	1.013	2	0.316	0.86617
Residuo	48	38.509	3		
Total	57	114.381	1		

CV = 22.73 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

valor-p: 0.05003964

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais!

Interacao nao significativa: analisando os efeitos simples

Pontocoleta

Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	p2	4.482
a	p1	4.374
ab	p5	3.848455
ab	p4	3.760967
b	p3	3.275617

Partição

Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	folha	4.997117
b	rizoma	2.884331

• Óxido de Cálcio – CaO

Quadro da análise de variancia

	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Pontocoleta	4	0.3872	4	2.899	0.031502
Partição	1	4.2024	5	125.846	0.000000
Pontocoleta*Partição	4	0.2294	3	1.717	0.161630
Residuo	48	1.6029	2		
Total	57	6.4219	1		

CV = 25.33 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

valor-p: 0.0540936

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais!

Interacao nao significativa: analisando os efeitos simples

Pontocoleta

Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	p2	0.8370909
a	p3	0.7818333
ab	p4	0.73075
ab	p5	0.6418182
b	p1	0.6191667

Partição

Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	folha	0.9936552
b	rizoma	0.4494138

- **Pentóxido de fósforo – P2O5**

Quadro da análise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Pontocoleta	4	0.30166	4	6.2518	0.00039
Partição	1	0.13371	5	11.0843	0.00168
Pontocoleta*Partição	4	0.02656	2	0.5505	0.69956
Residuo	48	0.57903	3		
Total	57	1.04097	1		

CV = 18.05 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

valor-p: 0.3305073

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

Interacao nao significativa: analisando os efeitos simples

Pontocoleta
Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	p3	0.6933333
a	p2	0.6888182
ab	p4	0.5816667
ab	p1	0.57175
b	p5	0.5042727

Partição
Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	folha	0.6594828
b	rizoma	0.5572414

- **Trióxido de enxofre – SO3**

Quadro da análise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Pontocoleta	4	0.022096	4	1.14475	0.34695
Partição	1	0.001978	2	0.40992	0.52505
Pontocoleta*Partição	4	0.038174	5	1.97775	0.11295
Residuo	48	0.231621	3		
Total	57	0.293868	1		

CV = 19.11 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

valor-p: 0.0400099

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos nao podem ser considerados normais !

Interacao nao significativa: analisando os efeitos simples

Pontocoleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao estatisticamente iguais.

Niveis	Medias
1 p1	0.3876667
2 p2	0.3841818
3 p3	0.3521667
4 p4	0.3370000
5 p5	0.3573636

Partição
De acordo com o teste F, as medias desse fator sao estatisticamente iguais.

Niveis	Medias
1 folha	0.3697241
2 rizoma	0.3571379

- **Dióxido de manganês – MnO**

Quadro da analise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Pontocoleta	4	0.20376	5	13.6526	0.000000
Partição	1	0.02661	4	7.1325	0.010303
Pontocoleta*Partição	4	0.02152	3	1.4422	0.234607
Residuo	48	0.17910	2		
Total	57	0.43100	1		

CV = 58.65 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

valor-p: 0.1245896

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais!

Interacao nao significativa: analisando os efeitos simples

Pontocoleta
Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	p1	0.2163333
b	p3	0.09608333
b	p2	0.078
b	p5	0.07654545
b	p4	0.04933333

Partição
Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	rizoma	0.1255172
b	folha	0.0827931

- **Óxido de ferro – Fe2O3**

Quadro da analise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Pontocoleta	4	0.012243	5	3.2153	0.02037
Partição	1	0.000821	2	0.8620	0.35782
Pontocoleta*Partição	4	0.005990	4	1.5731	0.19665
Residuo	48	0.045694	3		
Total	57	0.064748	1		

CV = 54.71 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

valor-p: 0.279801

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais!

Interacao nao significativa: analisando os efeitos simples

Pontocoleta
Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	p2	0.07672727
ab	p1	0.06383333
ab	p3	0.06258333
b	p4	0.04108333
b	p5	0.03790909

Partição

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao estatisticamente iguais.

Niveis Medias
1 folha 0.05331034
2 rizoma 0.05948276
