

**Stricto
ensu**
Editora

Ciência e Tecnologia: Pesquisas Interdisciplinares no Brasil

ISBN: 978-65-80261-31-4

Organizadores:

Sergio Luiz Prolo Júnior
Hémilly Caroline da Silva Paixão
Lucena Rocha Virgílio

2024

Sergio Luiz Prolo Júnior
Hémilly Caroline da Silva Paixão
Lucena Rocha Virgílio
(Organizadores)

Ciência e Tecnologia: Pesquisas Interdisciplinares no Brasil

Rio Branco, Acre

Stricto Sensu Editora

CNPJ: 32.249.055/001-26

Prefixos Editorial: ISBN: 80261 – 86283 / DOI: 10.35170

Editora Geral: Profa. Dra. Naila Fernanda Sbsczk Pereira Meneguetti

Editor Científico: Prof. Dr. Dionatas Ulises de Oliveira Meneguetti

Bibliotecária: Tábata Nunes Tavares Bonin – CRB 11/935

Capa: Elaborada por Led Camargo dos Santos (ledcamargo.s@gmail.com)

Avaliação: Foi realizada avaliação por pares, por pareceristas *ad hoc*

Revisão: Realizada pelos autores e organizadores

Conselho Editorial

Prof^a. Dr^a. Ageane Mota da Silva (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Acre)

Prof. Dr. Amilton José Freire de Queiroz (Universidade Federal do Acre)

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto (Universidade Federal de Goiás – UFG)

Prof. Dr. Edson da Silva (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri)

Prof^a. Dr^a. Denise Jovê Cesar (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina)

Prof. Dr. Francisco Carlos da Silva (Centro Universitário São Lucas)

Prof. Dr. Humberto Hissashi Takeda (Universidade Federal de Rondônia)

Prof. Msc. Herley da Luz Brasil (Juiz Federal – Acre)

Prof. Dr. Jader de Oliveira (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Araraquara)

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos (Universidade Federal do Piauí – UFPI)

Prof. Dr. Leandro José Ramos (Universidade Federal do Acre – UFAC)

Prof. Dr. Luís Eduardo Maggi (Universidade Federal do Acre – UFAC)

Prof. Msc. Marco Aurélio de Jesus (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia)

Prof^a. Dr^a. Mariluce Paes de Souza (Universidade Federal de Rondônia)

Prof. Dr. Paulo Sérgio Bernarde (Universidade Federal do Acre)

Prof. Dr. Romeu Paulo Martins Silva (Universidade Federal de Goiás)

Prof. Dr. Renato Abreu Lima (Universidade Federal do Amazonas)

Prof. Dr. Rodrigo de Jesus Silva (Universidade Federal Rural da Amazônia)

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569

Ciência e tecnologia: pesquisas interdisciplinares no Brasil / Sérgio Luiz Prolo Júnior, Hémilly Caroline da Silva Paixão, Lucena Rocha Virgílio (org.). – Rio Branco: Stricto Sensu, 2024.

106 p. : il.

ISBN: 978-65-80261-31-4

DOI: 10.35170/ss.ed.9786580261314

1. Inovação. 2. Tecnologia. 3. Interdisciplinaridade. I. Prolo Júnior, Sérgio Luiz. II. Paixão, Hémilly Caroline da Silva. III. Virgílio, Lucena Rocha. IV. Título.

CDD 22. ed. 372.35

Bibliotecária Responsável: Tábata Nunes Tavares Bonin / CRB 11-935

O conteúdo dos capítulos do presente livro, correções e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

É permitido o download deste livro e o compartilhamento do mesmo, desde que sejam atribuídos créditos aos autores e a editora, não sendo permitido à alteração em nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.sseditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Pesquisa científica é o processo sistemático utilizado para construir o conhecimento humano, a partir do qual é possível ampliar, detalhar e até refutar dados e outras informações verificáveis.

A ciência é o estudo sistemático da natureza e do universo, enquanto a tecnologia é o uso prático dos conhecimentos científicos, proporcionando a interação entre diferentes áreas de pesquisa, o que é conhecido como “interdisciplinaridade” que é um conceito que busca a intersecção entre conteúdos de duas ou mais áreas do conhecimento, permitindo um entendimento mais amplo a respeito do que está sendo pesquisado.

O presente livro intitulado “Ciência e Tecnologia: Pesquisas Interdisciplinares no Brasil” apresenta 5 capítulos que mostram a interdisciplinaridade na prática. Então desejamos a todos uma ótima Leitura

Naila Fernanda Sbsczk Pereira Meneguetti
Editora Geral da Stricto Sensu Editora

SUMÁRIO

CAPÍTULO. 1.....07

LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES FITORREMEIADORAS DE METAIS PESADOS NA AMAZÔNIA

Karla Samylle de Queiroz Costa (Instituto Federal do Amapá)

Cassio Freitas de Oliveira (Instituto Federal do Amapá)

Madson Pereira Melo (Instituto Federal do Amapá)

Luma Castro de Souza (Universidade Federal do Maranhão)

Cleverton França Vaz (Instituto Federal do Amapá)

Leane Castro de Souza (Universidade Federal Rural da Amazônia)

Raphael Leone da Cruz Ferreira (Instituto Federal do Amapá)

Nilvan Carvalho Melo (Instituto Federal do Amapá)

Fabricia Kelly Cabral Moraes (Instituto Federal do Amapá)

Cândido Ferreira de Oliveira Neto (Universidade Federal Rural da Amazônia)

DOI: 10.35170/ss.ed.9786580261314.01

CAPÍTULO. 2.....29

AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE E CITOTOXICIDADE DAS ÁGUAS DO IGARAPÉ JUDIA NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO, ACRE, BRASIL

Hémilly Caroline da Silva Paixão (Universidade Federal do Acre)

Sérgio Luiz Prolo Júnior (Universidade Federal do Acre)

Osmar da Silva Torres (Universidade Federal do Acre)

Romeu Paulo Martins Silva (Universidade Federal de Catalão)

Cydia de Menezes Furtado (Universidade Federal do Acre)

Dionatas Ulises de Oliveira Meneguetti (Universidade Federal do Acre)

DOI: 10.35170/ss.ed.9786580261314.02

CAPÍTULO. 3.....48

POTENCIAL GENOTÓXICO, MUTAGÊNICO E CITOTÓXICO DA ÁGUA DO IGARAPÉ SÃO FRANCISCO, RIO BRANCO, ACRE, BRASIL

Sergio Luiz Prolo Júnior (Universidade Federal do Acre)

Hémilly Caroline da Silva Paixão (Universidade Federal do Acre)
Matheus de Moraes Cunha Gonçalves (Universidade Estadual Paulista)
Tiago Lucena da Silva (Universidade Federal do Acre)
Francisco Carlos da Silva (Centro Universitário São Lucas)
Cydia de Menezes Furtado (Universidade Federal do Acre)
Romeu Paulo Martins Silva (Universidade Federal de Catalão)
Dionatas Ulises de Oliveira Meneguetti (Universidade Federal do Acre)
DOI: 10.35170/ss.ed.9786580261314.03

CAPÍTULO. 4.....65

FRACIONAMENTO DE ÁCIDOS GRAXOS DE TALL OIL

Monis Neves Baptista Manuel (Universidade Federal do Paraná)
DOI: 10.35170/ss.ed.9786580261314.04

CAPÍTULO. 5.....88

TROCA DE EXPERIÊNCIAS: CONSTRUINDO UMA COLCHA DE RETALHOS

Emanoel Marcio da Silva Rodrigues (Universidade de Fortaleza)
Rafael Menezes de Sousa (Faculdade Educacional da Lapa)
DOI: 10.35170/ss.ed.9786580261314.05

ORGANIZADORES.....104

ÍNDICE REMISSIVO105

LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES FITORREMEIADORAS DE METAIS PESADOS NA AMAZÔNIA

Karla Samylle de Queiroz Costa¹, Cassio Freitas de Oliveira¹, Madson Pereira Melo¹, Luma Castro de Souza², Cleverton França Vaz³, Leane Castro de Souza⁴, Raphael Leone da Cruz Ferreira¹, Nilvan Carvalho Melo¹, Fabricia Kelly Cabral Moraes¹ e Cândido Ferreira de Oliveira Neto⁵

1. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá/Campus Agrícola Porto Grande (IFAP), Grupo de Estudos em Solos e Plantas Cultivadas (GESP), Porto Grande, Amapá, Brasil;
2. Universidade Federal do Maranhão/Campus Chapadinha (UFMA), Centro de Ciências Agrárias e Ambiental-CCAA, Chapadinha, Maranhão, Brasil;
3. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá/Campus Agrícola Porto Grande (IFAP), Porto Grande, Amapá, Brasil;
4. Universidade Federal Rural da Amazônia/Campus Belém, Instituto de Ciências Agrárias (ICA), Belém, Pará, Brasil.
5. Universidade Federal Rural da Amazônia/Campus Belém, Instituto de Ciências Agrárias (ICA), Belém, Pará, Brasil.

RESUMO

Espécies fitorremediadoras são capazes de retirar o metal pesado do solo em elevada concentração, através de diferentes técnicas de acordo com a fisiologia, por isso a fitorremediação é considerada promissora, uma vez que é realizada *in situ*, é economicamente viável e facilita a remediação e preservação da qualidade do solo, água e dos organismos. Os metais pesados causam toxicidade, ocasionando alterações estruturais, fisiológicas e bioquímicas, que podem limitar o crescimento das plantas ou desenvolver capacidade de tolerância e bioacumulação, a depender da espécie vegetal. Assim, objetivou-se realizar um levantamento das principais espécies fitorremediadoras de solo na Amazônia, bem como a dinâmica dos metais pesados no solo e nas plantas através de dados publicados. Este trabalho reforça a necessidade do desenvolvimento de estudos sobre espécies fitorremediadoras, sobretudo, na Amazônia, em virtude da exploração mineral. As principais espécies encontradas foram paricá, mogno africano e mogno brasileiro, cedro rosa e embaúba, devido suas atividades fisiológicas e a rusticidade do desenvolvimento em meios contaminados por estes elementos.

Palavras-chave: Contaminação, Degradação e Recuperação.

ABSTRACT

Phytoremediation species are capable of removing heavy metal from the soil in high concentration, through different techniques according to physiology, which is why phytoremediation is considered promising, since it is carried out *in situ*, is economically viable

and facilitates remediation and preservation the quality of soil, water and organisms. Heavy metals cause toxicity, causing structural, physiological and biochemical changes, which can limit plant growth or develop tolerance and bioaccumulation capacity, depending on the plant species. Thus, the objective was to carry out a survey of the main soil phytoremediation species in the Amazon, as well as the dynamics of heavy metals in soil and plants using published data. This work reinforces the need to develop studies on phytoremediation species, especially in the Amazon, due to mineral exploration. The main species found were paricá, African mahogany and Brazilian mahogany, pink cedar and embaúba, due to their physiological activities and the rusticity of development in environments contaminated by these elements.

Keywords: Contamination, Degradation and Recovery.

1. INTRODUÇÃO

A fitorremediação consiste no uso de espécies vegetais com o objetivo de extrair os elementos em níveis baixos e médios de contaminação do solo e acumular nos tecidos vegetais, sendo uma técnica promissora, em virtude de ser realizada *in situ* e ser economicamente viável, facilitando a remediação e preservação da qualidade do solo, água e dos organismos (RODRIGUES; ORLANDELLI, 2018; ASHRAF et al., 2019).

Em geral, utiliza-se espécies florestais, devido ao maior ciclo de vida e produção de biomassa (MARCO et al., 2017), além disso, os vegetais também podem associar-se com microrganismos que auxiliam na degradação de elementos tóxicos, promovendo a recuperação dos ambientes contaminados por metais pesados, através de processos como degradação, extração, estabilização ou imobilização destes no solo (AMADO; CHAVES FILHO, 2015).

Dentre as principais causas de contaminação do solo, destacam-se as atividades industriais, agrícolas e mineração (GOMES et al., 2011). Em relação à atividade de exploração mineral na Amazônia brasileira destacam-se a Serra de Carajás e Oriximiná, com jazidas de ferro, manganês, cobre, bauxita, ouro, níquel, estanho e outros (CHAVES et al., 2021). Enquanto, os meios de contaminação através da agricultura, dá-se pela aplicação excessiva de pesticidas e esterco de origem animal sem tratamento adequado (MACKIE et al., 2012).

Existem alguns metais pesados são considerados essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas quando fornecidos em doses adequadas (Tabela 1), sendo o cobre, molibdênio e níquel exigidos em menores quantidades (micronutrientes), contudo em altas concentrações causam toxidez, ocasionado alterações estruturais, fisiológicas e

bioquímicas, que podem limitar o crescimento das plantas e até mesmo resultar em morte ou desenvolver capacidade de tolerância e bioacumulação, a depender da espécie vegetal, bem como do tipo, concentração e tempo de exposição ao metal pesado (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; AMADO; CHAVES FILHO, 2015).

Grande maioria do reino vegetal, não apresenta tolerância a alguns metais pesados, o que se torna um grande obstáculo à revegetação, para reduzir erros na escolha da espécie existem requisitos importantes na seleção, dentre alguns está: sistema radicular profundo e denso, alta taxa de crescimento e produção de biomassa, capacidade transpiratória elevada, taxa de exsudação radicular elevada dentre outros (AMADO; CHAVES FILHO, 2015).

Diante disso, é fundamental o estudo da adoção de espécies vegetais como estratégia fitorremediadora para minimizar o efeito contaminante proveniente dos metais em níveis tóxicos no solo, principalmente, diante do atual cenário de avanço da mineração e agricultura na Amazônia, bem como das estimativas de aumento da demanda global para produção de alimentos.

Além de avaliar o potencial fitorremediador das espécies vegetais é necessário realizar um levantamento de estudos que evidenciam a fitorremediação destas, a fim de indicá-las a programas relacionados a recuperação de áreas contaminadas. Assim, objetivou-se com a presente revisão de literatura realizar um levantamento das principais espécies fitorremediadoras de solo na Amazônia, bem como a dinâmica dos metais pesados no solo e nas plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. DINÂMICA DOS METAIS PESADOS NO SOLO

Os solos possuem funções complexas, uma delas é funcionar como um filtro de proteção do lençol freático, armazenando elementos e dentre eles os metais pesados, podendo atuar como um decompositor de poluentes orgânicos (AMADO; CHAVES FILHO, 2015). E o aumento das concentrações destes metais pode ser de diferentes formas, como uso de pesticidas, resíduos orgânicos, resíduos inorgânicos urbanos e industriais, resíduos da mineração e dos fertilizantes (FRANÇA; MIRANDA; PAIM, 2023).

Os metais pesados são elementos que têm peso específico maior que 5 g/cm³ ou que possuem número atômico maior que 20, incluindo metais, semimetais e não metais (Se), sendo a maioria classificados como tóxicos, com exceção dos micronutrientes cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn) (MALAVOLTA, 2006), estes quando em elevada concentração no solo, podem promover efeitos tóxicos, seja para plantas ou biota do solo (FRANÇA; MIRANDA; PAIM, 2023).

Alguns fatores são determinantes para responder ao processo da dinâmica destes metais no solo, como os teores e tipos de argila, o pH, a capacidade de troca de cátions, a presença e o teor de matéria orgânica (AMADO; CHAVES FILHO, 2015). Logo, levando em consideração cada condição dos solos, esta poderá ocasionar aumento da solubilidade dos metais, disponibilidade para as raízes, podendo assim elevar a probabilidade de toxidez nas plantas, como em animais e nos seres humanos (AMADO; CHAVES FILHO, 2015).

As condições ambientais, quando apresentam mudanças, podem interferir e afetar a biodisponibilidade dos metais, atuando no favorecimento da contaminação de plantas que se desenvolvem em solos contaminados (GONÇALVES Jr et al., 2015). Ainda segundo o mesmo autor, ocorre o processo de adsorção do metal no solo, que pode ser influenciado pelos fatores bióticos e abióticos, sendo a textura, pH, concentrações dos compostos químicos e a natureza quando se apresentam na forma sólida inorgânica, devido sua capacidade do solo absorver o metal podendo se apresentar fortemente ligado ou fracamente, estando disponível para absorção radicular pelas plantas.

Outro fator fortemente ligado à dinâmica dos metais pesados no solo é a presença da matéria orgânica, representada por uma parte viva e outra não viva, podendo ser de caráter húmico (SILVA, 2005). A matéria orgânica tem elevada afinidade em contato com metais traços, devido suas condições químicas, como profusão em grupos fenólicos e carboxílicos, assim podendo gerar sítios de adsorção em ligações do tipo iônica ou quelantes, sendo esta última de capacidade a manter o metal na solução, transportá-lo ou torná-lo indisponível (MARTINS et al., 2011).

2.2. ABSORÇÃO E EFEITOS DA TOXICIDADE DOS METAIS NAS PLANTAS

O Brasil tem um grande destaque mundialmente devido a sua vasta diversidade biológica, descrevendo seu grande papel no desenvolvimento científico e sustentável como a implementação da fitorremediação dos metais pesados nos solos com o uso das espécies

vegetais, visto que apresentam características de maior adaptação (FRANÇA; MIRANDA; PAIM, 2023).

Todavia, é necessário compreender as respostas das plantas à toxidez, bem como as alterações em suas estruturas, fisiologia e bioquímica, que dependem do tipo de metal, da concentração e tempo em exposição ao metal pesado, já que este desenvolveu em algumas espécies a tolerância e também a capacidade de bioacumulá-lo (AMADO; CHAVES FILHO, 2015). Para isso, é necessário conhecer os teores adequados e tóxicos na planta (Tabela 1), bem como a sua origem, formas de absorção e atuação desses metais na planta.

Tabela 1. Teores adequados e tóxicos de metais pesados na planta.

Metais pesados	Teores na planta (mg/kg)	
	Adequado	Tóxico
Alumínio (Al)	-	-
Cádmio (Cd)	-	50
Chumbo (Pb)	-	-
Cobre (Cu)	5 a 20	>20
Cromo (Cr)	<1	9
Ferro (Fe)	50 a 100	80
Manganês (Mn)	20 a 500	700
Mercúrio (Hg)	-	7
Níquel (Ni)	1,5	60
Zinco (Zn)	-	390

Fonte: Malavolta, 2006; Dechen; Nachtigall, 2007; adaptado pelos autores.

O Cu (Figura 1) ocorre na natureza tanto na forma metálica, como na forma de sais, como sulfetos, sulfatos e carbonatos, podendo também ser adicionado ao solo através de adubos, defensivos e deposição atmosférica (MALAVOLTA, 2006). A absorção desse elemento pelas plantas ocorre através de um processo ativo, não sendo prontamente móvel na planta, sendo constituinte de enzimas, além de atuar no balanço de nutrientes responsáveis pela regulação da transpiração dos vegetais, bem como influenciar na fixação de nitrogênio atmosférico (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Todavia, ainda de acordo com

os autores supracitados, teores no solo superiores a 300 mg/kg ocasionam toxidez nas plantas, manifestando-se através da perda do vigor da raiz, que avança para necrosamento e paralisação de crescimento, além de provocar deficiência de Fe e reduzir a absorção de P.

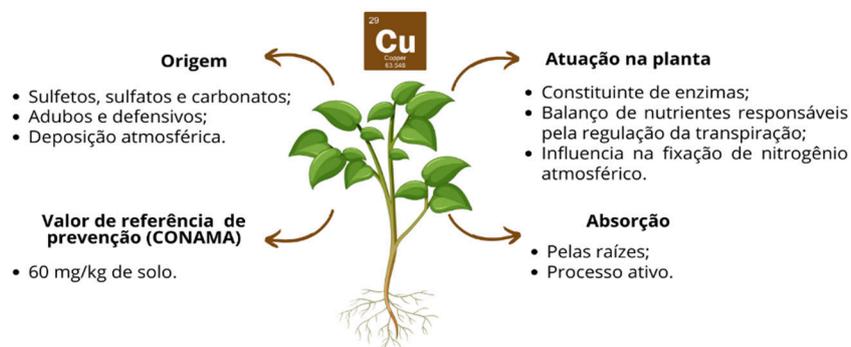


Figura 1. Mapa mental do cobre (Cu).
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O Mn (Figura 2) é absorvido pelas plantas na forma Mn^{2+} , sendo absorvido de forma passiva, principalmente, quando o metal encontra-se em concentrações tóxicas na solução, é necessário para a síntese de clorofila, bem como para a ativação de um elevado número de enzimas, sobretudo, as envolvidas em metabolismos intermediários, assim os principais sintomas de toxicidades são mais expressivos em plantas jovens, através de manchas marrons nas folhas, redução do crescimento de brotos e raízes e prejuízos a diversos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

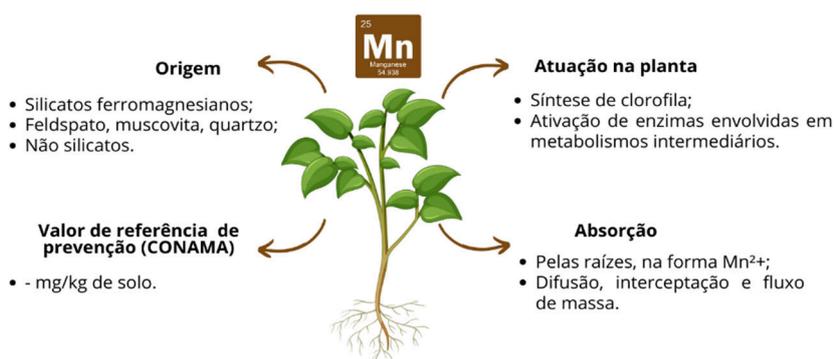


Figura 2. Mapa mental do manganês (Mn).
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O Fe (Figura 3) é essencial para a estrutura e a função da cadeia transportadora de elétrons dos cloroplastos e das mitocôndrias, também atua como parte de enzimas responsáveis nos processos de oxidação e redução, catalisa a biossíntese da clorofila e reduz nitrito e sulfito, sendo absorvido pelas plantas de forma ativa (MALAVOLTA, 2006), através da redução do Fe^{3+} a Fe^{2+} ou quelação do Fe, e possui baixa mobilidade na planta (DECHEN et al., 2018). Em excesso induz a deficiência do Mn, e os efeitos da toxidez são bem notados em cultivos inundados, devido o alto teor de Fe-ferroso, apresentando folhas verde escuras, redução do crescimento e folhas bronzeadas a avermelhadas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

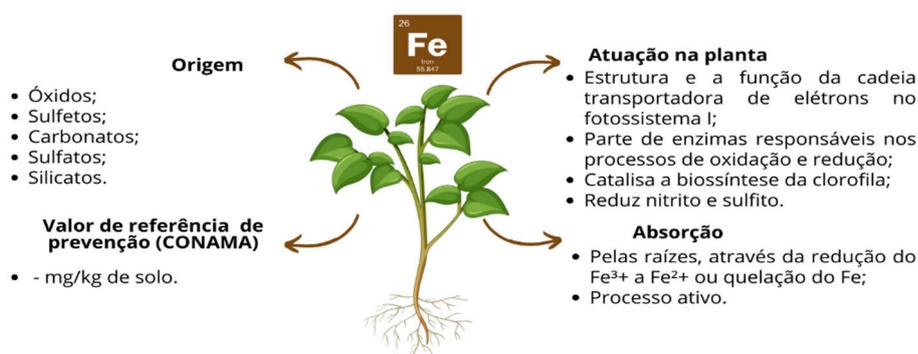


Figura 3. Mapa mental do ferro (Fe).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O Ni é encontrado em baixos teores no solo, não ocasionando efeitos de toxicidade na planta, exceto no caso de solos originados de rochas ígneas ultrabásicas, e é absorvido na forma divalente Ni^{2+} (DECHEN et al., 2018). Ainda de acordo com estes autores, as principais funções do Ni (Figura 4) estão relacionadas à participação na hidrólise enzimática da uréia e na fixação de nitrogênio e, dentre os sintomas ocasionados pela toxidez, destacam-se a clorose com evolução para necrose, além de indução da deficiência de Fe.

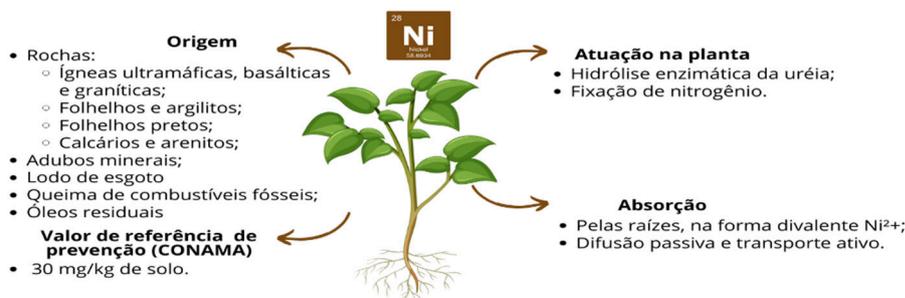


Figura 4. Mapa mental do níquel (Ni).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Segundo Dechen et al. (2018) o Zn (Figura 5) é absorvido pelas raízes das plantas, e atua como cofator enzimático, sendo constituinte estrutural de enzimas desidrogenases, participa da ativação enzimática do trifosfato desidrogenase, afeta a síntese e a conservação das auxinas, auxilia na formação de sementes e é necessário para a produção de clorofila. Ainda de acordo com os autores citados anteriormente, a sua mobilidade na planta é classificada de alta a intermediária, contudo a maior parte desse elemento concentra-se na raiz, os sintomas de toxicidade podem ser observados através das pigmentações avermelhadas nos pecíolos e nas nervuras, além de clorose em virtude da baixa concentração de Fe, uma vez que o Zn impede a redução desse elemento.

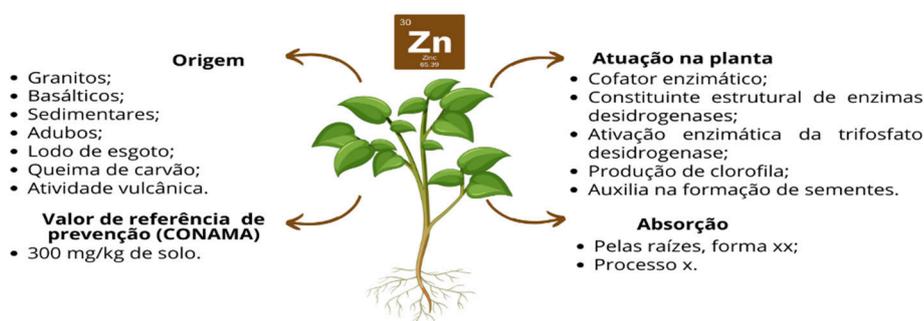


Figura 5. Mapa mental do Zinco (Zn)
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O alumínio (Figura 6) tem origem a partir de minerais primários, sendo a principal forma absorvida o Al^{3+} , em baixas concentrações aumenta a disponibilidade do P e do Fe e diminui a toxidez do Cu, enquanto teores elevados nos solos colaboram com o aumento da acidez e baixas bases trocáveis no solo, como Ca e Mg, destacando-se como os principais sintomas de toxicidade a redução do crescimento do eixo principal da raiz, enquanto na parte aérea ocorre a indução de deficiência de P, K e Ca (MALAVOLTA, 2006).

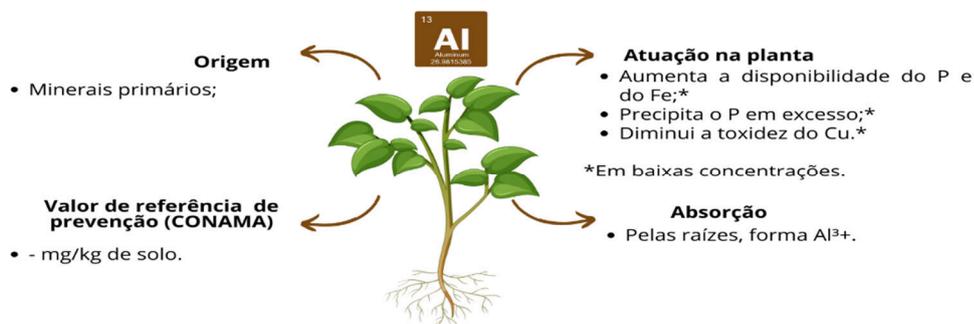


Figura 6. Mapa mental do Alumínio (Al).
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O cádmio (Figura 7) tem como fonte natural as rochas, todavia as atividades antrópicas, como a mineração, fundição de minérios de Zn, queima do cigarro, queima de combustíveis fósseis, esgoto, lixo e adubos, elevam os teores de Cd no solo e causam toxidez não somente nas plantas, como também nos animais (MALAVOLTA, 2006). A absorção do Cd, ocorre na forma Cd^{+2} , através da difusão facilitada, por meio do plasmalema, contudo a absorção foliar constitui uma via de significativa para aquisição do Cd atmosférico, introduzindo este elemento na cadeia alimentar (MENGEL; KIRKBY, 2001). Dentre os principais sintomas de toxidez, pode-se destacar: clorose, murchamento, folhas enroladas, raízes pardas e curtas e redução de crescimento (MALAVOLTA, 2006).

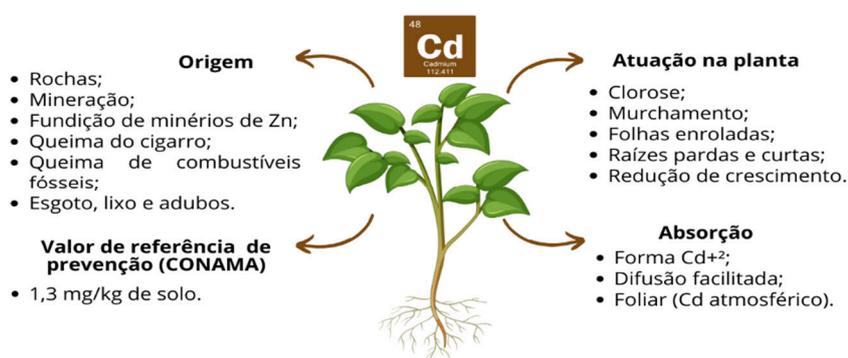


Figura 7. Mapa mental do Cádmio (Cd).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O cromo (Figura 8) tem origem a partir da cromita, sendo o sétimo elemento mais abundante da terra, quando absorvido pela planta esse elemento permanece em maior quantidade nas raízes, apresentando baixa translocação para parte aérea, assim plantas intoxicadas podem ter o mesmo teor de Cr que plantas saudas, sendo os principais sintomas de toxicidade ocasionados: clorose nas folhas mais novas e raízes mal desenvolvidas (MALAVOLTA, 2006).

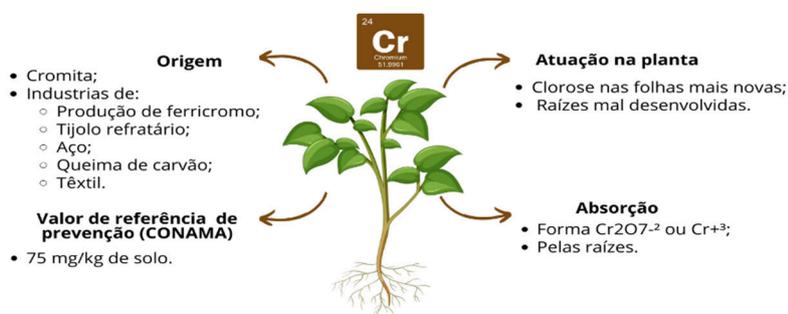


Figura 8. Mapa mental do Cromo (Cr).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O chumbo (Figura 9) também é originado de rochas, sendo os folhelhos pretos responsáveis pela maior produção deste elemento, a sua absorção pela planta ocorre via processo não metabólico (passivo), sendo considerada rápida, no entanto o transporte a longa distância é considerado pequeno (4 e 20%), sendo os sintomas de toxicidade: folhas verdes escuras, murchamento das folhas velhas, parte aérea e raízes pouco desenvolvidas e pardas (MALAVOLTA, 2006).

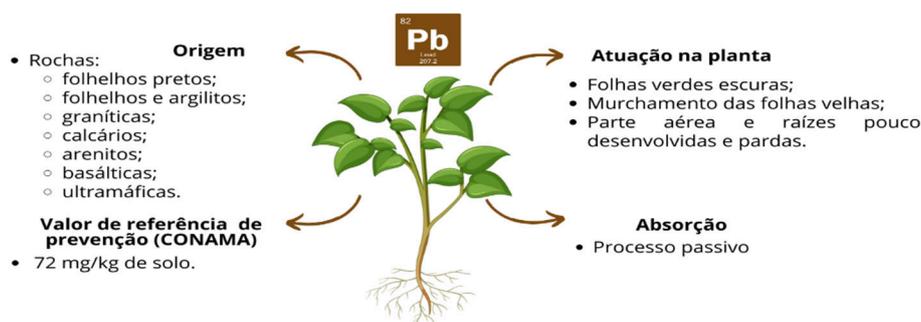


Figura 9. Mapa mental do Chumbo (Pb).
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A origem do mercúrio (Figura 10) no solo ocorre através das rochas, deposição atmosférica, adubos e defensivos agrícolas, sendo absorvido pelas plantas através das raízes e transportado em pequenas proporções para a parte aérea, os principais sintomas de toxicidade, são: amarelecimento das folhas e avermelhamento dos colmos, a toxidez também ocasiona a inativação de processos bioquímicos e fisiológicos, bem como a inibição da fotossíntese, da síntese de proteínas, e dos mecanismos de absorção e transporte de água (MALAVOLTA, 2006).

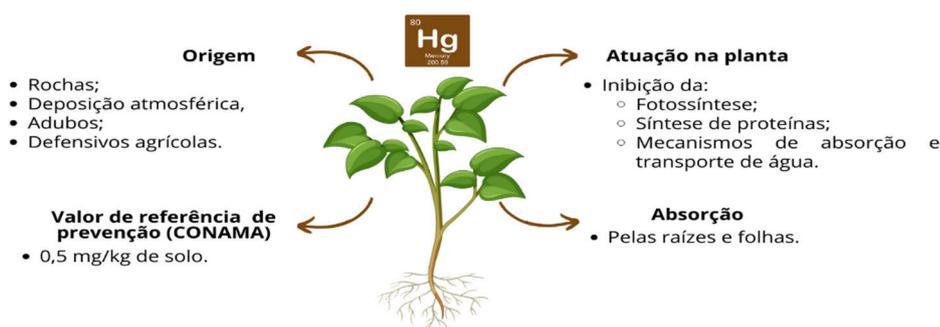


Figura 10. Mapa mental do Mercúrio (Hg).
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

2.3. DISTRIBUIÇÃO DOS METAIS NA PLANTA

No Brasil, as plantas utilizadas para fitorremediação são pouco exploradas na esfera comercial, tanto pela falta de capacitação técnica como desconhecimento do mercado, já

que associado a esta realidade as espécies hiperacumuladoras mais conhecidas, em sua maioria, encontram-se no clima temperado (AMADO; CHAVES FILHO, 2015).

Observa-se na figura 11, o processo de fitorremediação, detalhando as principais técnicas realizadas pelas plantas em solos contaminados por metais pesados.

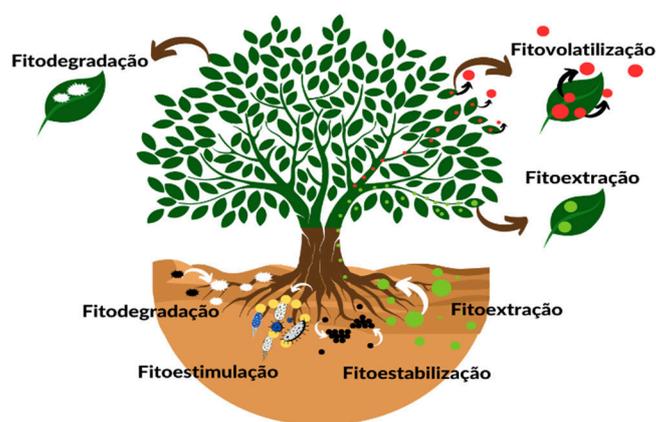


Figura 11. Resumo do processo de fitorremediação.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A planta fitorremediadora é capaz de retirar o metal pesado do solo em elevada concentração através de diferentes técnicas de acordo com a fisiologia. A fitoextração permite a remoção do mineral ou metal do solo ou da água e absorvidos, podendo permanecer na raiz ou translocar-se para outras partes da planta, bioacumulando (PEREIRA, 2022).

As plantas ainda podem realizar outros processos quando em contato com os metais pesados em seus tecidos. A fitoestabilização permite limitar a mobilidade e disponibilidade residual dos contaminantes extraído do solo com o mecanismo das raízes, outro processo também descrito é a fitoestimulação, onde a planta sofre a “estimulação” de degradar os compostos extraídos do solo na presença dos microrganismos, que para essa atração liberam exsudados radiculares ou até mesmo fornece partes dos tecidos vegetais, biodegradado os contaminantes (PEREIRA, 2022).

Dependendo da fisiologia das plantas fitoextratoras ou fitorremediadoras, estas podem atuar com os processos de fitovolatilização e/ou rizofiltração (PEREIRA, 2022). Conforme descreve os autores supracitados, a fitovolatilização é o processo de conversão de poluentes extraídos do solo na forma de voláteis, após isso são liberados para a atmosfera conforme composição de cada elemento, e diferentemente a rizofiltração é o processo de absorção do metal pesado com posterior adsorção na região rizosférica com participação dos microrganismos rizosféricos.

Os metais quando são absorvidos, assim sofrem transporte radial na raiz, normalmente apoplástico, encontrando um primeiro filtro de difusão e de regulação na sua endoderme. Após isso, os metais absorvidos, seguem pela via do xilema e as relações com células vizinhas podem ocasionar alterações e diferenciação no sistema vascular, já que, as concentrações menores conseguem alcançar as folhas, podendo alterar a estrutura e a funcionalidade das células fotossintéticas (SOARES et al., 2001). Após a absorção, as alterações morfológicas ou distúrbios fisiológicos, é resultado da alteração que o metal pesado ou nutriente em quantidade elevada no solo ou na água promove, reduzindo seu crescimento, acúmulo e produção de massa, bem como sua fisiologia (TAIZ; ZEIGER, 2008).

Alguns valores são necessários para nortear as tomadas de decisão relacionadas ao uso dessa técnica, assim o CONAMA estabelece valores de prevenção e investigação de áreas contaminadas (Tabela 2). Em estudos com a finalidade de avaliar o potencial fitorremediador de determinadas espécies, adota-se alguns parâmetros para concluir esse potencial, sendo alguns deles: índices de tolerância, fatores de bioconcentração, bioacumulação e translocação.

Tabela 2. Valores de prevenção e interferência de áreas contaminadas por metais pesados.

Metais pesados	Solo (mg/kg de peso seco)			
	Prevenção	Investigação		
		Agrícola	Residencial	Industrial
Alumínio (Al)	-	-	-	-
Arsênio (As)	15	35	55	150
Bário (Ba)	150	300	500	450
Boro (B)	-	-	-	-
Cádmio (Cd)	1,3	3	8	20
Chumbo (Pb)	72	180	300	900
Cobalto (Co)	25	35	65	90
Cobre (Cu)	60	200	400	600
Cromo (Cr)	75	150	300	400
Ferro (Fe)	-	-	-	-
Manganês (Mn)	-	-	-	-
Mercúrio (Hg)	0,5	12	36	70
Molibdênio (Mo)	30	50	100	120
Níquel (Ni)	30	70	100	130
Zinco (Zn)	300	450	1000	2000

Fonte: CONAMA (2009), adaptado pelos autores.

2.4. PLANTAS FITORREMEIADORAS DE METAIS PESADOS NA AMAZÔNIA

2.4.1. Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber)

O Paricá pertence à família Fabaceae e à subfamília caesalpiniaceae, de ocorrência natural em terra-firme e várzea alta no bioma Amazônico (SANTOS et al., 2023). Tem como características rápido crescimento, uma copa bastante ramificada, com tronco reto e cilíndrico e podendo chegar às medidas de 15 a 40m de altura com 50 a 100 cm de diâmetro (RABELO et al., 2023).

Quanto sua ocorrência, encontra-se em boa parte do Brasil e de forma natural nos estados do Pará, Acre, no Amazonas, Mato Grosso e em Rondônia, tem elevado interesse e também seu uso está relacionado a características específicas, como: estudos abrangentes segundo informações para silvicultura; tem fácil obtenção das sementes; elevado grau e taxa de germinação; os custos de implantação é relativamente baixo e versatilidade no emprego de seus produtos madeireiros (RABELO et al., 2023).

Em cultivo de mudas de paricá, submetidas a fertirrigação com diferentes concentrações de cádmio, Mercês et al. (2018), detectaram que as concentrações de cádmio se deram principalmente no sistema radicular e isso constatou que a fitotoxicidade do não afetou a parte aérea. Demonstrando que a cultura tem mecanismos de compartimentalizar elementos tóxicos absorvidos, principalmente nas raízes e assim demonstrar sua tolerância ao meio de desenvolvimento, diferente de outras culturas.

Para fitorremediação de Arsênio, o paricá, apresentou os resultados de maior destaque para a produção de biomassa, bem como as taxas de crescimento e o respectivo acúmulo de Arsênio (PEREIRA, 2022). Um destaque para fitorremediação do solo são as plantas da família Fabaceae, que são destaque para este tipo de atividade, que se apresenta como uma alternativa simples e eficaz para descontaminação dos solos utilizando a biodiversidade brasileira e amazônica, já que alguns de seus representantes são tolerantes e conseguem bioacumular, imobilizar ou até volatilizar mais de um metal pesado (PEREIRA, 2022).

Em estudo sobre a eficiência de três espécies arbóreas para remoção de metais pesados de solos contaminados, o *Schizolobium amazonicum* teve uma taxa de crescimento reduzida nos dois solos contaminados, contudo a quantidade de metais pesados não representou níveis de toxicidade para o paricá, sendo classificada como fitoextratora e hiperacumuladora para o Co, Cd, Cu, Ni, Mn, Fe, Cr, Zn e Pb (CHAVES, 2008).

Martins et al. (2022) ao utilizarem rejeito de mineração de cobre associado a matéria orgânica para produção de mudas de paricá, obtiveram bom desempenho nas variáveis morfológicas estudadas, no qual as mudas produzidas com 90% de rejeito de mineração de Cu e 10% de matéria orgânica apresentaram média de altura dentro do padrão indicado para o plantio no campo, comprovado pelo índice de qualidade Dickson. Esses autores indicaram o reuso do rejeito como uma alternativa para a produção de mudas, uma vez que não houve interferência no crescimento das plantas, além disso os valores de coeficiente de extração indicaram o maior acúmulo do cobre nas raízes, evidenciando a capacidade de fitoestabilização de Cu realizada por esta espécie.

2.4.2. Mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King)

O mogno brasileiro pertence à família Meliaceae, dentre as suas principais características destacam-se a altura que pode atingir até 70 m e o diâmetro do colmo até 3,5 m, a sua zona de ocorrência compreende a América do Sul e Central e, no Brasil, a Amazônia Legal (COSTA et al., 2013). Segundo esses autores, esta espécie possui elevada importância econômica, em virtude de sua madeira ser durável e muito utilizada na fabricação de móveis e artigos de decoração.

Pérez-Hernández (2017) estudaram o crescimento de mogno associado a fitoestimulação de microrganismos em solos de áreas contaminadas por petróleo bruto, que em geral contém mercúrio e chumbo, observaram alta taxa de sobrevivência e vigor das plantas, o que constitui indicativos de tolerância das plantas aos contaminantes, contudo, a altura e biomassa aérea e radicular diminuíram com o aumento da concentração de petróleo. Ainda segundo esse estudo, os solos contaminados, na ausência da espécie florestal, apresentaram maior atividade microbiana e, conseqüentemente, maior degradação de hidrocarbonetos totais de petróleo, em detrimento dos solos contaminados que receberam o plantio de mogno.

Esse resultado pode ser explicado pelo fato dos solos contaminados por petróleo apresentarem elevada deficiência de nutrientes, dessa forma os vegetais e os microrganismos competem, principalmente, pelo nitrogênio, limitando o desenvolvimento de ambos, bem como a degradação dos hidrocarbonetos (ADAMS et al., 2008; FERRERA-CERRATO et al., 2007; OLSON et al., 2007). Assim, os autores sugerem novas pesquisas com inoculação de bactérias e fungos, bem como a fertilização, associada ao plantio do

mogno para avaliar se é possível atingir uma maior degradação dos hidrocarbonetos de petróleo em solos contaminados.

O mogno brasileiro apresenta potencial para fitoextração de cádmio, segundo experimento desenvolvido por Fan et al. (2011), onde as mudas de mogno produzem alta quantidade de biomassa, toleram e acumulam teores significativos deste elemento. As raízes, galhos e folhas apresentaram valores de fator de bioacumulação muito elevados, no entanto os valores do fator de translocação foram $<1,0$, indicando que ocorreu maior concentração do cádmio nas raízes, podendo essa espécie ser indicada para restaurar locais contaminados por Cd, bem como utilizado na rizofiltração de água contaminada ou na fitoestabilização de locais contaminados, visando limitar a percolação de Cd às águas subterrâneas (FAN et al., 2011).

Ao avaliar o potencial fitorremediador do mogno brasileiro em exposição ao níquel, Oliveira (2023) observou característica de resistência às condições de estresse em virtude do contato com o metal pesado, o diâmetro do caule e o número de folhas não foram afetados significativamente com a aplicação das dosagens de níquel, apresentando apenas epinastia foliar com a dosagem máxima, contudo o sistema radicular e aéreo sofreram influência negativas quanto ao aumento das dosagens, no qual o comprimento radicular reduziu em 38,8% e a biomassa em 26,5%. Nesse estudo, também houve indicativo de que as células epidérmicas das raízes do mogno têm o potencial de acumular níquel, podendo ter relação com o retardamento no desenvolvimento radicular. Além disso, apesar do estresse, as plantas de mogno conseguiram manter sua temperatura vegetal nos níveis normais, evitando maiores danos fisiológicos e bioquímicos (VENTURA et al., 2019).

2.4.3. Mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)

O mogno-africano é uma espécie florestal originária da costa ocidental africana, heliófila, tolerante à sombra durante a fase jovem, possui porte elevado, com altura variando de 40 a 50 m, sistema radicular tipo tabular, bastante vasto e caule é isento de ramificações até os 30 m de altura (FALES; BAENA, 1999). Segundo estes autores, esta espécie foi estabelecida no Pará por volta de 1976 com o objetivo de auxiliar no reflorestamento, devido a facilidade de produção de mudas, crescimento rápido e do elevado valor econômico mundial, sendo utilizado em movelaria, construção naval e em construções interiores.

Em virtude do avanço da mineração, sobretudo, na Amazônia, têm sido desenvolvidas pesquisas com essa espécie a fim de remediar as áreas contaminadas. Covre (2017) ao

avaliar o uso do mogno africano como espécie fitorremediadora associado a adição de resíduos de castanha, silício, selênio, biocarvão e cinza de caldeira de cana-de-açúcar em estéril da exploração de Cu, constatou que os teores de Cu na planta indicaram a *Khaya ivorensis* A. Chev. Como hiperacumuladora desse metal, além de ter apresentado tolerância aos teores elevados de Cu, Ni e Zn nos substratos poluídos, apontando potencial para a fitoestabilização de cobre em resíduos de mineração.

Ainda de acordo com a autora supracitada, o uso do selênio, biocarvão e selênio com cinzas de caldeira de cana-de-açúcar aumentaram a eficiência da fitoestabilização das plantas, outros estudos têm comprovado que a utilização de compostos orgânicos e elementos benéficos, reduzem a biodisponibilidade e os teores dos metais pesados, respectivamente, nas plantas (ACCIOLY, 2009; FENG, 2009; PARK et al., 2011).

O mogno-africano também é uma alternativa para fitorremediação de áreas contaminadas com cádmio, apesar de não ter sido considerada hiperacumuladora desse metal pesado, uma vez que restringiu a translocação desse metal para a parte aérea da planta expressando um mecanismo de tolerância ao minimizar os efeitos adversos, como maiores danos a maquinaria fotossintética (SALDANHA et al., 2018). O experimento desenvolvido por Paiva et al. (2021) também corrobora as características de tolerância dessa espécie ao cádmio, tendo em vista a ocorrência de altas concentrações desse metal nas raízes (743,75%) em detrimento da parte aérea (228,5%), esse comportamento é resposta da imobilização de íons tóxicos na parede celular das raízes, que limita a translocação destes para a parte aérea (SINGH et al., 2008).

2.4.4. Cedro rosa (*Cedrela fissilis* Vell)

O cedro Rosa é uma espécie arbórea, nativa da América (MEYER et al., 2016) pertencente à família Meliaceae, tem crescimento rápido e produzem uma madeira de elevada qualidade, com uma elevada produção de biomassa ainda tem capacidade de filtragem por apresentar extenso sistema radicular (YAVARI et al., 2017).

Estudos utilizando o cedro rosa (*C. fissilis*) demonstraram elevada tolerância em relação a contaminação do solo com cobre. A tolerância desta espécie, deve-se principalmente a seu elevado grau de produção de biomassa seca e seu elevado padrão de produção e qualidade de mudas, as plantas promovem a retirada do elemento cobro do solo e consegue imobilizá-lo em seus tecidos radiculares o que descreve seu potencial fitoestabilizador (COVRE et al., 2020).

Caires et al. (2011), no estudo com mudas de cedro, enfatizam que estas apresentam elevada capacidade de acúmulo do elemento cobre nas raízes. Já para Silva (2007), que conduziu estudos com a espécie *C. fissilis*, considerou que a planta é uma fitoextratora do cobre contido no solo, sendo capaz de fixar e acumular este elemento nas partes radiculares e na parte aérea da planta, demonstrando seu potencial para fitorremediação de solo contaminado com cobre.

Vale ressaltar que as plantas de cedro quando cultivadas em solos contaminados com o cobre ou outro elemento, apresentam sintomas de fitotoxicidade além de alterações na fisiologia. Caires et al. (2011), nos estudos com o cedro em solo contaminado com o Cu, demonstrou que a produção da matéria seca total foi maior na dose de 101,74 mg kg⁻¹, comportamento que se apresenta como tolerante e uma fitorremediadora do solo, já que este valor se apresenta como maior que a dose de precaução (CONAMA, 2009).

2.4.5. Embaúba (*Cecropia* sp.)

A embaúba pertence à família Urticaceae é uma árvore de médio porte, varia de 4 a 8 m de altura com madeira fraca e rápido crescimento, é rústica e recomendada para reflorestamento de áreas degradadas (SALMAN et al., 2008). Souza et al. (2006), avaliando o banco de sementes da serapilheira de um fragmento de mata para a recuperação de área degradada, verificou a maior ocorrência da espécie *Cecropia hololeuca* (Embaúba), com 47,81 % do total de ocorrência das arbóreas verificadas. Avaliando o banco de sementes do solo de uma mata em regeneração Araujo et al. (2001), na região do Baixo Rio Guamá, na Amazônia Oriental, conseguiu verificar a ocorrência de *Cecropia pachytachya* Trec e *Cecropia sciadophylla* Mart., sendo a embaúba branca e a vermelha com o número de 612 e 187 indivíduos, respectivamente, demonstrando a rusticidade da espécie em ocorrência nas matas em regeneração.

A Embaúba, após 6 meses foi avaliado seu crescimento em diferentes concentrações dos metais pesados, onde 60% de contaminação (Ca, Mg, Cu, Cr, Fe, Al, Zn, Ni e Mn) foi o que apresentou melhor desenvolvimento pela planta (IRIE et al., 2008). Ainda no mesmo estudo, a maioria dos metais, Mg, o Ca, o Mn e o Cr bioacumularam-se principalmente na parte aérea, já os metais pesados, tais como o zinco, cobre, o ferro, magnésio, o manganês, o cromo e o níquel bioacumularam-se em maior quantidade na parte radicular.

A *Cecropia cf. pachytachya* Trécul (Embaúba), conseguiu translocar metais como o Ca, Mg, Cu, Cr e Mn em altas concentrações para as partes aéreas já o Al e o Fe não foi

translocado e permaneceu nas raízes da planta, demonstrando e comprovando o potencial fitoextrator da planta (IRIE et al., 2008).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os metais pesados no solo, promovem alterações fisiológicas reduzindo a produção vegetal, mas as espécies fitorremediadoras conseguem se desenvolver devido sua rusticidade e absorvem os metais fixando em seus tecidos.

As principais espécies encontradas foram paricá, mogno africano, mogno brasileiro, cedro rosa e embaúba, devido suas atividades fisiológicas e a rusticidade do desenvolvimento em meios contaminados por estes elementos.

A necessidade de recuperar solos contaminados por metais pesados na Amazônia e outros biomas, descreve a importância do desenvolvimento de estudos sobre espécies fitorremediadoras.

4. REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A.M.A.; SOARES, C.R.F.S.; SIQUEIRA, J.O. Silicato de cálcio como amenizante da toxidez de metais pesados em mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 180-188, 2009.

ADAMS, R.H.; ZAVALA-CRUZ, J.; MORALES-GARCÍA, F. Concentración residual de hidrocarburos en suelo del trópico. II: afectación a la fertilidad y su recuperación. **Interciencia**, v. 33, n. 7, p. 483-489, 2008.

AMADO, S. CHAVES FILHO, J.T. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. **Natureza Online**, v. 13, n. 4, p. 158-164, 2015.

ASHRAF, S.; ALI, Q.; ZAHIR, Z.A.; ASHRAF, S.; ASGHAR H.N. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 174, p. 714-727, 2019.

ARAUJO, M.M.; OLIVEIRA, F. DE A.; VIEIRA, I.C.G.; BARROS, P.L.C. DE; LIMA, C.A.T. DE. Densidade e composição florística do banco de sementes do solo de florestas sucessionais na região do Baixo Rio Guamá, Amazônia Oriental. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 115-130, 2001.

CAIRES, S.M.; FONTES, M.P.F.; FERNANDES, R.B.A.; NEVES, J.C.L.; FONTES, R.L.F. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e

potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, v.35, n.6, p.1181-1188, 2011.

CHAVES, E.P.; MENEZES, C.G.P.; MONTEIRO, A.C.; ROCHA, R.M.; CHAVES, E.B. DA P.; BIBIANO, I.S.C. Desmatamento induzido pela mineração: análise espacial no município de Oriximiná (PA). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 2, n. 1. p. 002-013, 2021.

CHAVES, E. V. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de plantas *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum* e *Caesalpinia echinata***. (Tese) Doutorado em Biotecnologia/agroflorestal – Universidade Federal do Amazonas, Brasil, 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 420/2009**. Disponível em < <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-deacs.pdf>> Acesso 01/01/2024.

COVRE, W.P.; PEREIRA, W.V.DAS.; GONÇALVES, D.A.M.; TEIXEIRA, O.M.M.; AMARANTE, C.B. DO; FERNANDES, A.R. Potencial fitorremediador de *Khaya ivorensis* e *Cedrela fissilis* em solo contaminado com cobre. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 268, p. 110733, 2020.

COVRE, W. P. **Fitorremediação de estéril de mina de cobre com mogno africano, utilizando resíduos orgânicos e amenizadores da fitotoxidez de metais**. (Dissertação) Mestrado em Agronomia/Manejo e Conservação dos Recursos Ambientais – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, 2017.

COSTA, J.R.; MORAIS, R.R.; CAMPOS, L.S. Cultivo e manejo do mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Embrapa Amazônia Ocidental**, Manaus. Documentos 114. 2013. 36p.

IRIE, C. N.; KAVAMURA, V. N.; ESPOSITO, E. Avaliação do potencial da embaúba (*Cecropia cf. pachystachya* Trécul) para recuperação de solos contaminados com metais pesados. IN.: Congresso de Iniciação Científica, 2008.

MERCÊS, J.K.R. DAS; NOGUEIRA, G.A. DOS S.; BRITO, A.E. DE A.; NASCIMENTO, V.R. DO; OLIVEIRA NETO, C.F. DE. Metabolismo do carbono em mudas de paricá *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke submetidas a doses crescentes de cádmio. **III Congresso Internacional das Ciências Agrárias - COINTER - PDVAGRO**. 2018.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F.; Alvarez, V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (eds). Fertilidade do Solo. Viçosa: SBCS/UFV. 2007.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R.; CARMELLO, Q.A.C.; SANTOS, L.A.; SPERANDIO, M.V.L. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M.S.; Souza, S.R.; Santos, L.A. (Ed.). Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa: SBCS, 2018.

SILVA, C. M. **Dinâmica de metais potencialmente tóxicos no solo após aplicação de lodo de esgoto**. (Dissertação) Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2005.

SOUZA, P.A.; VENTURIN, N.; GRIFFITH, J.J.; MARTINS, S.V. Evaluation of a seed bank contained in the litter of a forest fragment envisaging the recovery of degraded areas. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 056-067, 2006.

FALES, I.C.; BAENA, A.R.C. **Mogno-africano *Khaya ivorensis* A. Chev. em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999.

FAN, K.; HSI, H.C.; CHEN, C.W.; LEE, H.L.; HSEU, Z.Y. Cadmium accumulation and tolerance of mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedlings for phytoextraction applications. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 10, p. 2818-2822, 2011.

FENG, R.; WEI, C.; TU, S.; WU, F. Effects of Se on the uptake of essential elements in *Pteris vittata* L. **Plant Soil**, v. 325, p. 123-132, 2009.

FERRERA-CERRATO, R.; ALARCÓN, A.; MENDOZA-LÓPEZ, M. R.; SANGABRIEL, W.; TREJO-AGUILAR, D.; CRUZ-SÁNCHEZ, J. S.; et al. Fitorremediación de un suelo contaminado con combustóleo usando *Phaseolus Coccineus* y fertilización orgánica e inorgánica. **Agrociencia**, v. 41, n. 8, p. 817-826, 2007.

GOMES, M. P.; SÁ, T. C. L. L. DE; MARQUES, M.; SILVA, G. H.; SOARES, A. M. Utilização do Salgueiro (*Salix humboldtiana* Willd) como espécie fitorremediadora em rejeitos da indústria de Zinco. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p. 117-123, 2011.

GONÇALVES JR, A.C.; SOUSA, R.F.B. DE; COELHO, G.F.; GUIMARÃES, V.F.; SCHWANTES, D.; SILVA, T.R.B. DA.; et al. Dinâmica dos metais Cd e Pb no solo e a capacidade de adaptação das plantas em ambientes contaminados. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. 1, p. 31-55, 2015.

IRIE, C.N.; KAVAMURA, V.N.; ESPOSITO, E. Avaliação do potencial da embaúba (*Cecropia cf. pachystachya* Trécul) para recuperação de solos contaminados com metais pesados. **Congresso de Iniciação Científica**. 2008.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. 2ª ed, **Agronômica Ceres**, 2006.

MACKIE, K.A.; MÜLLER, T.; KANDELER, E. Remediação de Cu em vinhedos - uma mini revisão. **Poluição Ambiental**, v.167, p.16-26, 2012.

MARCO, R.D.; SILVA, R.F.DA; ROS, C.O.DA; VANZAM, M.; BOENO, D. Senna multijuga e turfa em fitoestabilização do cobre em solo contaminado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 421-426, 2017.

MARTINS, C.A.S.; NOGUEIRA, N.O.; RIBEIRO, P.H.; RIGO, M.M.; CANDIDO, A. DE O. A Dinâmica de metais-traço no solo. **Current Agricultural Science and Technology**, v.17, n.3-4, p.383-391, 2011.

MARTINS, E.C.B.; SILVA, K.S. DA; ARRUDA, A.G.R.; COSTA, D. DA S.; OLIVEIRA, Â.K.D. DE; OLIVEIRA, F.K.D. DE. Produção de mudas de *Schizolobium amazonicum* em rejeito de mineração de cobre e fertilizante orgânico. **Educação, Ciência e Saúde**, v. 9, n. 1, p. 1-19, 2022.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition**. 5ed. Kluwer Academic Publ. Dordrecht. 2001.

MEYER, S. T.; CASTRO, S. R.; FERNANDES, M. M.; SOARES, A. C.; FREITAS, G. A. DE S.; RIBEIRO, E. Heavy-metal-contaminated industrial soil: uptake assessment in native plant species from Brazilian Cerrado. **International Journal of Phytoremediation**, v. 18, n. 8, p. 832-838, 2016.

FRANÇA, R.S.S.S.R.DE; MIRANDA, E.E.V.; PAIM, G.W. Potencial de espécies arbóreas nativas para fitorremediação sob solos de cerrado: revisão bibliográfica. **Revista Cerrados**, v. 21, n. 01, p. 377-398, 2023.

OLIVEIRA, T.J.M. **Potencial fitorremediador do Mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) em exposição ao níquel: Respostas anatômicas, bioquímicas, antioxidantes e NDVI**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, 2023.

OLSON, P. E.; CASTRO, A.; JOERN, M.; DUTEAU, N.M.; PILON-SMITS, E.A.; REARDON, K.F. Comparison of plant families in a greenhouse phytoremediation study on an aged polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 36, n. 5, p. 1461-1469, 2007.

PAIVA, R. C.; MACHADO, L. C.; SOUSA, J. DO C. M. DE; MORAES, V. C. DO; CONCEIÇÃO, S. S.; NOGUEIRA, G. A. DOS S.; et al. Influência do cádmio em desenvolvimento inicial de plantas de mogno africano. **European Academic Research**, v. IX, n. 1, p. 504-518, 2021.

PARK, J.H.; LAMB, D.; PANEERSELVAM, P.; CHOPPALA, G.; BOLAN, N.; CHUNG, J.W. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. **Journal Of Hazardous Materials**, v. 185, n. 2-3, p. 549-574, 2011.

PÉREZ-HERNÁNDEZ, I.; OCHOA-GAONA, S.; ADAMS, R. H.; RIVERA-CRUZ, M. C.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, V.; JARQUÍN-SÁNCHEZ, A.; et al. Growth of four tropical tree species in petroleum-contaminated soil and effects of crude oil contamination. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 1769-1783, 2017.

PEREIRA, A. R. **Espécies de plantas nativas brasileiras com potencial de fitorremediação de metais**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2022.

RABELO, L. K. L.; BAUMANN, S.R.T.; BRIGIDA, C.A.S.; DUMMONT, M.; MAESTRI, M.P.; AQUINO, M.G.C. DE; et al. Análise da rentabilidade financeira de um plantio de paricá (*Schizolobium amazonicum*), em Santarém-Novo, Pará. **Revista Científica Rural**, v. 25, n. 1, p. 125-146, 2023.

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.

SALDANHA, V.J.S.; SOUSA, J. DO C. M. DE; FERREIRA, D.P.; VIANA, R.G.; MACHADO, L.C.; OLIVEIRA NETO, C.F. DE. Modulações ecofisiológicas de *Khaya ivorensis* A. Chev. para fitorremediação de cádmio. **VII SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA**, 2018.

SALMAN, A.K.D.; ZAMORA LÓPEZ, G.F.; BENTES-GAMA, M. DE M.; ANDRADE, C.M. S. DE. **Espécies arbóreas nativas da Amazônia ocidental brasileira com potencial para arborização de pastagens**. Embrapa Rondônia. Rondônia, 2008.

SANTOS, J.A.; REIS, K. DE J.; SANTOS, L.S.R. DOS; VIEIRA, I.L.S.M.; LIMA, M. R. N.; SILVA, M.; et al. Avaliação do efeito de acabamento na rugosidade superficial da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Research, Society and Development**, v. 12, n. 10, e95121043479, 2023.

SILVA, R. F. **Tolerância de espécies florestais arbóreas e fungos ectomicorrízicos ao cobre.** (Tese) Doutorado em Ciência do Solo - Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, 2007.

SINGH, S.; KHAN, N.A.; NAZAR, R.; ANJUM, N.A. Photosynthetic Traits and activities of antioxidant enzymes in blackgram (*Vigna mungo* L. Hepper) under cadmium stress. **American Journal of Plant Physiology**, v. 35, p. 25 – 32, 2008.

SOARES, C.R.F.S.; ACCIOLY, A.M. DE A.; MARQUES, T.C.L.L. DE S.M.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 302-315, 2001.

SOUZA, P.A. DE; VENTURIN, N.; GRIFFITH, J.J.; MARTINS, S.V. Avaliação do banco de sementes contido na serapilheira de um fragmento florestal visando recuperação de áreas degradadas. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 56-67, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre. 2008.

VENTURA, R.B.; SOTO, V.M.; OTINIANO, A.; GRATÃO, P.L. Efeito do déficit hídrico e do aumento de temperatura sobre variáveis produtivas fisiológicas e bioquímicas do "cacau" *Theobroma cacao* L. **Arnaldoa**, v. 26, n. 1, p. 287-296, 2019.

YAVARI, S.; MALAKAHMAD, A.; SAPARI, N.B.; YAVARI, S. Treatment of urea manufacturing facility effluent by *Hopea odorata* and *Khaya ivorensis*. **Water Science & Technology**, v. 75, n. 7-8, p. 1684-1692 2017.

AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE E CITOTOXICIDADE DAS ÁGUAS DO IGARAPÉ JUDIA NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO, ACRE, BRASIL

Hémilly Caroline da Silva Paixão¹, Sérgio Luiz Prolo Júnior¹, Osmar da Silva Torres²,
Romeu Paulo Martins Silva³, Cydia de Menezes Furtado² e Dionatas Ulises de Oliveira
Meneguetti⁴

1. Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil;
2. Unidade de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil;
3. Unidade Acadêmica Especial de Biotecnologia, Universidade Federal de Catalão, Goiás, Brasil;
4. Colégio de Aplicação, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil.

RESUMO

Na cidade de Rio Branco, capital do estado do Acre, os mananciais urbanos têm sofrido considerável desgaste proveniente da ocupação de suas proximidades. O Igarapé Judia, sendo um dos mais extensos e importantes do município, apresenta notável poluição das suas águas devido lançamento de diversos efluentes que alcançam seu leito e foz, sem um prévio tratamento. Dessa forma, este trabalho verificou o potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico do Igarapé Judia. Foram coletadas 11 amostras de água ao longo do Igarapé Judia em dois períodos do ano, chuvoso e estiagem. Sementes de *Allium cepa* foram submetidas à germinação, aplicando-se 3 ml das amostras e controle correspondentes. As lâminas foram analisadas em microscópio de luz. A análise estatística se deu por meio do teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e teste de comparação entre médias, Mann-Whitney. Para os dados que não foram normais aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis e Dunns, considerando significativo quando $p < 0,05$. No período de estiagem, os pontos 3, 4, 6 e 9 foram significantes ($p < 0,01$) em relação a nascente com os maiores índices mitóticos. O Ponto 6 representou a única amostra significativa ($p < 0,05$), com maior número de aberrações cromossômicas no período de estiagem em relação ao período chuvoso. Quando comparado os dois períodos, os pontos 6, 7, 8, 9 e 10 apresentaram aumento significativo de micronúcleos durante a estiagem em comparação ao período chuvoso. Os dados deste estudo sugerem que existem agentes contaminantes no Igarapé Judia com potencial de causar citotoxicidade, genotoxicidade e mutagênicidade em células de *A. cepa*.

Palavras-chave: Ecotoxicologia, *Allium cepa* e Poluição ambiental.

ABSTRACT

In the city of Rio Branco, capital of the state of Acre, urban water sources have suffered considerable wear from the occupation of their surroundings. The Judia stream presents remarkable pollution of its waters due to the release of various effluents that reach its bed and mouth, often without prior treatment. The present study aimed to evaluate the cytotoxic, genotoxic and mutagenic potential of the waters of the Judea stream comparing the rainy and dry periods. In the laboratory analysis, 11 water samples were collected from stream Judia in two periods of the year, rainy and drought. *A. cepa* seeds were submitted to germination, 3 ml of samples were applied and slides were prepared for microscopic analysis. For statistical analysis, the Shapiro-Wilk test (data normality), Mann-Whitney (significant differences) were used to compare the two periods, being significant when $p < 0.05$. Points 3, 4, 9 and 10 showed a significant increase ($p < 0.05$) of MI in the dry season, and at this same time, point 6 represented significance ($p < 0.05$) with a greater number of chromosomal aberrations and points 6, 7, 8, 9 and 10 showed a significant increase in the number of micronuclei. The data in this study suggest that there are contaminating agents in the Judia stream with the potential to cause cytotoxicity, genotoxicity and mutagenicity in *A. cepa* cells.

Keywords: Biomonitoring, Ecotoxicology; *Allium cepa* and Environment pollution.

1. INTRODUÇÃO

A água é considerada um bem indispensável à sobrevivência das espécies e à manutenção dos ecossistemas (LIMA et al., 2018). Devido ao constante crescimento populacional e industrial, este recurso tem se tornado cada vez mais disputado e a sua presença em caráter potável mais escasso (SINGH et al., 2014; CNI 2023). Estima-se que 97,5% da água existente no mundo é salgada, sendo considerada imprópria ao uso, apenas 2,5% da água do planeta é considerada doce, entretanto somente uma pequena proporção deste número, aproximadamente 1%, é acessível e adequada para consumo (ANA, 2012; ANA, 2023).

A distribuição de água potável e o acesso ao saneamento básico caracterizam um direito humano, que contribui para a saúde e o desenvolvimento da população (WHO, 2017). O saneamento básico é uma ferramenta que atua na melhoria do atendimento do sistema de água e esgoto de uma cidade, gerando benefícios à população quanto à redução de doenças de veiculação hídrica e demais malefícios que a contaminação de afluentes pode causar ao homem e ao meio ambiente (CNI, 2015; CNI, 2017; CNI 2023).

A ocupação urbana de forma desordenada nas proximidades de águas superficiais, ao longo dos anos, tem exercido influência direta sobre a composição físico-química e biológica de afluentes devido aos mais diversos tipos de descargas residuais que tornam a água imprópria ao consumo humano, animal, vegetal e para as demais atividades pelas

quais sua utilização se faz indispensável (DUSMAN et al., 2014; RODRIGUES et al., 2020).

No Brasil, apenas 50% do esgoto gerado é tratado e os corpos d'água receptores, distribuídos pelo país, não possuem competência suficiente para diluição dessas substâncias, prejudicando a qualidade da água para consumo e gerando aumento dos custos produtivos (ANA, 2019; ANA, 2023). O estado do Acre, com cerca de 829 mil habitantes, apresenta os indicadores de abastecimento de água (49,1%), coleta de esgoto (10,7%) e 6 municípios com plano de saneamento, abaixo da média nacional (CNI, 2017).

Frequentemente, as bordas dos rios e igarapés apresentam considerável concentração urbana e populacional, que se utilizam dos afluentes como um meio de abastecimento e transporte, e simultaneamente representam ameaça a qualidade da água devido à escoadura de diversos resíduos líquidos, domésticos, provenientes da agricultura e efluentes industriais, expondo a saúde ambiental e da população inserida nas proximidades ao risco de potenciais contaminantes (DUARTE et al., 2014; FARIA et al., 2017).

A contaminação de afluentes confere potencial mutagênico ao local em que estão inseridos, representando risco de genotoxicidade aos organismos adjacentes, visto que a concentração deste complexo nocivo dependerá, dentre outros fatores, dos efluentes locais, sazonalidade da chuva, índice pluviométrico, vazante, entre outros (COELHO et al., 2014; SOARES; COLDEBELLA; FRIGO, 2021).

Popularmente conhecida como cebola, o *Allium cepa* vem sendo utilizada através dos anos como ferramenta de biomonitoramento ambiental, em testes consideravelmente válidos devido sua compatibilidade com outros mais complexos, rápida execução, baixo custo, verificação combinada da toxicidade e mutagênicidade, que quando positivos em determinada análise, indicam risco biológico a outros organismos (FISKESJÖ, 1985; FISKESJÖ, 1988). A predileção por este teste deve-se basicamente por este vegetal superior, possuir uma forma simples de plantio, facilidade de acesso e obtenção, apresentar um processo de divisão celular semelhante ao dos seres humanos (Figura 1), cromossomos de tamanho favorável para visualização microscópica e número reduzido (ALVIM et al., 2011; FARIA et al., 2017; MERCADO; CALEÑO, 2020), além de corresponder às influências químicas ou tóxicas do ambiente em que está inserido permitindo, desta forma, que pesquisadores verifiquem e interpretem a nível celular os potenciais malefícios que estas substâncias representam aos ecossistemas (BRAGA; LOPES, 2015; RODRIGUES et al., 2020).

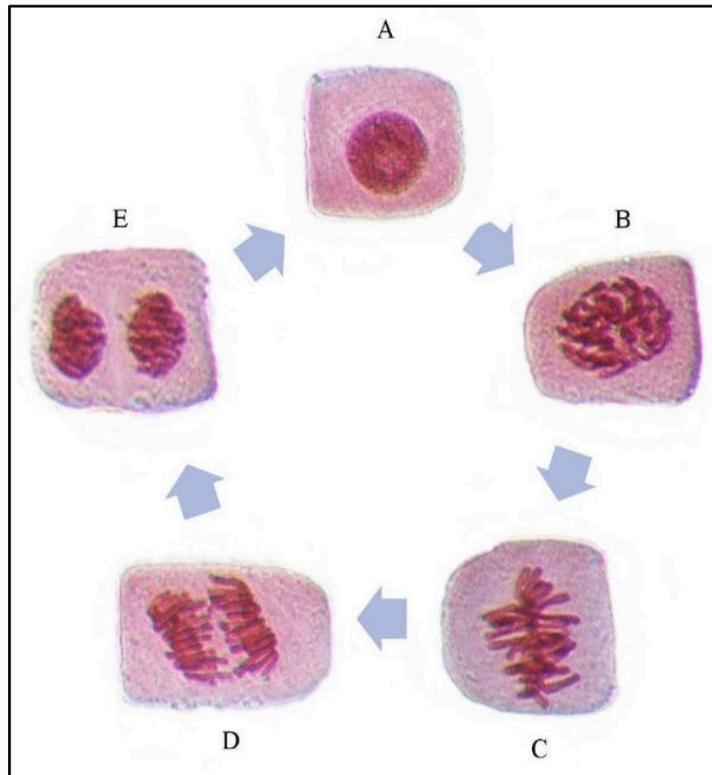


Figura 1. Esquema das fases do processo mitótico em células de *A. cepa*.
Legenda: (A) Intérfase; (B) Prófase; (C) Metáfase; (D) Anáfase; (E) Telófase.

Experimentos realizados com esta hortaliça permitem, dentre outras coisas, identificar nas águas de rios e igarapés a presença de substâncias citotóxicas, expressas pela diminuição do índice mitótico de suas raízes, de substâncias genotóxicas através da verificação de alterações cromossômicas em suas células e da mutagenicidade pela identificação de micronúcleos, expressos por material nuclear que se desprende durante o processo de divisão celular e forma pequenos núcleos adjacentes ao núcleo principal (DUARTE et al., 2014; SOARES; COLDEBELLA; FRIGO, 2021).

Substâncias potencialmente tóxicas a organismos vivos possuem, na maioria das vezes, competência genotóxica que se destaca como causadora de danos diretos ao material genético das células (DNA), formando pontes anafásicas, a quebra de fita simples ou dupla, formação de adutos de base, lesão cromossomal (Figura 2), dentre outros (DUSMAN et al., 2012; SPOSITO et al., 2019).

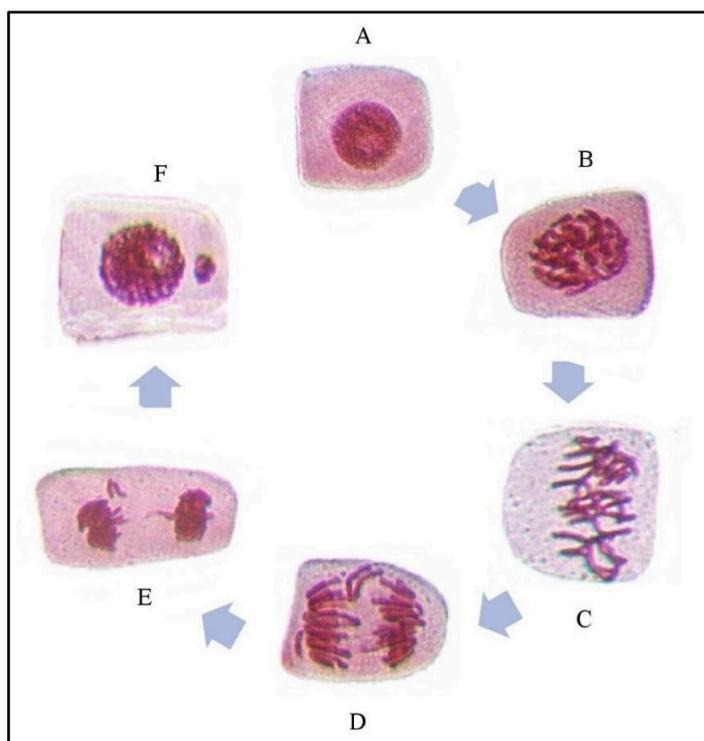


Figura 2. Alterações cromossômicas no processo de divisão mitótica e micronúcleo em células de *A. cepa*.

Legenda: (A) Intérfase; (B) Prófase; (C) metáfase com C-mitose; (D) Anáfase com perda cromossômica; (E) Telófase com aderência e perda cromossômica; (F) Intérfase com micronúcleo.

Localizada na região do Baixo Acre, a sub-bacia do igarapé Judia tem sua nascente no município de Senador Guimard, com uma extensão de aproximadamente 26 km, é um importante manancial da cidade de Rio Branco, que nesta região, representa o principal afluente da margem direita do rio Acre (SANTOS, 2012). Grande parte da concentração populacional nas proximidades do Igarapé Judia, reside nas imediações de Áreas de Preservação Permanente (APP), além de serem zonas que podem apresentar enchentes, deslizamentos, escorregamentos ou estiagens (PEREIRA et al., 2017).

Classificado como um igarapé com um padrão de drenagem ramificado, característico da região amazônica (SOUSA et al., 2012), a água deste afluente é habitualmente utilizada no abastecimento público na região do segundo distrito de Rio Branco, na dessedentação de rebanho bovino, na agricultura, no comércio de água subterrânea em carros pipas, balneabilidade, uso doméstico e paisagismo (SANTOS et al., 2012). Portanto, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar a citotoxicidade, genotoxicidade e a mutagênicidade do Igarapé Judia no município de Rio Branco, Acre, Brasil.

2. MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO E COLETA DAS AMOSTRAS

O Igarapé Judia (Figura 3), localiza-se a sudeste do município de Rio Branco, apresentando suas nascentes no município de Senador Guiomard/AC e a foz na cidade de Rio Branco, confluência com o rio Acre. Localizado entre as coordenadas 10°9'1"S e 67°44'14" W, onde situa-se o alto curso, e o baixo curso entre as coordenadas de 9°58'24" S e 67°47'30" W (LIRA et al., 2010).

A sua nascente principal localiza-se na zona urbana do município de Senador Guiomard a poucos metros da rodovia AC 40, seguindo por três bairros daquela região (Centro, São Francisco e Nary Leite) (SANTOS, 2012). Após percorrer um trecho na zona rural, o Igarapé Judia atinge a zona urbana da cidade de Rio Branco através de 09 bairros: Vila Acre, Cidade do Povo, Loteamento Santo Afonso, Santa Inês, Belo Jardim, Recanto dos Buritis, Areial, Santa Terezinha e Seis de Agosto, onde faz desembocadura no Rio Acre (SOUZA et al., 2012).

Foram coletadas 11 amostras de água, sendo uma na nascente (10°09'14.0"S 67°44'16.6"W) e outros 10 pontos ao longo do Igarapé Judia: Ponto 1 (10°02'41.7"S 67°45'28.9"W); Ponto 2 (10°02'12.0"S 67°45'25.5"W); Ponto 3 (10°01'53.9"S 67°46'10.6"W); Ponto 4 (10°01'28.0"S 67°47'02.3"W); Ponto 5 (10°01'18.2"S 67°47'03.3"W); Ponto 6 (10°00'18.4"S 67°47'22.1"W); Ponto 7 (9°59'42.2"S 67°47'44.2"W); Ponto 8 (9°59'19.0"S 67°47'32.9"W); Ponto 9 (9°58'35.6"S 67°47'40.7"W); Ponto 10 (9°58'28.3"S 67°47'31.2"W) em dois períodos do ano, chuvoso (dezembro, 2018) e estiagem (junho, 2019).

As coletas de água foram feitas na calha central do rio na profundidade de 15 a 30 cm (CETESB, 1988; CETESB, 2011), com balde de aço inox polido acoplado a uma corda (CETESB, 1988; ANA, 2012; ANA, 2019). As amostras foram armazenadas em frascos de vidro, boca larga, de 600 ml e encaminhadas ao laboratório Multifuncional (UFAC) para análise Genotóxica e Citotóxica.

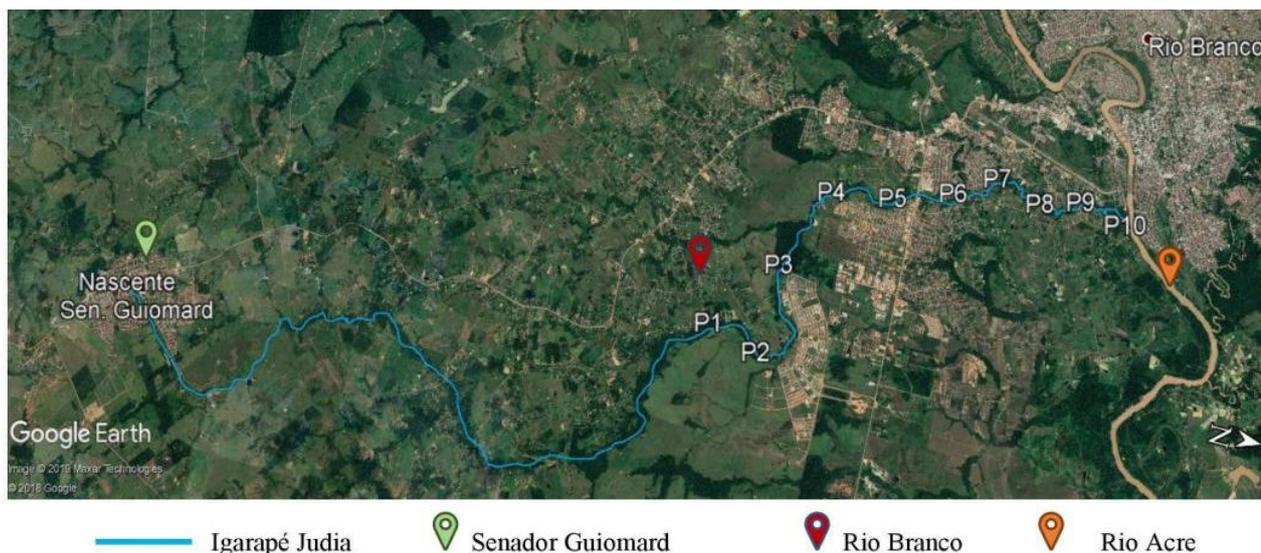


Figura 3. Imagens de satélite dos pontos amostrais ao longo do Igarapé Judia.
Fonte: Elaborada pelos autores utilizando o software Google Earth, 2019.

2.2. ANÁLISE GENOTÓXICA, MUTAGÊNICA E CITOTÓXICA

Foram colocadas sementes de *A. cepa* da variedade Baia Periforme em placa de Petri revestida com papel filtro. Cerca de 100 sementes por placa e duas placas para cada tratamento. As sementes foram submetidas à germinação, sob a temperatura de $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, utilizando como meio as amostras (água coletada e controle), sendo a Nascente utilizada como controle negativo. Aplicou-se 3 ml das amostras (utilizando pipeta Pasteur) e controle correspondentes, diariamente sobre as sementes, até a germinação das mesmas (PAIXÃO et al., 2019a).

Após 72h, os meristemas foram coletados com 1 a 2 cm de comprimento e colocados em tubos de ensaio contendo orceína acética, previamente identificados com a amostra correspondente e armazenados na geladeira (2 a 8°C) no período de 12 a 24 horas para fixação. Após isso, os meristemas foram colocados em lâminas e foi seccionado a porção apical, adicionado 3 gotas de orceína acética e posicionado uma lamínula por cima. Realizou-se o esmagamento do meristema com auxílio de uma pinça (PAIXÃO et al., 2019b).

As lâminas foram analisadas e fotografadas sob objetivas de 20x e 40 x em microscópio Zeiss (modelo Scope.A1). Após o registro fotográfico, as células foram contadas utilizando o software ImageJ versão 1.52d com auxílio do plugin Cell Counter.

A análise genotóxica foi avaliada pela presença de alterações cromossômicas. Foram identificadas as células que contém aberrações cromossômicas (aderência,

poliploidia, perda, C-metáfase, multipolaridade e pontes anafásicas) e anormalidades nucleares (células binucleadas, trinucleadas e núcleos lobulados) (PROLO JÚNIOR et al., 2019), foram utilizadas para este parâmetro 500 células por lâmina, totalizando 5 mil células por amostra (PALSIKOWISK et al., 2018).

Para a análise mutagênica foram identificadas células que continham um ou mais micronúcleos, sendo contadas 500 células por lâmina, totalizando 5 mil células por amostra (FISKEJO, 1998; MENEGUETTI et al., 2012; MENEGUETTI et al., 2014; ANACLETO; ROBERTO; MARIN-MORALES, 2017; PAIXÃO et al., 2019a, PAIXÃO et al., 2019b).

Para o cálculo de Índice Mitótico na análise citotóxica foi aplicada a seguinte equação: (Número Total de Células em Mitose/Número Total de Células × 100).

2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores foram expressos em médias e desvio padrão para cada abordagem. O teste Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados e o teste Mann-Whitney de comparação entre médias, foi aplicado para aferir as diferenças significativas entre os valores encontrados em relação à Nascente (MAZZEO et al., 2015). Para a comparação entre período chuvoso e de estiagem os dados foram submetidos a uma Análise de Variância (ANOVA), seguido do teste de Tukey (dados normais) ou Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunns (dados não normais). A análise dos dados e a elaboração dos gráficos foi realizada através do programa GraphPad Prism® 8.0, sendo considerado significativo quando $p < 0.05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das análises de cada ponto amostral estão representados na tabela 1, com o valor médio e respectivo desvio padrão para o índice mitótico, alterações cromossômicas e nucleares e micronúcleos.

Tabela 1. Média e desvio padrão das análises amostrais do Período Chuvoso e do Período de Estiagem.

Período Chuvoso		NS	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10
IM		13,48	2,96	3,44	5,22	6,02	26,46	8,12	7,20	5,68	4,16	2,00
		(±15,31)	(±2,44)*	(±3,63)*	(±4,07)	(±5,31)	(±17,21)	(±6,39)	(±9,24)	(±4,39)	(±5,09)*	(±2,91)**
ACN		2,40	1,70	3,80	4,20	7,60	6,20	2,50	0,20	3,20	1,20	0,60
		(±3,92)	(±2,63)	(±4,59)	(±3,64)	(±5,93)	(±5,31)	(±3,75)	(±0,42)*	(±2,70)	(±1,48)	(±1,90)*
MN		0,80	0,60	1,60	5,10	7,30	2,10	1,70	0,70	2,70	1,00	0,90
		(±1,87)	(±1,35)	(±2,76)	(±5,63)	(±8,52)**	(±4,63)	(±3,83)	(±1,25)	(±3,09)	(±1,70)	(±0,99)
Período de Estiagem		NS	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10
IM		1,72	1,42	1,06	10,04	16,44	9,26	11,92	2,70	10,54	18,06	8,74
		(±1,58)	(±1,32)	(±1,71)	(±3,54)**	(±6,87)**	(±9,79)	(±10,4)*	(±4,93)	(±9,37)*	(±14,8)**	(±6,94)
ACN		4,90	3,0	2,0	2,80	6,80	3,20	5,80	1,20	1,80	3,70	4,0
		(±4,25)	(±2,44)	(±2,21)	(±2,48)	(±7,23)	(±3,52)	(±3,67)	(±1,61)*	(±1,75)	(±4,16)	(±3,12)
MN		7,70	1,10	1,90	5,90	4,90	3,80	11,20	6,40	10,40	9,30	11,70
		(±14,24)	(±1,44)	(±2,88)	(±3,41)	(±3,41)	(±4,66)	(±9,63)	(±7,89)	(±4,76)*	(±2,83)*	(±7,39)*

Legenda: * representa se há diferença entre a Nascente e os pontos; (* p<0,05); (** p<0,01). (NS) Nascente; (IM) Índice Mitótico; (ACN) Alterações Cromossômicas e Nucleares; (MN) Micronúcleos.

Através da verificação do índice mitótico é possível avaliar o nível de citotoxicidade nas células após exposição às amostras, conforme o registro das alterações no índice mitótico das células de *A. cepa* identificou-se significância estatística (p<0,01) no ponto 10 e (p<0,05) nos pontos 1, 2 e 9 ao apresentarem diminuição significativa no IM em relação à nascente. Estudos sugerem que a diminuição significativa dos índices mitóticos comparados à nascente pode estar relacionada à concentração de contaminantes químicos ou biológicos que possam estar presentes na extensão dos cursos de água ou em regiões pontuais, que afetam o crescimento e o desenvolvimento das células (ATHANÁSIO; PRÁ; RIEGER, 2016; LV et al., 2015; LIU et al., 2016; VASEEM et al., 2016; DUARTE et al., 2017; RAMOS et al., 2020), enquanto que a água da nascente, que é naturalmente filtrada pelo solo, apresenta boa qualidade para o consumo, podendo favorecer o crescimento e o desenvolvimento das células (ZANIN; BONUMÁ; CHAFFE, 2013; CUNHA, et al., 2020).

No período de estiagem, os pontos 3, 4, 6 e 9 foram significantes (p<0,01) em relação a nascente ao expressarem, os maiores índices mitóticos. Há trabalhos que sugerem que tanto a redução quanto o aumento do IM podem indicar a poluição de ambientes aquáticos, dessa forma, IM superiores ao controle podem ocorrer sob influência de substâncias que causam uma proliferação celular desordenada com potencial de gerar

desvantagens ou malefícios a organismos (CARITÁ E MARIN-MORALES, 2008; LEME; MARIN-MORALES, 2008; MERCADO; CALEÑO, 2020).

A figura 4 relaciona cada ponto de coleta entre si em relação aos dois períodos avaliados, para verificar as possíveis diferenças estatísticas da citotoxicidade entre os pontos amostrais.

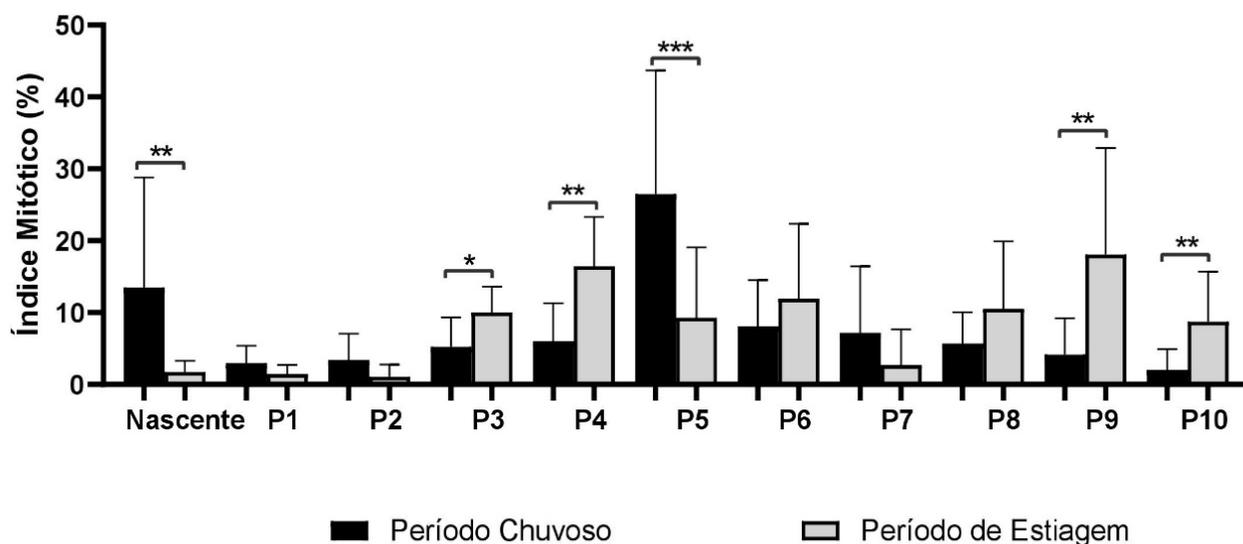


Figura 4. Comparação dos índices mitóticos entre cada ponto amostral em relação ao período chuvoso e de estiagem.

Legenda: * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$); *** ($p < 0,001$).

Ao analisar se houve diferença estatística dos pontos amostrais entre período chuvoso e estiagem, os pontos 3, 4, 9 e 10 apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) do IM no período de estiagem. Trabalhos demonstram que o volume de água dos rios, através da influência de períodos sazonais tem relação direta com a concentração de substâncias tóxicas e nas diferenças do nível de toxicidade entre as amostras avaliadas, ao evidenciar que valores do IM foram maiores na estação seca (SCALON, 2010; OLIVEIRA et al., 2012), corroborando com os dados da presente pesquisa.

Em pesquisas realizadas nas cidades de São Paulo, Rio Grande do Sul e Rondônia foi identificado que durante a estação chuvosa o potencial de citotoxicidade não foi estatisticamente significativo em relação ao controle ou à estação seca, provavelmente devido ao maior volume fluviométrico deste período (BIANCHI et al., 2011; CUCHIARA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2012; FARIA et al., 2017). Estes dados estão de acordo com o presente estudo, visto que 9 dos 10 pontos não apresentaram aumento no período chuvoso.

A genotoxicidade é caracterizada por alterações cromossômicas e nucleares, sendo encontrado no presente estudo, pontes anafásicas, pontes telofásicas, C-metáfase, aderência, anáfases com cromossomos atrasados, quebras cromossômicas, brotamentos (Figura 5).

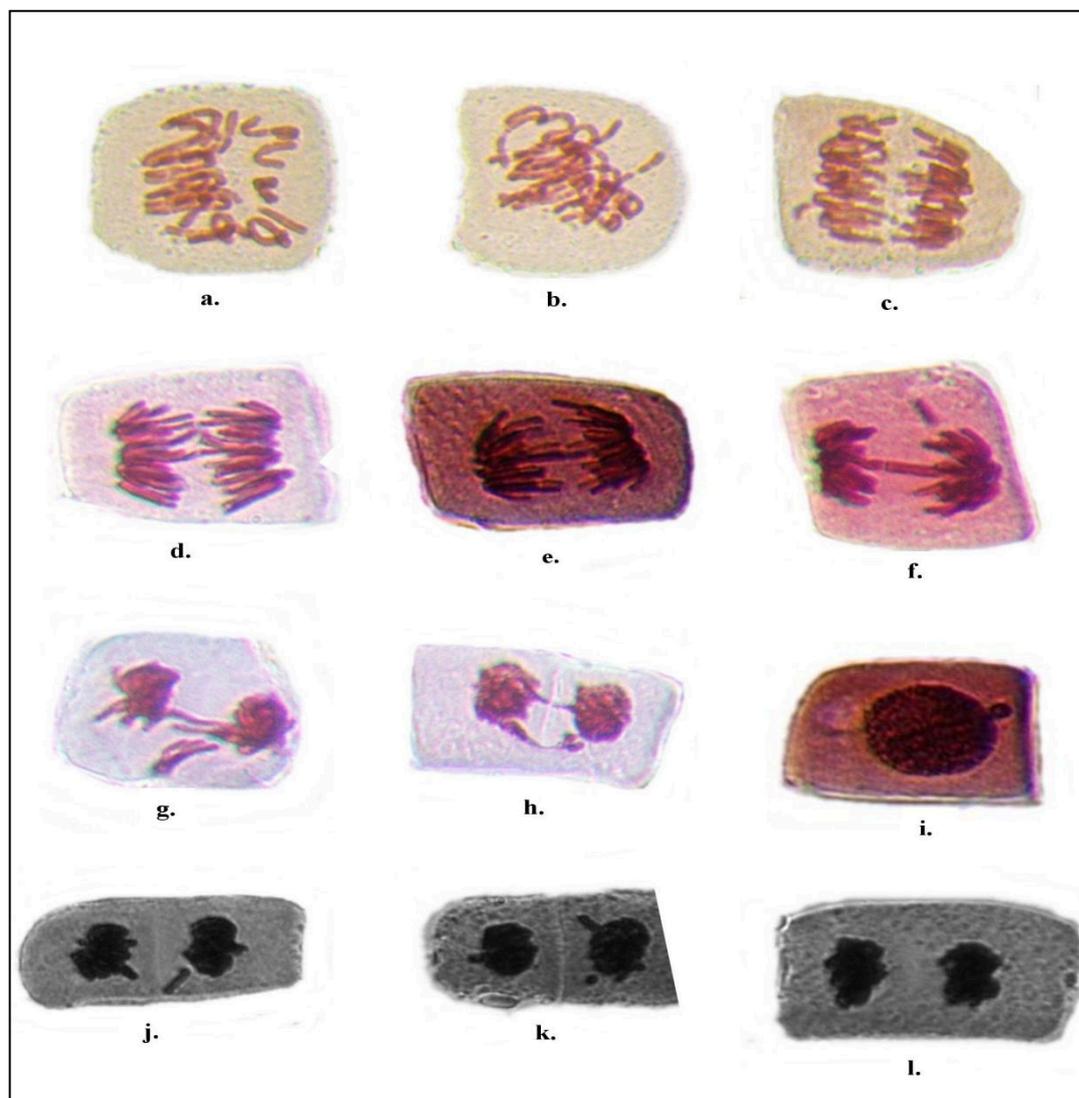


Figura 5. Genotoxicidade e mutagênica em células de *A. cepa* (lente ocular 10x e lente objetiva de 40x).

Legenda: a. e b. metáfase com alterações; c. anáfase com cromossomo vagante; d. anáfase tardia; e. ponte anafásica; f. ponte anafásica com cromossomo isolado; g. e h. ponte telofásica com cromossomo isolado e aderência; i. brotamento; j. telófase tardia com cromossomo isolado; k. telófase com micronúcleo e cromossomo isolado; l. aderência.

No período chuvoso, os pontos 7 e 10 apresentaram menor número de aberrações cromossômicas, quando comparados com a nascente ($p < 0,05$). Dados esses que se mantiveram no ponto 7 durante a estiagem, sendo o único ponto amostral, neste período

a apresentar significância estatística. Apesar de ser verificada a ação genotóxica, neste estudo ela não foi significativa pelo aumento e sim pelo menor número de alterações cromossômicas e nucleares. No período chuvoso o ponto 10 apresentou diminuição significativa do IM e conseqüente redução da proliferação celular, o que eventualmente diminui a quantidade de erros ou alterações cromossômicas e nucleares. Da mesma forma, ainda que o ponto 07 não tenha apresentado significância no IM, foi verificado no período chuvoso diminuição deste índice em relação à nascente, sugerindo-se que esta seja a causa de um menor número de alterações cromossômicas. A seguir, a figura 6 relaciona cada ponto entre si nos dois períodos avaliados.

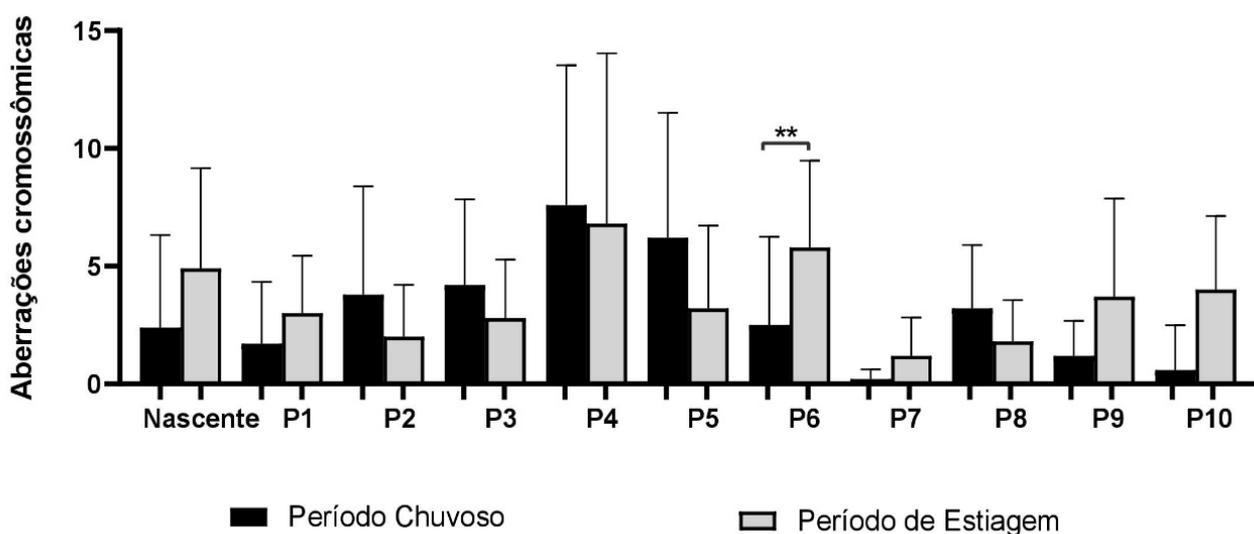


Figura 6. Comparação das aberrações cromossômicas entre cada ponto amostral em relação ao período chuvoso e de estiagem.
Legenda: ** ($p < 0,01$).

Verifica-se que o Ponto 6 representou a única amostra com diferença estatística ($p < 0,05$) ao apresentar maior número de aberrações cromossômicas no período de estiagem em relação ao período chuvoso. Isso pode estar relacionado ao fato de que no período de estiagem esse ponto apresentou aumento significativo ($p < 0,01$) do índice mitótico, com uma possível proliferação celular desordenada e conseqüente aumento da probabilidade de erros ou alterações.

As alterações cromossômicas que ocorrem durante o processo de divisão celular, devido influência de substâncias com potencial de causar danos no material genético das células podem ser deletérias para o organismo (PERON et al., 2009; BRAGA; LOPES, 2014; BAIÃO et al., 2020). Efeitos clastogênicos que causam alterações cromossômicas do tipo

estrutural como pontes anafásicas ou quebras, originam células com inviáveis condições de manter um funcionamento adequado, que continuam se dividindo e propagando os danos da célula mãe, enquanto que os efeitos aneugênicos, como alterações no número de cromossomos, perdas, atrasos, aderência, multipolaridade e C-metáfase fragilizam o funcionamento celular e estão relacionados a doenças de origem genética (ABDEL et al., 2014; ABU et al., 2015; MALAKHAMAD et al., 2018; ALMEIDA et al., 2021).

O potencial mutagênico avaliado através do registro de micronúcleos em células meristemáticas de *A. cepa* apontou que durante o período chuvoso, houve significância ($p < 0,05$) no ponto 4, com o maior potencial mutagênico em relação à nascente.

Enquanto que no período de estiagem, os pontos 8, 9 e 10 demonstraram significância ($p < 0,05$) no potencial mutagênico ao apresentarem um maior número de micronúcleos em relação à nascente. Quando comparado os dois períodos, foi constatado que os pontos 6, 7, 8, 9 e 10 apresentaram aumento significativo do número de micronúcleos no período de estiagem em comparação ao período chuvoso (Figura 7).

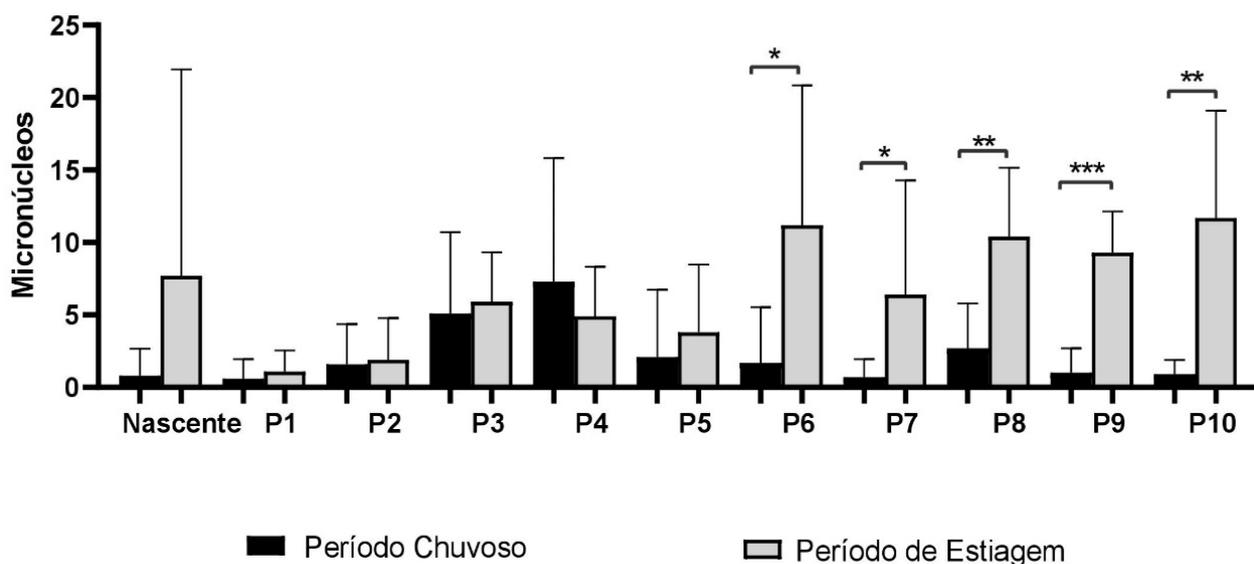


Figura 7. Comparação do potencial mutagênico entre cada ponto amostral em relação ao período chuvoso e de estiagem.

Legenda: * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$); *** ($p < 0,001$).

Verificou-se que o potencial mutagênico se fez mais expressivo no período de estiagem, onde pode haver maior interação dos efluentes na água propiciando a concentração de resíduos neste local (ESTEVES, 1998). Os cinco pontos (6 ao 10) que tiveram aumento significativo, localizam-se em regiões mais centrais da cidade de Rio

Branco e com maior densidade populacional. Com destaque para o ponto 9, situado no bairro 06 de agosto, um dos mais antigos e históricos da cidade (mais de 110 anos de fundação), que cresceu em torno do Igarapé Judia e do Rio Acre (SANTOS et al., 2012). Entretanto, o povoamento às margens deste igarapé ocorreu de forma desordenada, e após muitos anos, a cidade ainda não dispõe de um sistema de coleta e tratamento adequado ou suficiente para evitar o despejo de resíduos e esgoto *in natura* neste afluente (CNI, 2017), fato este, que pode justificar ou apoiar os resultados desta pesquisa, visto que o lançamento de efluentes contaminados podem causar degradação da qualidade da água com potencial efeito genotóxico (MORAES; JORDÃO, 2002; MEDEIROS et al., 2016; BOLONHESI; LOPES, 2018; BAILÃO, et al., 2020).

Além deste, outros trabalhos que utilizaram *A. cepa* para análise de águas superficiais nas regiões sul e nordeste do Brasil também identificaram que amostras provenientes de locais sobre influência de esgoto doméstico apresentaram crescimento do potencial mutagênico (ATHANÁSIO; PRÁ; RIEGER, 2016; CUNHA et al., 2020).

4. CONCLUSÃO

Os dados deste estudo sugerem que existam agentes contaminantes no igarapé Judia com potencial de causar citotoxicidade, genotoxicidade e mutagênicidade em células de *A. cepa*. Tais resultados, podem ser oriundos do lançamento de efluentes domésticos que, neste trabalho, provavelmente foram a causa do aumento significativo do potencial mutagênico no período de estiagem.

O biomonitoramento de rios e igarapés é fundamental, pois a água que abastece a população é proveniente destes mananciais, dessa forma, sugere-se que estudos mais aprofundados acerca dos componentes químicos ou tóxicos presentes na água do Igarapé Judia sejam realizados, uma vez que o bioensaio que utiliza *A. cepa* representa o primeiro passo no diagnóstico ambiental.

5. REFERÊNCIAS

ABDEL-AZEEM, E. A. The detrimental effects and mutagenical potential of Schiff base sulfadiazine derivative engineered particles on *Allium cepa* (L). **Report and Opinion**, v. 6, p. 48-58, 2014.

ABU, N.E.; ASOMBA, C.; UBANI, C. Chemical composition and mutagenic assessment of petrochemical effluents on onion (*Allium cepa*) root tip mitosis. **African Journal of Biotechnology** v.14, p. 2740-2747, 2015.

ALMEIDA, L. M.; PRADO, A. D. L.; SILVA, K. R. X.; FIRMINO, M. T.; PAULA, M. I. M.; GOMES, P. N.; PAULA, J. A. M.; BAILÃO, E. F. L. C. Cytotoxic effect of Vernonanthura polyanthes leaves aqueous extracts. **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n. 3, p. 575–583, 2021.

ALVIM, L. B.; KUMMROW, F.; BEIJO, L. A.; LIMA, C. A. A.; BARBOSA, S. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 6, n. 2, p. 255-265, 2011.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Água na medida certa: a hidrometria no Brasil**. Brasília: 72 p., 2012.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2018**, 72 p., 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plano de Gestão Anual 2023**, 64 p., 2023.

ANACLETO, L. R.; ROBERTO, M. M., MARIN-MORALES, M. A. Toxicological effects of the waste of the sugarcane industry, used as agricultural fertilizer, on the test system *Allium cepa*. **Chemosphere**, v. 173, p. 31-42, 2017.

ATHANÁSIO, C. G.; PRÁ, D.; RIEGER, A. Qualidade da Água de Córregos Urbanos: O Teste de Sementes/Mudas de *Allium cepa* como Ferramenta para Monitoramento de Águas Superficiais. **The Scientific World Journal**, v.14, n. 2, p. 1-7, 2016.

BAILÃO, E. F. C.; ZAGO, L. S.; MACHADO, N. C.; D'ABADIA, K. B.; LIMA, P. Urban Occupation Increases Water Toxicity of an Important River in Central Brazil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 9, n.1, p. 73–86, 2020.

BIANCHI, J.; ESPINDOLA, E. L. G.; MARIN-MORALES, M. A. Genotoxicidade e mutagenicidade de amostras de água do Rio Monjolinho (Brasil) após recebimento de efluentes não tratados. **Ecotoxicologia e Segurança Ambiental**, v. 74, n. 4, p. 826–833, 2011.

BRAGA, J. R. M.; LOPES, D. M. Citotoxicidade e genotoxicidade da água do rio Subaé (Humildes, Bahia, Brasil) usando *Allium cepa* L. como bioindicador. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 1, p. 130-140, 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2016**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 218 p., 2018.

BOLONHESI, I. B. T. M.; LOPES, D. D. Analysis of toxicity from the effluente generated in a furniture industry spray booth using the species *Lactuca sativa* and *Allium cepa*. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, n. 6, p. 1-09, 2018.

CARITÁ, R.; MARIN-MORALES, M. A. Indução de aberrações cromossômicas no sistema de teste *Allium cepa* causada pela exposição de sementes a efluentes industriais contaminados com corantes azo. **Chemosphere**, v. 72, n. 5, p. 722–725, 2008.

CETESB. Companhia de Tecnologia Ambiental do estado de São Paulo. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo, CETESB, 1988.

CETESB. Companhia de Tecnologia Ambiental do estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; São Paulo: CETESB; Brasília; ANA, 2011.

CUCHIARA, C. C.; BORGES, C. S.; BOBROWSKI, V. L. Sistema teste de *Allium cepa* como bioindicador da citogenotoxicidade de cursos d'água. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 6, n. 1; p. 33-38, 2012.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Mapa estratégico da indústria 2023-2032: o caminho para a nova indústria**, 215 p. 2023.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Comparações internacionais: Uma agenda de soluções para os desafios do saneamento brasileiro**. Brasília, DF: p. 128, 2017.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Burocracia E Entraves Ao Setor De Saneamento**. Brasília, DF: p. 36, 2015.

COELHO, M. B.; MOURÃO, A.; FILGUEIRAS, L.M.B.; MENESES, C. H. S. G. Mutagenicidade das águas do açude do campus II da UEPB em Lagoa Seca, PB, utilizando o teste *Allium cepa*. **Revista de Biologia e Farmácia e Manejo Agrícola**, v. 10, n. 1, p.1-8, 2014.

CUNHA, D. P. R.; BARBOSA, D.M.; HENRIQUE, R.; SILVA, L. K. O.; OLIVEIRA, R. C.; LUZ, J. M. Q.; JUNIOR, R. J. O.; ARRUDA, A. S. Uso de bioindicadores na avaliação da qualidade da água do município de Ipameri –Goiás. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n. 12, p. 100812-100825, 2020.

DUARTE, M. N.; NOGUEIRA, M. A. A.; PASCHOAL, C. J. F.; MIRANDA, A. G.; MONSORES, G. L.; COSTA, L. A.; BRAGA, E. S.; BRAGA, B. B.; RODRIGUES, W. C. Avaliação da qualidade ambiental através do teste da cebola (*Allium cepa*) Exposta diretamente em leito de rios urbanos. **Revista Eletrônica TECCEN**. v. 7, n. 1/2, 2014.

DÜSMAN, E.; LUZZA, M.; SAVEGNAGO, L.; LAUXEN, D.; VICENTINI, V. E. P.; TONIAL, I. B.; SAUER, T. P. *Allium cepa* L. as a bioindicator to measure cytotoxicity of surface water of the Quatorze River, located in Francisco Beltrão, Paraná, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 3, p. 1793- 1800, 2014.

DÜSMAN, E.; BERTI, A. P.; SOARES, L. C.; VICENTINE, V. E. P.; Principais Agentes Mutagênicos e Carcinogênicos de Exposição Humana. **Revista de Saúde e Biologia**, v. 7, n. 2, p. 66-81, 2012.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. **Interciência**, v. 2, p. 602, 1998.

FARIA, M. L. C.; COSTA, F. M.; SILVA, F. C.; BOSSO, R. M. V. Potencial de citotoxicidade e mutagenicidade das águas do rio Jaru, estado de Rondônia, em células de *Allium cepa*. **Revista Gaia Scientia**, v. 11, n. 2, 2017.

FERNANDES, J. F. N.; SILVA, B. S. S.; FONTES, R. M. S.; CÂNDIDO, W. P.; MALAVASI, N; V.; et al. Avaliação do potencial citotóxico e mutagênico/genotóxico do látex de janaúba (*Synadenium grantii* Hook. f., Euphorbiaceae). **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 9, n.1, p. 59-65, 2018.

- FISKESJÖ, G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. **Journal of Heredity**, v. 102, n.1, p. 99 - 112, 1985.
- FISKEJÖ, G. The *Allium* test – an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions. **Mutation Research**, v. 197, n. 2, p. 243-260, 1988.
- LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum polluted water – a case study. **Mutation Research**, v. 650, n. 1, p. 80-86, 2008.
- LIMA, C. F. A.; FERNANDES, A. S.; GOMES, E. M.; OLIVEIRA, L. L.; MACEDO, A. F.; ANTONIASSI, R. et al. Antioxidant Activity and Genotoxic Assessment of Crabwood (*Andiroba, Carapa guianensis* Aublet) Seed Oils. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2018, p. 11, 2018.
- LIRA, E. M.; SANTOS, W. L.; OLIVEIRA, J. S.; ARCOS, F. O.; NASCIMENTO, F. I. C. Correção da Rede de Drenagem e Morfometria da Bacia do Igarapé Judia – Acre – Brasil. In: **VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, Recife: Universidade Federal do Recife, Anais**. p. 606-616, 2010.
- LIU X.; SHI Q.; ZOU J.; WANG J.; WU H.; WANG J.; JIANG W.; LIU D. Chromosome and nucleolus morphological characteristics in root tip cells of plants under metal stress. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 25, n. 3, p.2419–2426, 2016.
- LV, X.; LU, Y.; YANG, X.; DONG, X.; MA, K.; XIAO, S. Mutagenicity of drinking water sampled from the Yangtze River and Hanshui River (Wuhan section) and correlations with water quality parameters. **Scientific Report**, v. 5, n. 9572, p. 1- 12, 2015.
- MAZZEO, D. E. C.; MARIN-MORALES, M. A. Genotoxicity evaluation of environmental pollutants using analysis of nucleolar alterations. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22 n. 13, p. 9796-9806, 2015.
- MALAKAHMAD, A.; ABD MANAN, T. S.; SIVAPALAN, S. Detection methods of carcinogens in estuaries: A review. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 10, n. 5, p. 601-619, 2015.
- MEDEIROS, S. R. M.; CARVALHO, R. G.; SOUZA, L.; BARBOSA, A. H. S. Índice de qualidade das águas e balneabilidade no Riacho da Bica, Portalegre, RN, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 3, p. 1-20, 2016.
- MERCADO, S. A. S.; CALEÑO, J. D. Q. **Citotoxic evaluation of glyphosate, using *Allium cepa* L. as bioindicator**. *Science of the Total Environment*, v. 700, p. 134452, 2020.
- MENEGUETTI, D. U. O.; SILVA, F. C.; RAMOS, L. J.; ZAN, R. A. Adaptation of the Micronucleus Technique in *Allium Cepa*, For Mutagenicity Analysis of the Jamari River Valley, Western Amazon, Brazil. **Environmental & Analytical Toxicology**, v. 02, p. 127-131, 2012.
- MENEGUETTI, D. U. O.; LIMA, R. A.; SILVA, J. B.; SILVA, R. P.; PAGOTTO, R. C.; FACUNDO, V. A. Análise citotóxica e mutagênica do extrato aquoso de *Maytenus guyanensis* klotzsch ex reissek (Celastraceae) chichuá (xixuá) amazônico. **Ciência e Natura**, v. 36, p. 301-309, 2014.
- MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n 3, p. 1-10, 2002.

OLIVEIRA, J. P. W.; SANTOS, R. N. dos; PIBERNAT, C. C.; BOEIRA, J. M. Genotoxicidade e análises físico-químicas das águas do rio dos Sinos (RS) usando *Allium cepa* e *Eichhornia crassipes* como bioindicadores. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 1, n. 1, p. 15-22, 2012.

PAIXÃO, H. C. S.; PROLO JÚNIOR, S. L.; SILVESTRE, L. N. S.; SILVA, R. P. M.; MENEGUETTI, D. U. O. **O teste de micronúcleo e suas diferentes aplicabilidades para análise da genotoxicidade.** Ciências da Saúde na Amazônia Ocidental 2, p. 127-140, 2019.a

PAIXÃO, H. C. S.; PROLO JÚNIOR, S. L.; ZAN, R. A.; R. P. M.; MENEGUETTI, D. U. O. **A utilização do sistema teste de *Allium cepa* para análise mutagênica de rios da Amazônia.** Ciência, Inovação e Tecnologia na Amazônia, 1 ed.: Stricto Sensu Editora, p. 163-175, 2019.b

PALSIKOWSKI, P. A.; ROBERTO, M. M.; SOMMAGGIO, L. R. D.; SOUZA, P. M. S.; MORALES, A. R.; MARIN-MORALES, M. A. Ecotoxicity Evaluation of the Biodegradable Polymers PLA, PBAT and its Blends Using *Allium cepa* as Test Organism. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 3, p. 938–945, 2018.

PEREIRA, D. G. S. P.; PANARELLI, E. A.; PINHEIRO, L. S.; GONÇALVES, A. V. M.; PEREIRA, L. P. Área de preservação permanente e reserva legal: estudo de caso na bacia do Córrego bebedouro. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 1, p. 105-126, 2017.

PERON, A. P.; CANESIN, E. A.; CARDOSO, C. M. V. Potencial mutagênico das águas do Rio Pirapó (Apucarana, Paraná, Brasil) em células meristemáticas de raiz de *Allium cepa* L. **Revista brasileira de Biociências**, v. 7, n. 2, p. 155-159, 2009.

PROLO JÚNIOR, S. L.; PAIXÃO, H. C. S.; SILVESTRE, L. N. S.; SILVA, R. P. M.; MENEGUETTI, D. U. O. **Análise Genotóxica: métodos e aplicações.** Ciência, Inovação e Tecnologia na Amazônia, 1 ed.: Stricto Sensu Editora, p.149-162, 2019.

RAMOS. L. P. N.; LEITE. D. M.; MACEDO. W. A.; FARIAS. C. B. M.; OLIVEIRA. A. S.; DAHMER. N.; KASBURG. I. V. Evaluation of the cytotoxic and genotoxic effect of *allium cepa* L. (*Amaryllidaceae*) root cells after exposure in water samples of five lakes of AltaFloresta, state of Mato Grosso. **Ambiente e Água**, v. 15, nº. 1, p. 24-34, 2020.

RODRIGUES, G. Z. P.; MACHADO, A. B.; FINKLER, M.; BERLEZE, D. B.; GEHLEN, G. **Environmental assessment of Luiz Rau Stream (Brazil) utilizing *Allium cepa* test.** Ciência e Natura, v. 42, n. 76, p. 1-15, 2020.

SANTOS, W. L.; NASCIMENTO, F. I. C.; ARCOS, F. O. Uso Da Terra Versus Áreas De Nascentes: Análise De Impactos Com Utilização De Geotecnologias No Sudoeste Amazônico – Acre – Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n. 4, p. 1777-1787, 2012.

SCALON, M. C. S.; RECHENMACHER, C.; SIEBEL, A. M.; KAYSER, M.L.; RODRIGUES, M. T.; MALUF, S. W.; RODRIGUES, M. A. S.; SILVA, L. B. Evaluation of Sinos River water genotoxicity using the comet assay in fish. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 4, p. 1217-1222, 2010.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água.** Editora: Blucher, São Paulo, 5ª. ed., p.535, 2017.

SINGH, M.; DAS, A.; SINGH, D.; MAITI, P.; SHABBIR, M.; DAS, A. High genotoxicity of shipyard contaminants on *Allium cepa* and calf thymus DNA. **Environmental Chemistry Letters**, v. 12, p. 321-327, 2014.

SOARES, L. M.; COLDEBELLA, P. F.; FRIGO, J. P. **Water quality assessment of brazilian rivers using *Allium cepa* meristem cells as a bioindicator: an integrative review.** Brazilian Journal of Development, v.7, n.1, p.6983-6999, 2021.

SOUZA, A. A. C.; BRITO, M. C. W.; FREITAS, G. K. Análise de vulnerabilidade da sub-bacia do Igarapé Judia, diante dos impactos dos eventos extremos e atividades antrópicas na Bacia do Rio Acre, Acre, Brasil. **Trabalho de Iniciação científica do Curso de tecnologia em Gestão Ambiental da Uninorte**, 2012.

SPOSITO, J. C. V.; FRANCISCO, L. F. V.; CRISPIM, B. A.; DANTAS, F. G.; SOUZA, J.P.; VIANA, L. F., et al. Influence of Land Use and Cover on Toxicogenetic Potential of Surface Water from Central-West Brazilian Rivers. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 76, n. 3, p. 483-495, 2019.

VASEEM, H., BANERJEE, T.K. Evaluation of pollution of Ganga River water using fish as bioindicator. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 188, n. 8, p. 444, 2016.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION; **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum.** Geneva; 631p. , 2017.

ZANIN, P. R.; BONUMÁ, N. B.; CHAFFE, P. L. B. **Características hidrogeológicas de Nascentes situadas em diferentes modelados de relevo.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul, 2013.

POTENCIAL GENOTÓXICO, MUTAGÊNICO E CITOTÓXICO DA ÁGUA DO IGARAPÉ SÃO FRANCISCO, RIO BRANCO, ACRE, BRASIL

**Sergio Luiz Prolo Júnior^{1,2}, Hémilly Caroline da Silva Paixão³, Matheus de Moraes
Cunha Gonçalves², Tiago Lucena da Silva¹, Francisco Carlos da Silva⁴, Cydia de
Menezes Furtado⁵, Romeu Paulo Martins Silva⁶, Dionatas Ulises de Oliveira
Meneguetti⁷**

1. Universidade Federal do Acre (UFAC), Centro Multidisciplinar, Campus Floresta, Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil;
2. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas, Campus Rio Claro, Rio Claro, São Paulo, Brasil;
3. Fundação Hospital Estadual do Acre, Rio Branco, Acre;
4. Centro Universitário São Lucas, Ji-Paraná, Rondônia, Brasil;
5. Universidade Federal do Acre (UFAC), Centro de Ciências da Saúde e do Desporto, Rio Branco, Acre, Brasil;
6. Universidade Federal de Catalão (UFC), Unidade Acadêmica Especial de Biotecnologia, Goiás, Brasil;
7. Universidade Federal do Acre (UFAC), Colégio de Aplicação, Rio Branco, Acre, Brasil.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico das águas provenientes do igarapé São Francisco da cidade de Rio Branco, Acre, Brasil. Foram coletadas amostras de água, em 10 pontos no igarapé São Francisco na região urbana e uma amostra da Nascente, região rural, durante o período seco (junho) e chuvoso (dezembro). As amostras foram submetidas ao teste de *Allium cepa* (Levan, 1938). Após 72h, os meristemas germinados foram coletados e submetidos a técnica de coloração pororceína acética 2%. No período de seca, os índices mitóticos foram significativamente menores nos pontos P4 e P10 em relação ao controle e P4, P6, P8 e P10 em relação à nascente. No período chuvoso houve diminuição do índice mitótico nos pontos P2, P3, P8, P9 e P10 em relação à nascente e P10 em relação ao controle, efeito provavelmente ocasionado, devido à presença de residências no entorno, aumentando assim o contato da água com resíduos e efluentes domésticos. Somente o ponto P4 apresentou índice mitótico menor na seca e P7 no período chuvoso. Durante o período de seca, os pontos P1, P2 e P3 apresentaram maior quantidade de micronúcleos tanto em relação ao controle quanto a nascente, porém na estação chuvosa, somente o P2 continuou demonstrando esse fenômeno. Foram identificados pontos ao longo do igarapé que

apresentaram resultados diferentes em relação ao controle, demonstrando assim que existem agentes causadores de efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos, evidenciando assim a necessidade de estabelecer medidas de conservação deste igarapé.

Palavras-chave: Ecotoxicologia, *Allium cepa* e Poluição ambiental.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the cytotoxic, genotoxic and mutagenic potential of waters from the São Francisco stream in the city of Rio Branco, Acre, Brazil. Water samples were collected at 10 points in the São Francisco stream in the urban region and a sample from the spring, rural region, during the dry (June) and rainy (December) periods. The samples were submitted to the *Allium cepa* test (Levan, 1938). After 72h, the germinated meristems were collected and stained with 2% acetic orcein. In the dry season, mitotic indexes were significantly lower at points P4 and P10 compared to the control and P4, P6, P8 and P10 in relation to the spring. In the rainy season, there was a decrease in the mitotic index at points P2, P3, P8, P9 and P10 in comparison to the spring and P10 compared to the control, an effect probably caused, due to the presence of residences in the surroundings, thus increasing the contact of water with waste and domestic effluents. Only point P4 had a lower mitotic index in the drought and P7 in the rainy season. During the dry season, the points P1, P2 and P3 showed a greater amount of micronuclei both compared to the control and the spring, however in the rainy season, only P2 continued to demonstrate this phenomenon. Several points were identified along the stream that presented different results compared to the control, thus demonstrating that there are agents that cause cytotoxic, genotoxic and mutagenic effects, evidencing the need to establish conservation measures for this stream.

Keywords: Ecotoxicology, *Allium cepa* and Environmental pollution.

1. INTRODUÇÃO

O igarapé São Francisco é um importante curso d'água que tem sua nascente no ambiente rural, atravessa o ambiente periurbano e urbano, recebendo descarga de efluentes domésticos, provenientes dos igarapés Saituba, Dias Martins e Batista, e ao final liberando-os na sua foz que se dá no rio Acre (SANTI et al., 2012). Este igarapé está inserido na Área de Proteção Ambiental Igarapé São Francisco, criada em junho de 2005 pelo decreto estadual N° 12.310, constituída como uma Unidade de Conservação de uso sustentável, com extensão territorial de 30.004,125 hectares que compreende parte dos municípios de Bujari e Rio Branco (MIRANDA, 2019).

Na área urbana de Rio Branco, o Igarapé São Francisco é o maior afluente do rio Acre, com largura média de 15m, seu comprimento na área urbana é de cerca de 20km, sendo que seu curso d'água é o principal responsável pela macrodrenagem local, respondendo por cerca de 70% da drenagem natural (NASCIMENTO; SIMÕES, 2017; GADELHA, 2019).

De acordo com Santi et al. (2012) e IBGE (2019a), o Igarapé São Francisco, apresenta percurso de 115,6 km e densidade de drenagem de 1,37 km/km². É o principal coletor da bacia hidrográfica do sítio urbano de Rio Branco, com exceção do Rio Acre. Suas margens apresentam-se muito degradadas pela ocupação humana, ocasionando assim o processo de erosão e assoreamento. Devido a sua localização no ambiente urbano, este corpo d'água recebe resíduos domésticos provenientes de diversas instalações humanas (SANTI et al., 2012; IBGE, 2019b; GADELHA, 2019).

Alguns estudos demonstram que diversos rios, lagos e açudes podem estar contaminados com agentes tóxicos com potencial mutagênico e carcinogênico, provenientes do descarte de efluentes industriais e domésticos (COSTA et al., 2018). Logo, os monitoramentos ambientais de corpos d'água são cruciais para a conservação dos ecossistemas aquáticos, pois devido a ação de agentes físicos e químicos de poluentes, que podem provocar efeitos genotóxicos e citotóxicos aos seres vivos, desencadeando assim erros informacionais e estruturais às suas células, principalmente ao DNA, sendo estes testes indiretos de grande importância, pois podem servir de direcionamento ao poder público para identificar as áreas potencialmente impactadas e melhorar o processo de tomada de decisões (CASSANEGO et al., 2014; SANTOS et al., 2017; KASPER et al., 2018).

Visando analisar a qualidade da água deste igarapé, este trabalho teve como objetivo averiguar o potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico do Igarapé São Francisco no município de Rio Branco, Acre.

2. MÉTODOS

A área de estudo foi o município de Rio Branco, Acre (Figura 1), onde, foram realizadas duas coletas, a primeira em julho de 2019, período conhecido como verão Amazônico, de baixo regime pluvial e outra em dezembro de 2019, durante a estação chuvosa, conhecida como inverno Amazônico e alto regime pluvial (SANTI et al., 2012).

Foram delimitados 10 pontos de coleta aproximadamente equidistantes (Figura 2), ao longo do percurso urbano do igarapé. As coordenadas geográficas dos pontos são: Ponto 1 (9°56'14.60"S 67°52'48.20"W); Ponto 2 (9°56'13.90"S 67°52'23.40"W); Ponto 3 (9°56'18.20"S 67°51'44.70"W); Ponto 4 (9°56'32.90"S 67°51'1.20"W); Ponto 5 (9°57'1.00"S 67°50'16.00"W); Ponto 6 (9°56'39.30"S 67°49'29.40"W); Ponto 7 (9°57'6.40"S

67°48'48.60"W); Ponto 8 (9°57'32.40"S 67°48'2.70"W); Ponto 9 (9°57'20.40"S 67°47'30.30"W); Ponto 10 (9°57'30.20"S 67°47'10.10"W).

Considerando a importância das nascentes para a manutenção das bacias hidrográficas (GARDON, 2021), realizou-se uma coleta na nascente do igarapé São Francisco, localizado na zona rural do município de Bujari – Acre (figura 1) (9°56'19.2"S 68°09'01.2"W), a fim de averiguar o status ecotoxicológico e a presença de potenciais indicadores da presença de agentes genotóxicos, mutagênicos e citotóxicos no local, sendo assim considerado um uma amostra de controle ambiental. Utilizou-se H₂O mineral como controle negativo (CN) (FAZILI; AHMAD, 2014).

As amostras foram coletadas com auxílio de batiscafo, com cerca de 15cm de profundidade na coluna d'água, armazenadas e transportadas de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011) até o Laboratório de Medicina Tropical da Universidade Federal do Acre.

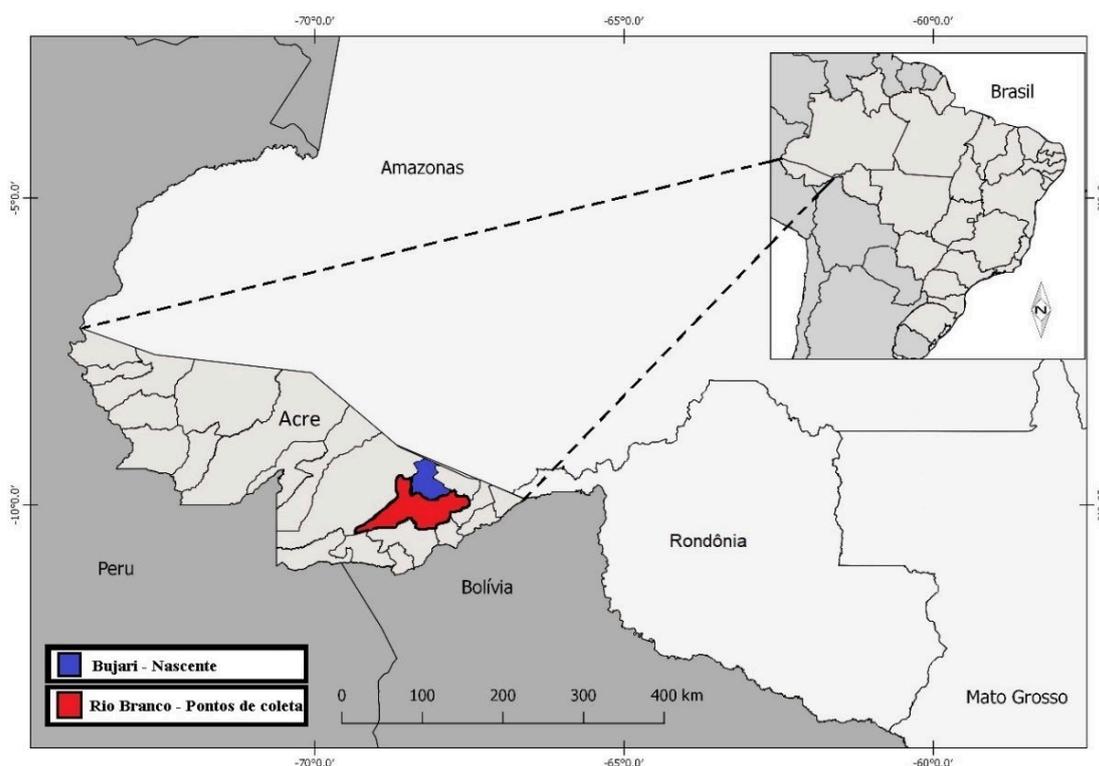


Figura 1. Mapa do Estado do Acre e Brasil, identificando o município da nascente (Bujari) e pontos de coleta (Rio Branco).

Os ensaios de citotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade foram realizados utilizando o sistema *Allium cepa* (LEVAN, 1938), com sementes da variedade Baia periforme, de mesma linhagem, livres de agroquímicos Isla® (Isla Sementes LTDA, Brasil). Para cada

amostra e o controle negativo, foram utilizadas duas placas de petri revestidas com papel filtro, contendo 100 sementes cada. As sementes foram mantidas em ambiente controlado com temperatura de $22\pm 2^\circ\text{C}$, sendo irrigadas uma vez ao dia com água proveniente do ponto de amostra coletado. Após 72h, as porções meristemáticas foram coletadas para a realização dos ensaios.

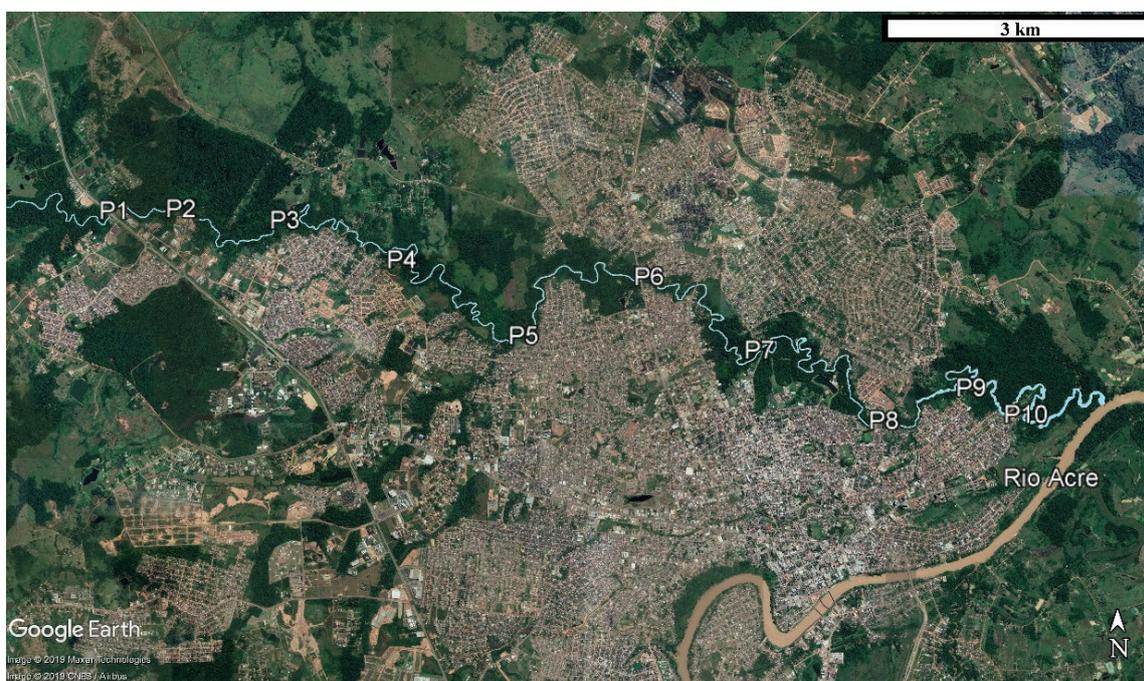


Figura 2. Imagem de satélite identificando os pontos de coleta na área urbana do município de Rio Branco.

Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio do Google Earth, 2019.

Foram confeccionadas 10 lâminas de cada amostra pela técnica de esmagamento corada comorceína acética 2% (PROLO JÚNIOR et al., 2022). As lâminas foram analisadas e fotografadas sob objetivas de 20X e 40X em microscópio Zeiss® modelo AxioScope A1. Após o registro fotográfico, as células foram contadas utilizando o software ImageJ versão 1.52d com auxílio do plugin Cell Counter.

2.1. ANÁLISE CITOTÓXICA

O ensaio citotóxico foi realizado por meio da análise do índice mitótico. Este índice é expresso pela razão entre o número de células em divisão em relação ao número total de

células, sendo essa razão multiplicada por 100. Foram analisadas 500 células por lâmina (10 lâminas), totalizando 5 mil células por amostra (LEME; MARIN-MORALES, 2008).

2.2. ANÁLISE GENOTÓXICA E MUTAGÊNICA

A análise genotóxica foi avaliada pela presença de alterações cromossômicas e nucleares. Foram identificadas as células que contêm aberrações cromossômicas (aderência, poliploidia, perda, C-metáfase, multipolaridade, pontes anafásicas e pontes telofásicas) e anormalidades nucleares (células binucleadas, trinucleadas e núcleos lobulados) (DUSINSKA et al., 2019; PROLO JÚNIOR et al., 2019), sendo utilizadas para este parâmetro, 500 células por lâmina, totalizando 5 mil células por amostra (PALSIKOWSKI et al., 2018).

Para a análise mutagênica foram identificadas células que continham um ou mais micronúcleos, sendo contadas 500 células por lâmina, totalizando 5 mil células por amostra (FISKESJÖ, 1988; MENEGUETTI et al., 2014; ANACLETO et al., 2017; SARGSYAN et al., 2018; PAIXÃO et al., 2019a; PAIXÃO et al., 2019b).

Os valores foram expressos em médias e desvio padrão para cada abordagem. Para a verificação de normalidade dos dados foi realizado um teste Shapiro-Wilk. Para verificar as diferenças entre os tratamentos, foi realizado o teste não paramétrico Kruskal-Wallis com teste *post-hoc* Dunns, comparando os diferentes pontos com o controle negativo e nascente. Para a comparação dos pontos entre as duas estações, foram adotados os testes T-Student e Mann-Whitney de acordo com normalidade. A análise dos dados e a elaboração dos gráficos foi realizada por meio do programa GraphPad Prism® 8.0, sendo considerado significativo quando $p < 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises estão representados na tabela 1, com os valores médios e desvio padrão para o Índice Mitótico (IM), número de Anomalias Cromossômicas e Nucleares (ACN) e Micronúcleos (MN).

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão do Índice Mitótico (IM), Anomalias Cromossômicas e Nucleares (ACN) e Micronúcleos (MN) das coletas do período de Verão (VA) e Inverno Amazônico (IA).

	Período	CN	N	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
IM	VA	6,02	7,82	6,84	10,54	18,06	0,72	5,30	1,60	4,8	2,14	2,62	0,74
		±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	IA	2,45	2,03	4,74	9,37	14,84	0,54***###	1,99	0,50##	2,67	1,22##	1,15	0,25***###
		±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
		4,44	5,54	5,26	3,08	3,20	6,84	4,52	3,68	4,62	3,24	2,84	2,26
		±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1,83	0,81	1,36	1,10##	1,64#	1,03	0,66	1,20	1,41	0,73#	0,68###	0,53***###	
ACN	VA	2,40	2,80	7,70	1,80	3,70	0,0	4,80	1,20	3,30	2,00	2,80	0,60
		±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	IA	1,58	0,92	5,46	1,75	4,16	0,0****	3,58	0,92	2,75	1,49	2,10	0,52#
		±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
		2,60	3,50	4,40	1,70	1,10	5,00	7,30	2,00	3,70	2,20	2,30	1,20
		±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1,71	3,80	2,17	1,23	0,99	1,63	2,63*#	0,94	2,58	1,55	1,34	0,63	
MN	VA	2,40	1,70	7,80	10,40	9,30	0,80	3,30	1,60	3,60	1,60	2,00	0,90
		±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	IA	1,43	1,06	4,47*##	4,77****	2,83*###	0,42	0,95	1,07	1,65	0,96	1,25	0,74
		±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
		3,10	3,00	5,50	7,40	5,10	1,80	3,50	2,00	3,50	1,90	2,50	3,50
		±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1,60	0,66	2,72	2,68*#	2,96	1,40	0,85	1,16	1,78	0,74	1,27	1,51	

Fonte: *representa diferença significativa entre os pontos e o Controle Negativo (CN), enquanto o # a diferença entre a Nascente (N) e os Pontos. * ou # p<0.05; ** ou ## p<0.01, *** e ### p<0.001 (Kruskal-Wallis, pós-teste de Dunns).

Verificou-se que quanto ao IM, tanto no período de verão e inverno amazônico, não houve diferença estatística encontrada nos valores do CN e a nascente, demonstrando que quanto a esse parâmetro, a água proveniente desse ponto, não influenciou no crescimento e desenvolvimento das células.

Durante o verão, estação com menor pluviosidade (julho/2019, 95mm) (INMET, 2019), o IM dos pontos 4 e 10, apresentaram valores significativamente menores (p<0,001) que o CN (6,02±2,45), sendo que quando se comparou com o resultado da nascente (7,82±2,03), os pontos que tiveram significância para redução do IM foram 4 (p<0,001), 6 e 8 (p<0,01) e 10 (p<0,001).

No inverno (dezembro/2019, 452mm) (INMET, 2019), o ponto 10 apresentou valor abaixo do CN (4,44±1,83 p<0,05) e da nascente (5,54±0,81 p<0,001), já os pontos 2 (p<0,01), 3 e 8 (p<0,05) e 9 (p<0,001) apresentaram índices mitóticos menores somente em relação à nascente.

É importante ressaltar que as maiores diferenças encontradas foram em relação aos pontos e a amostra da nascente, o que demonstra que ao longo do percurso do igarapé,

conforme ele atravessa o perímetro urbano, ele sofre influência antrópica, que é acentuada no período chuvoso, em que devido a ocupação humana perto das suas margens, acaba aumentando a quantidade de dejetos, lixos e esgotos lançados no igarapé.

Alterações do índice mitótico podem ser ocasionadas pela presença de agentes com ação citotóxica, sendo que uma diminuição nesse índice pode ser ocasionada pela presença de agentes químicos ou físicos dificultando assim o desenvolvimento e a divisão celular, enquanto aumentos podem levar a uma multiplicação desordenada e assim formar tecidos tumorais (MACEDA et al., 2015; COSTA et al., 2018). Peron et al. (2009), destacam que variações do índice mitótico e alterações do material genético podem desencadear quadros graves e irreversíveis à saúde animal ou humana. Portanto este é um parâmetro importante para avaliar a citotoxicidade de amostras de água, se tornando assim uma ferramenta essencial para monitoramento ambiental (GOMES et al., 2015).

Em um estudo de Ramos et al. (2020), foram encontrados índices mitóticos maiores durante a estação de seca, resultado diferentes do presente estudo, que encontrou um aumento em 3 pontos e uma diminuição em 4 deles.

Ferreira et al. (2012) não encontraram diferenças significativas nos índices mitóticos entre o controle e amostras de água dos ribeirões Varginha e Tabatinga, durante o período chuvoso, provavelmente pela diluição ou dispersão de potenciais agentes citotóxicos.

Düsman et al. (2014) ao analisarem a água do rio Quatorze, Francisco Beltrão, estado do Paraná, em mês com alta taxa de precipitação, verificaram que 3 dos 4 pontos, não apresentaram diferenças significativas quanto a citotoxicidade, resultado que se assemelha ao presente estudo, que somente um ponto, dentre os 11, apresentou um índice mitótico que se caracteriza como citotóxico.

Dentre os pontos que apresentaram potencial citotóxico, destaca-se o ponto 10, próximo da foz do igarapé, que apresentou baixo índice mitótico tanto na estação seca, quanto na chuvosa, evidenciando-se assim um potencial citotóxico preocupante para a biota ali presente. Este resultado pode ser explicado devido ser o último ponto de coleta, que recebe toda a carga de efluentes domésticos que são carregados pelos sedimentos e pela água ao longo do igarapé, que então será descarregado no rio Acre, principal rio do município de Rio Branco, que compõe a sub-bacia Rio Acre, que está inserida na formação da bacia hidrográfica do rio Purus (PEREIRA et al., 2016).

O teste de genotoxicidade, revelou a presença de anormalidades cromossômicas e nucleares dos tipos pontes anafásicas, pontes telofásicas, C-metáfase, aderência, anáfases com cromossomos atrasados, quebras cromossômicas e brotamentos (Figura 3).

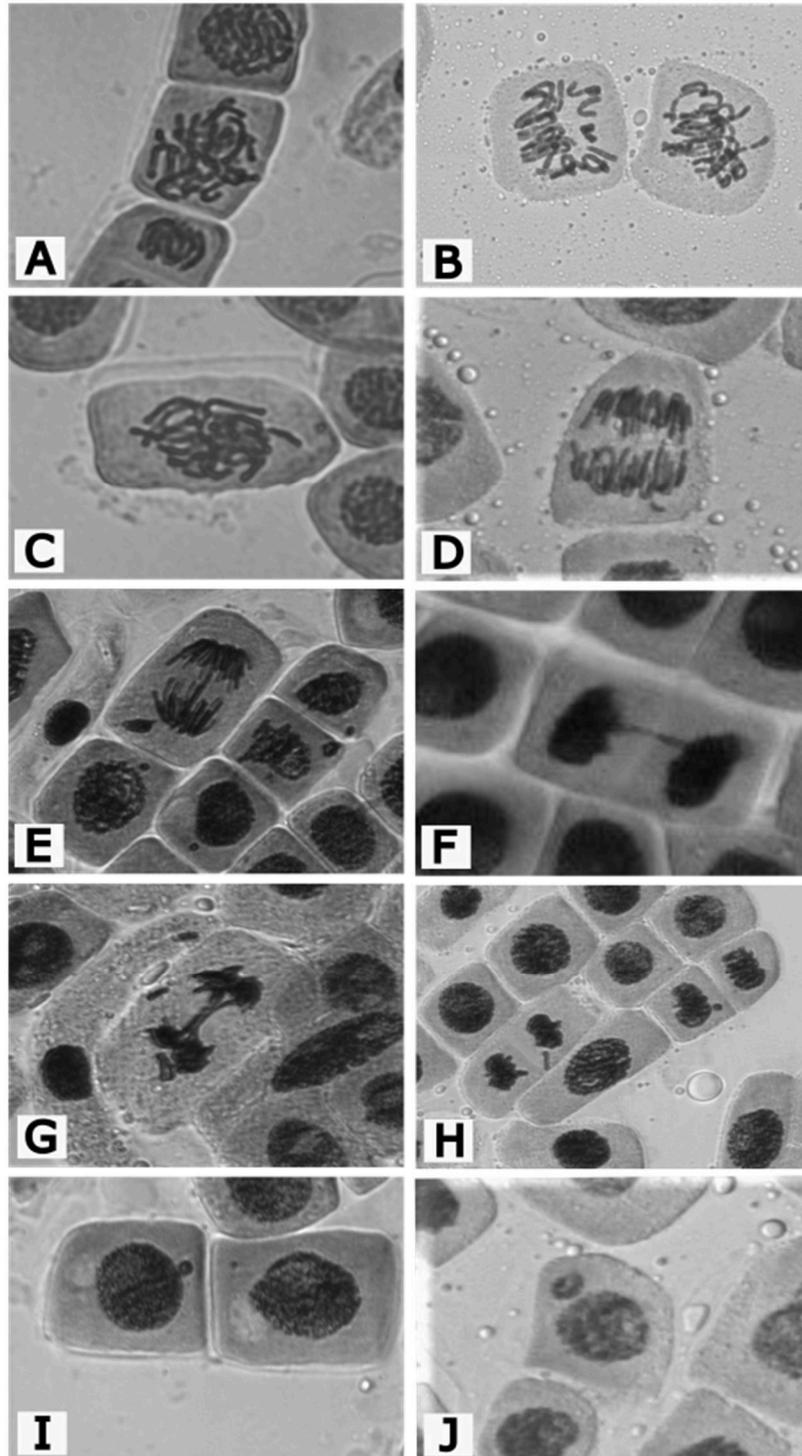


Figura 3. Anormalidades cromossômicas e nucleares observadas em tecido meristemático obtidos a partir de sementes de *A. cepa* e submetidos a amostras de água do igarapé São Francisco, Rio Branco – Acre.

Legenda: A. C-mitose; B. Metáfase precoce; C. Metáfase com cromossomo vagante; D. Anáfase com cromossomo vagante; E. Ponte anafásica com micronúcleo; F. Ponte telofásica; G. Ponte telofásica com cromossomo isolado; H. Telófase tardia com cromossomo isolado; I. Brotamento nuclear; J. Micronúcleo.

O resultado da avaliação genotóxica, constatou que apesar de presentes, a quantidade de anormalidades encontradas não diferiu estatisticamente do CN e a nascente nos dois períodos de coleta.

No verão, o ponto 4 ($0,0 \pm 0,0$) apresentou valores médios de ACN significativamente menores em relação ao CN ($2,40 \pm 1,58$ $p < 0,05$) e nascente ($2,80 \pm 0,92$ $p < 0,001$), enquanto o ponto 10 apresentou menor valor significativo somente em relação a nascente ($p < 0,05$). Esses valores dos pontos 4 e 10, possivelmente se devem aos baixos índices mitóticos obtidos por esses dois pontos na avaliação citotóxica, uma vez que para surgimentos de caracteres genotóxicos, é necessário que a célula realize as etapas de duplicação do DNA e/ou o processo mitótico. No inverno, o único ponto que apresentou valores significativamente maiores do que o CN ($2,60 \pm 1,71$) e a nascente ($3,50 \pm 3,80$) foi o ponto 5 ($7,30 \pm 2,63$ $p < 0,05$).

Em um estudo nos rios Fichta e Minas Gerais, próximo a cidade de Ubatuba, Minas Gerais, Silva et al. (2004) não detectaram valores de anomalias cromossômicas em relação ao controle durante o período chuvoso, resultado este semelhante ao presente estudo, que somente encontrou um ponto 5 com valores maiores significativos. Resultado semelhante foi encontrado por Ferreira et al. (2012), que não encontraram diferenças significativas de alterações cromossômicas amostras de água dos ribeirões Varginha e Tabatinga, durante o período chuvoso.

Braga e Lopes (2014) em um estudo realizado no rio Subaé, município de Humildes, estado da Bahia, avaliaram o potencial citotóxico e genotóxico em três pontos, constatando todos apresentaram anormalidades cromossômicas e redução do índice mitótico significativas, destacam ainda que efluentes liberados na água, podem conter substâncias com potencial de causar danos à biota não aparentes inicialmente, todavia podem levar à quadros de cronicidade, diminuindo a taxa de sobrevivência, danos ao material genético, neoplasias, danos histológicos, que desencadeiam consequências graves à sobrevivência dos organismos.

Gomes et al. (2015) afirmam que mesmo que alguns pontos apresentem amostras com potencial citotóxico, não necessariamente estes estarão associados com a ocorrência de caracteres genotóxicos. Uma vez que agentes que causam alterações metabólicas que influenciam a divisão celular, podem não causar danos ao DNA, fato este que foi verificado no presente estudo, pois nenhum dos pontos que apresentaram potencial citotóxico em relação ao controle, independente da estação, apresentaram potencial genotóxico.

A avaliação mutagênica não verificou diferença estatística no número médio de micronúcleos entre o CN e a nascente nos dois períodos de coleta. No Verão, verificou-se que os pontos 1 ($7,80 \pm 4,47$), 2 ($10,40 \pm 4,77$) e 3 ($9,30 \pm 2,83$), apresentaram um número maior de micronúcleos comparados ao CN ($2,40 \pm 1,43$ - P1 $p < 0,05$; P2 $p < 0,01$ e P3 $p < 0,05$) e a nascente ($1,70 \pm 1,06$ - P1 $p < 0,01$; P2 $p < 0,001$; P3 $p < 0,001$). No período de inverno, somente o ponto 2 ($7,40 \pm 2,68$) apresentou número significativamente maior de micronúcleos em relação ao CN ($3,10 \pm 1,60$ $p < 0,05$) e nascente ($3,00 \pm 0,66$ $p < 0,05$).

Em um estudo realizado Maschio (2009) no Rio Preto, cidade de São José do Rio Preto, estado de São Paulo, foi encontrado um aumento significativo no número de micronúcleos em meristemas de *A. cepa*, durante o período de baixa pluviosidade (estação seca), possivelmente pela maior concentração de substâncias oriundas de despejo direto de esgoto urbano, em comparação ao período de alta pluviosidade (estação chuvosa), fato este que também encontrado no presente estudo, em que 3 pontos apresentaram alterações significativas no período de seca, em comparação ao período chuvoso, que foi encontrado somente 1 ponto.

Freitas et al. (2017), destacam que micronúcleos são formados por fragmentos ou cromossomos inteiros, que se localizam no citoplasma celular, próximo ao núcleo, sendo estes de origem clastogênica (quebras cromossômicas), em que agentes clastogênicos atuam à nível de DNA ou aneugênica (cromossomos inteiros), onde principalmente proteínas do fuso são afetados por agentes aneugênicos, sendo observados na figura 3 (E e J).

Os resultados do IM, ACN e MN das duas estações foram comparados entre si como pode ser observado na figura 4.

Quando avaliados os valores médios do índice mitótico entre as estações, verificou-se que no período chuvoso houve uma diminuição na nascente ($p < 0,001$), ponto 1 ($p < 0,05$), ponto 3 ($p < 0,001$) em relação ao período de seca, provavelmente devido a uma maior diluição de possíveis agentes citotóxicos. Todavia, os pontos 4 ($p < 0,001$), ponto 6 ($p < 0,001$), ponto 8 ($p < 0,001$) e ponto 10 ($p < 0,001$) obtiveram índices maiores no período chuvoso, possivelmente por estarem em uma região do igarapé com pouca quantidade de mata ciliar e maior ocupação de residências nas suas margens.

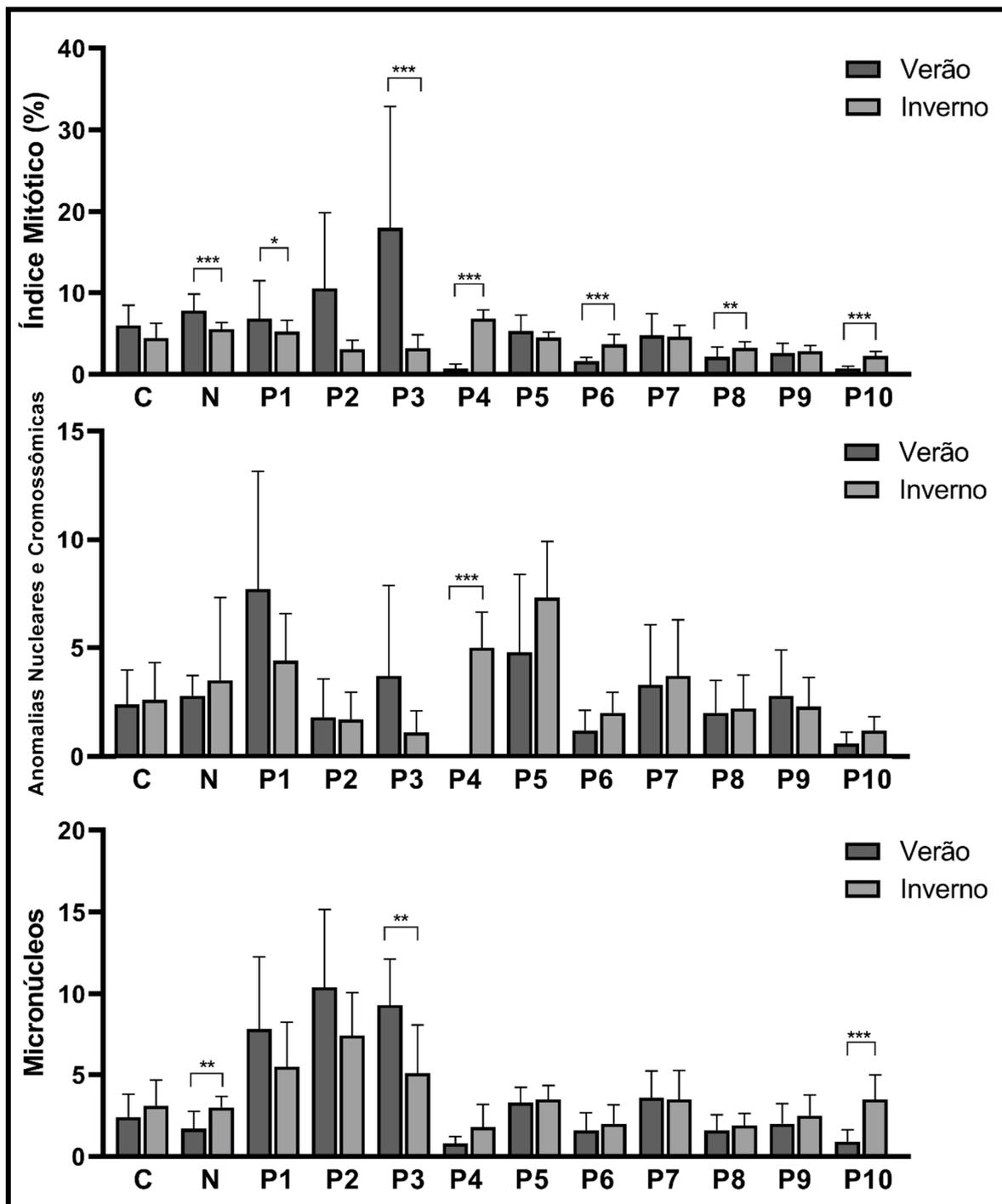


Figura 4. Comparação dos Índices mitóticos, Anomalias nucleares e cromossômicas e Micronúcleos, entre os períodos de Verão (junho) e Inverno Amazônico (dezembro).
Legenda: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ e *** $p < 0.001$, teste T-Student/Mann-Whitney.

Faria et al. (2017), em um estudo do potencial de citotoxicidade no rio Jaru, estado de Rondônia, não encontraram diferença significativa no índice mitótico quando comparados período de seca e chuvosa, resultado este que também foi encontrado em 4 dos 11 pontos de coleta analisados do presente trabalho.

Somente o ponto 4 diferiu quanto a quantidade de anomalias cromossômicas e nucleares ($p < 0,001$) quando comparados os dois períodos de coleta, sendo que durante o período chuvoso, este obteve um valor médio maior. Contudo essa diferença foi devida não ter sido encontrada nenhuma ocorrência de anomalias no período de seca, enquanto esse valor no período chuvoso foi de em média de $5,00 \pm 1,63$, sendo assim significativo.

Os valores de micronúcleos foram maiores no período de chuvoso na nascente ($p < 0,01$) e no ponto 10 ($p < 0,001$) e menores no ponto 3 ($p < 0,01$). O aumento desses valores na nascente pode ter sido ocasionado ao acaso ou pelo excesso de sedimentos angariados do entorno, todavia, esses valores quando comparados a seus respectivos controles, não apresentaram diferenças significativas entre seus valores médios. Em relação ao ponto 10, durante o período chuvoso, muitas residências localizadas nas margens do igarapé são invadidas pela água, e com isso alguns agentes são lançados nele. Dados semelhantes foram encontrados por Batista et al. (2016), que averiguaram o potencial genotóxico e mutagênico de quatro pontos do rio Corrente, município de Pedro II, estado do Piauí, nas estações de seca e chuvosa, sendo que houve um aumento significativo de todos os pontos, exceto do ponto 4, tanto do potencial genotóxico, quanto mutagênico, nas duas estações. Foi verificado também que os pontos 1, 2 e 3 apresentavam esgoto doméstico nas redondezas, o que não foi verificado no ponto 4, justificando o resultado da avaliação.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo, demonstram que existem agentes químicos em alguns pontos investigados do igarapé São Francisco, que podem ser de origem doméstica ou industrial, com potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico. Esses agentes causaram alterações cromossômicas, nucleares e variação na multiplicação celular, evidenciando que podem estar afetando o ciclo celular e metabolismo dos meristemas de *A. cepa*, e com isso pode estar atuando na biota presente no igarapé.

Portanto, isso demonstra que existe uma necessidade de novos estudos acerca de sazonalidade, ampliação dos pontos investigados e identificação dos agentes químicos, nos locais estudados. É necessário um monitoramento ambiental para estabelecer medidas de proteção, recuperação e mitigação das condições deste Igarapé, para garantir uma boa qualidade da água a este importante afluente do rio Acre.

6. REFERÊNCIAS

ANACLETO, L.R.; ROBERTO. M.M., MARIN-MORALES, M.A. Toxicological effects of the waste of the sugarcane industry, used as agricultural fertilizer, on the test system *Allium cepa*. **Chemosphere**, v. 173, p. 31-42, 2017.

BATISTA, N.J.C.; CAVALCANTE, A. A.C. M.; OLIVEIRA, M. G.; MEDEIROS, E.C.; MACHADO, J. L.; EVANGELISTA, S. R.; et al. Genotoxic and mutagenic evaluation of water samples from a river under the influence of different anthropogenic activities. **Chemosphere**, v. 164, p. 134-141, 2016.

BRAGA, J.R.M.; LOPES, D.M. Citotoxicidade e genotoxicidade da água do rio Subaé (Humildes, Bahia, Brasil) usando *Allium cepa* L. como bioindicador. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p. 130-140, 2015.

CASSANEGO, M.B.B.; COSTA, G.M.; SASAMORI, M.H. ENDRES JÚNIOR, D.; PETRY, C.T. DROSTE, A. The *Tradescantia pallida* var. *purpurea* active bioassay for water monitoring: evaluating and comparing methodological conditions. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 3, p. 424-433, 2014.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas** / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 326p. 2011.

COSTA, V.M.; MONTEIRO, C.A.B.; BATISTA, N.J. Avaliação genotóxica e mutagênica de amostras de efluentes tratados por lagoas de estabilização em Teresina-Piauí. **Revista DAE**, v. 66 (209): p. 57-72, 2018.

DUSINSKA, M.; MARIUSSEN, E.; RUNDÉN-PRAN, E.; HUDECOVA, A.M.; ELJE, E.; KAZIMIROVA, A.; et al. In Vitro Approaches for Assessing the Genotoxicity of Nanomaterials. **Methods in molecular biology**, v. 1894, p. 83–122, 2019

DÜSMAN, E.; LUZZA, M.; SAVEGNAGO, L.; LAUXEN, D.; VICENTINI, V. E. P.; TONIAL, I. B.; et al. *Allium cepa* L. as a bioindicator to measure cytotoxicity of surface water of the Quatorze River, located in Francisco Beltrão, Paraná. **Braz. Environmental Monitoring Assessment**, v. 186, p. 1793-1800, 2014.

FARIA, M. L.C.; COSTA, F. M.; SILVA, F.C.; BOSSO, R. M.V. Potencial de citotoxicidade e mutagenicidade das águas do rio Jaru, estado de Rondônia, em células de *Allium cepa*. **Gaia Scientia**, v. 11, n. 2, 2017.

FAZILI; N.A.; AHMAD, M. In vitro analysis of the phytotoxic and genotoxic potential of Aligarh wastewater and Mathura refinery wastewater. **Toxicology Reports**, v. 1, p. 981-986, 2014.

FERREIRA, C.F.; FRUEH, A.; DUSMAN, E.; HECK, M.C., VICENTINI, V.E.P. Avaliação da citotoxicidade das águas dos ribeirões Varginha (Califórnia-PR) e Tabatinga (Mandaguari-PR), em *Allium cepa* L.; SaBios: **Revista de Saúde e Biologia**, v.7, n.2, p.46-54, 2012.

FISKEJÖ, G. The *Allium* test – an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions. **Mutation Research**, v. 197, p. 243-260, 1988.

FREITAS, L.A.D.; RAMBO, C.L.; FRANSCESCON, F.; BARROS, A.F.P.D.; LUCCA, G.D.S.D.; SIEBEL, A.M.; et al. Coal extraction causes sediment toxicity in aquatic environments in Santa Catarina, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12(4): p. 591–604, 2017.

GADELHA, A. Igarapé São Francisco está com toda extensão poluída na área urbana de Rio Branco. **G1**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2019/09/05/igarapesao-francisco-esta-com-toda-extensao-poluida-na-area-urbana-de-rio-branco.ghtml>>, acesso em 13/09/2019.

GARDON, F.R. Land Prioritization: An Approach to the Effective Environmental Planning of Hydrographic Basins. **Environmental Management**, v. 67, p. 623–631, 2021.

GOMES, J.V.; TEIXEIRA, J.T.S.; LIMA, V.M.; BORBA, H.R.. Induction of cytotoxic and genotoxic effects of Guandu River waters in the *Allium cepa* system. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p. 48-58, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama de Rio Branco**. 2019a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/rio-branco/panorama>>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019b. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=120040>>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2020.

KASPER, N.; BARCELOS, R.P.; MATTOS, M.; BARONI, S. Impact of anthropic activities on eukaryotic cells in cytotoxic test. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 3, 2018.

LEME, D.M.; MARIN-MORALES, M.A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v. 692, p. 71-81, 2009.

LEVAN, A. The effect of colchicines on root mitosis of *Allium cepa*. **Hereditas**, v. 24, p. 471–486, 1938.

MACEDA, E B.; GRISOLIA, A.B.; VAINI, J.O.; CANDIDO, L.S. Uso de biomarcadores para monitoramento das águas do Córrego Arara no município de Rio Brillhante, MS, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p.117-129, 2015.

MASCHIO, L.R. **Avaliação do potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico das águas do rio Preto na área de influência da região de São José do Rio Preto/SP**. Tese (Doutorado em Genética). Universidade Estadual Paulista, 2009.

MENEGUETTI, D.U.O.; LIMA, R.A.; SILVA, J.B.; SILVA, R.P.; PAGOTTO, R.C.; FACUNDO, V.A. Análise Citotóxica e Mutagênica do Extrato Aquoso de *Maytenus guyanensis* Klotzsch Ex Reissek (Celastraceae) Chichuá (Xixuá) Amazônico. **Ciência e Natura**, v.36, n. 3, p. 301-309, 2014.

MIRANDA, K. **Meio Ambiente dá posse a 50 conselheiros das APAs Lago do Amapá e Igarapé São Francisco**. 2019. Disponível em: <<https://agencia.ac.gov.br/meio-ambienteda>>

posse-a-50-conselheiros-das-apas-lago-do-amapa-e-igarape-sao-francisco>. Acesso em: 03 de março de 2020.

NASCIMENTO, R. R.; SIMÕES, G. F. Avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa gravitacionais em margens de cursos d'água da cidade de Rio Branco (AC). **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 233–249, 2017.

PAIXÃO, H.C.S.; PROLO JÚNIOR, S.L.; ZAN, R.A.; SILVA, R.P.M.; MENEGUETTI, D.U.O. **A utilização do sistema teste de *Allium cepa* para análise mutagênica de rios da Amazônia**. In: Ciência, Inovação e Tecnologia na Amazônia. 1 ed.: Stricto Sensu Editora, 2019a, v.1, p. 163-175.

PAIXÃO, H.C.S.; PROLO JÚNIOR, S.L.; SILVESTRE, L.N.S.; SILVA, R.P.M.; MENEGUETTI, D.U.O. **Teste de micronúcleo e suas diferentes aplicabilidades para análise da genotoxicidade**. In: Ciência da Saúde na Amazônia Ocidental. 2 ed.: Stricto Sensu Editora, 2019b, p. 117-140.

PALSIKOWSKI, P.A.; ROBERTO, M.M.; SOMMAGGIO, L.R.D.; SOUZA, P.M.S.; MORALES, A.R.; MARIN-MORALES, M.A. Ecotoxicity Evaluation of the Biodegradable Polymers PLA, PBAT and its Blends Using *Allium cepa* as Test Organism. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, p. 938–945, 2017.

PEREIRA, D.M.; SZLAFSZTEIN, C.F.; ARAÚJO, F.A. Avaliação de risco de desastres na Bacia Hidrográfica do Rio Purus (Brasil) com base em índices compostos. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**, v. 12, n. 17, p.167–90, 2016.

PERON, A.P.; CANESIN, E. A.; CARDOSO, C.M.V. Potencial mutagênico das águas do Rio Pirapó (Apucarana, Paraná, Brasil) em células meristemáticas de raiz de *Allium cepa* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 2, p. 155-159, 2009.

PROLO JÚNIOR, S. L.; PAIXÃO, H.C.S.; SILVESTRE, L.N.S.; SILVA, R.P.M.; MENEGUETTI, D.U.O. **Análise Genotóxica: Métodos e Aplicações**. In: Ciência, Inovação e Tecnologia na Amazônia. 1 ed.: Stricto Sensu Editora, 2019, v.1, p. 149-162.

PROLO JÚNIOR, S.L.; PAIXÃO, H.C.S.; SILVA, T.L.; SILVA, F.C.; FURTADO, C.D.; SILVA, R.P.M.; MENEGUETTI, D.U.O., 2021. Methodological adaptation for genotoxic and mutagenic evaluation using the *Allium cepa* test. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 9, n.1, p. 294-297, 2022.

RAMOS, L.P.N.; LEITE, D.M.; MACEDO, W.A.; FARIAS, C.B.M.; OLIVEIRA, A.S.; DAHMER, N. et al. Evaluation of the cytotoxic and genotoxic effect of *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae) root cells after exposure in water samples of five lakes of Alta Floresta, State of Mato Grosso. **Revista Ambiente Água**, v. 15, n. 1, p. 591-604, 2020.

SANTI, G.M.; FURTADO, C.M.; MENEZES, R.S.; KEPPELER, E.C.; et al. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecologia Aplicada**, v. 11, n. 1, 2012.

SANTOS, C.S.; JÚNIOR, D.S.S; OLIVEIRA, J.S.; CASTRO, K.M.S. A; FEITOSA, M.B. J.; PANTALEÃO, S.M.; et al. Potencial mutagênico de um afluente do Rio Vaza-Barris (SE), por meio do sistema-teste micronúcleo (TMN) em molusco bivalve. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, p. 1-6, 2017.

SARGSYANA, A.; SIMONYAN, A.; HOVHANNISYAN, G.; ARAKELYAN, M.; AROUTIOUNIAN, R. Application of the comet assay, micronucleus test and global DNA methylation analysis in *Darevskia* lizards as a sentinel organism for genotoxic monitoring of soil pollution. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 835, p. 1-8, 2018.

SILVA, M.F.P.T.B; FERRARI, G. P.; DE TOLEDO, F.; DA ROCHA, T.C.L.M.C.; VICENTINI, V.E.P Mutagenic effect of fresh water (well, rivers Fichta and Minas Gerais, close to the town of Ubatã, Paraná, Brasil) in the animal test system. **Acta Scientiarum**, v.26, n. 1, p.101-105, 2004.

FRACIONAMENTO DE ÁCIDOS GRAXOS DE TALL OIL

Monis Neves Baptista Manuel¹

1. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil.

RESUMO

O contínuo esgotamento dos combustíveis fósseis, aliado ao seu impacto negativo sobre o meio ambiente, tem exigido a busca por fontes alternativas de energia com menor pegada ambiental. O diesel verde, derivado principalmente de óleos e gorduras, tem recebido muita atenção por ser uma fonte de energia limpa, renovável e biodegradável. Nesse sentido, o *tall oil* bruto (CTO), terceiro maior subproduto químico da indústria de papel e celulose, revela-se como uma matéria-prima ideal para a produção de hidrocarbonetos renováveis na faixa do óleo diesel. O CTO pode ser destilado para se obter ácidos graxos e ácidos resínicos, e o mercado global para os destilados de CTO (DCTO) deverá atingir mais US\$ 1 bilhão em 2030. A conversão de ácidos ou ésteres de ácidos graxos em hidrocarbonetos requer etapas de hidrogenação de ligações duplas da cadeia hidrocarbônica e de desoxigenação de grupos funcionais porque a tolerância por oxigênio nas especificações técnicas desses combustíveis é muito baixa. Esse trabalho teve por objetivo caracterizar amostras de CTO de origem industrial em relação aos seus índices de acidez e saponificação, viscosidade cinemática e composição em ácidos graxos e ácidos resínicos. Os índices de acidez e de saponificação do CTO obtidos experimentalmente foram de 168,1 mg KOH/g e 186,7 mg KOH/g e sua viscosidade cinemática (40°C) foi de 200 Cp. Além disso, foi constatado que 90% dos ácidos graxos do CTO eram insaturados, e 10% saturados. Os componentes majoritários foram os ácidos oleico (36%), linoleico (16%) e palmítico (7%), além dos ácidos abiético, desidroabiético, palútrico e neoabiético como principais constituintes dos ácidos resínicos. O CTO foi fracionado em seus principais constituintes por cromatografia de adsorção em coluna.

Palavras-chave: *Tall oil* bruto, Fracionamento, Adsorção e Destilação.

ABSTRACT

The continuous depletion of fossil fuels, coupled with their negative impact on the environment, has demanded the search for alternative energy sources with a lower environmental footprint. Green diesel, primarily derived from oils and fats, has garnered significant attention as a clean, renewable, and biodegradable energy source. Crude tall oil (CTO), the third-largest chemical byproduct of the pulp and paper industry, is an ideal feedstock for producing renewable hydrocarbons in the diesel oil range. CTO can be distilled to obtain fatty acids and rosin acids. The global market for CTO distillates (DCTO) is expected to exceed \$1 billion by 2030. The conversion of fatty acids or fatty acid esters into

hydrocarbons requires steps involving the hydrogenation of double bonds in the hydrocarbon chain and the deoxygenation of functional groups because the tolerance for oxygen in the technical specifications of these fuels is very low. This work aimed to characterize industrial CTO samples with respect to their acidity and saponification indices, kinematic viscosity, and composition of fatty acids and rosin acids. The experimentally obtained acidity and saponification indices of CTO were 168.1 mg KOH/g and 186.7 mg KOH/g, and its kinematic viscosity (at 40°C) was 200 cP. Furthermore, it was found that 90% of the fatty acids in CTO were unsaturated, while 10% were saturated. The major components included oleic acid (36%), linoleic acid (16%), and palmitic acid (7%), along with abietic, dehydroabietic, palustric, and neoabietic acids as the main constituents of rosin acids. CTO was fractionated into its major constituents through column adsorption chromatography.

Keywords: *Crude tall oil*, Fractionation, Adsorption and Distillation.

1. INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) têm e continuam a desempenhar um papel dominante nos sistemas globais de energia (ZULA et al., 2022). No entanto, seu uso indiscriminado acarreta impactos ambientais, econômicos e sociais que nos levaram a fenômenos como o aquecimento global, a ocorrência de chuvas ácidas e a deterioração da qualidade do ar (ZULA et al., 2022). Com o agravamento desses problemas por todo o planeta, a atenção ao desenvolvimento de materiais que sejam ecologicamente corretos vem aumentando significativamente ao longo das últimas décadas. Este interesse também é motivado por fatores como a instabilidade dos preços do petróleo, seu impacto sobre a economia e a poluição ambiental associada à emissão de gases do efeito estufa, que contribuem para o agravamento das mudanças climáticas. Por outro lado, as projeções relativas ao crescimento populacional e ao grande aumento da demanda energética a ele associado estabelecem um cenário bastante comprometedor, para o qual faz-se necessário encontrar alternativas capazes de satisfazer as demandas atuais e futuras (KUMAR et al., 2014; ARUN et al., 2015; VOLONTÉRIO et al., 2017; ZULA et al., 2022;). Nesse sentido, cresce o interesse em utilizar matérias-primas renováveis que não sejam aproveitadas pela indústria de alimentos, cuja exploração energética gere menores índices de impacto ambiental (LEE et al., 2018).

Fontes de base biológica, como materiais oleaginosos e materiais lignocelulósicos, representam recursos sustentáveis de alta densidade energética que podem ser convertidos eficientemente em biocombustíveis líquidos. Várias rotas encontram-se em investigação para esse fim, visando, por exemplo, converter os ácidos graxos de óleos e gorduras em

hidrocarbonetos compatíveis com as especificações exigidas por motores do ciclo diesel (LEE et al., 2018; CALDERÓN et al., 2020).

Os reflorestamentos são fonte primária de materiais sustentáveis e renováveis dos quais a sociedade humana depende diariamente. Seus derivados são comumente utilizados como fontes de energia, de materiais, de biopolímeros e de biocombustíveis para o setor de transporte, estes com a missão de reduzir nossa dependência sobre combustíveis fósseis e assim auxiliar na preservação do meio ambiente (ZHU et al., 2014; WHITE et al., 2011). O tall oil (CTO) é um óleo não comestível derivado de madeira de pinho (*Pinus* sp.) (VEVERE et al., 2020). Trata-se do produto secundário da polpação kraft de coníferas que são cultivadas em reflorestamentos industriais para atender à demanda por madeira do setor de papel e celulose (POLA et al., 2021). Esse termo se originou da palavra sueca tall-olja, que significa óleo de pinho ou óleo de pinheiro. Devido a sua composição química, trata-se de uma fonte de produtos químicos variados como ácidos graxos e ácidos resínicos de grande importância comercial (VEVERE et al., 2020; POLA et al., 2021). Atualmente, o CTO é um coproduto comercialmente viável do processo de polpação kraft (ARO e FATEHI, 2017). Sua produção global é estimada em 1,85 milhão de toneladas por ano, com potencial para atingir 2,6 milhões de toneladas por ano até 2030 (ARYAN; KRAFT, 2021). Atualmente, Finlândia, Estados Unidos, países escandinavos, Rússia e China são os principais produtores de CTO (ARO; FATEHI, 2017; ARYAN; KRAFT, 2021).

No Brasil, a produção de celulose kraft proveniente do pinus gira em torno de 2,3 milhões de toneladas por ano, onde são extraídos cerca de 30-40 kg/t de CTO (BOSSARDI, 2014). O principal desafio para a produção de hidrocarbonetos renováveis que sejam compatíveis com os combustíveis derivados do petróleo é a remoção do oxigênio, que muitas vezes está presente em quantidades significativas. Por exemplo, a conversão de ácidos ou ésteres graxos em hidrocarbonetos requer uma etapa de desoxigenação porque a tolerância por oxigênio nas especificações técnicas desses combustíveis é muito baixa (KUBICKA et al., 2009; KONWAR et al., 2020). Reações como hidrotreatamento e hidrocrackeamento têm sido extensivamente relatadas para esse tipo de aplicação (ANTHONYKUTTY et al., 2015; KONWAR et al., 2020). A via de desoxigenação inclui o processamento de ácidos graxos a 300-450°C na presença de um catalisador heterogêneo sob pressões parciais de H₂ entre 1 e 15 MPa (KONWAR et al., 2020). A etapa inicial do processo é a hidrogenação, que satura as cadeias de ácidos graxos olefínicos e é seguida por reações de hidrodessoxigenação (HDO), que promovem hidrodesscarbonilação e/ou hidrodesscarboxilação para produzir uma

mistura de hidrocarbonetos parafínicos com comprimento de cadeia entre C15 e C18 (ANTHONYKUTTY et al., 2015; KONWAR et al., 2020).

O processo de hidrotratamento é tipicamente catalisado por catalisadores metálicos suportados como NiMo/SiO₂ (ZANG et al., 2010), NiMo/Al₂O₃ (KUBIČKA; KALUŽA, 2010; KUMAR et al., 2019), NiMo/zeólita (HU et al., 2021), MoCo/SiO₂ (KOKLIUKHIN et al., 2018), MoCo/Al₂O₃ (SENOL et al., 2005) e MoCo/zeólita (HACHEMI et al., 2017; XIAO et al., 2021). Na reação de HDO, a cadeia do hidrocarboneto permanece com o mesmo comprimento do ácido graxo que o gerou e o hidrogênio reage com o oxigênio quimicamente ligado para formar água (DING et al., 2020). Catalisadores convencionais de hidrotratamento, contendo Pd ou Cu incorporados a diferentes suportes, têm sido relatados como os mais plausíveis para HDO, onde a atividade e a seletividade são influenciadas tanto pela natureza do metal quanto pelo tipo de suporte (ANTHONYKUTTY et al., 2015; DING et al., 2020; KONWAR et al., 2020). O TO bruto (ou CTO, para crude tall oil) é um líquido marrom escuro viscoso e pegajoso, que tem cheiro forte e pungente anteriormente ao refino (ARO, 2017). Esse produto tem na sua composição química 38 a 53% de ácidos graxos, 38 a 53% de ácidos resínicos e 6,5 a 20% de materiais insaponificáveis ou neutros (20 MIKULEC et al., 2012; ARO, 2017). A composição do CTO depende do tipo de matéria-prima, do microclima da região onde foi produzido, da tecnologia de processamento e do período do ano em que a coleta foi realizada (SALES, 2007).

Globalmente, as regiões mais frias do planeta, onde há maior abundância de florestas de coníferas, principal matéria-prima para produzir CTO, encontram-se na Europa e na América do Norte. Quase metade do CTO é produzido por países europeus, tendo a Finlândia e a França como maiores produtores, enquanto os Estados Unidos e o Canadá se destacam nas Américas (ANTILA et al., 1962; ARSHADI et al., 2018; ARYAN E KRAFT, 2021).

2. MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO TALL OIL

2.1.1. Índice de acidez

A determinação do índice de acidez foi feita segundo a norma ASTM D465-15(2020). A metodologia consistiu em pesar, em um Erlenmeyer, cerca de 2 g de amostra e adicionar à amostra 25 mL de álcool isopropílico. Os ácidos presentes foram titulados com solução de

KOH 0,5 mol/L. Como indicador, foram empregadas 4 gotas de solução alcoólica a 1% de fenolftaleína e a titulação se deu até o ponto de viragem. O volume gasto na titulação (mL) foi registrado e empregado para o cálculo do Índice de acidez (mg KOH/g), conforme a equação 1.

Equação 1:

$$IA = \frac{V_{KOH} \cdot C_{KOH} \cdot 56,10}{m_{amostra}}$$

FONTE: ASTM D465-15(2020).

onde IA é o índice de acidez (mg KOH/g), V_{KOH} é o volume de KOH gasto durante a titulação (mL), C_{KOH} é a concentração de KOH (mol/L) e m é a massa da amostra (g). Três replicatas foram preparadas para a análise e o resultado foi registrado como a média com o seu desvio padrão.

2.1.2. Índice de saponificação

A determinação do índice de saponificação foi conduzida de acordo a norma ASTM D464-15 (2020). A análise foi realizada titulando o produto da saponificação do CTO e DCTO-COM com solução padronizada de HCl 0,5 mol/L. Para isso, cerca de 2 g de amostra foram transferidos para um balão de fundo chato de 250 mL e adicionado volumetricamente 25 mL de solução alcoólica de KOH 0,5 mol/L. Este material foi submetido a aquecimento (75°C) sob refluxo por 30 min. Após o tempo de reação, com o intuito de deixar o produto da saponificação esfriar, esperou-se 20 min para desconectar o condensador e imediatamente adicionou-se 0,5 mL de solução alcoólica a 1% de fenolftaleína. A titulação com HCl 0,5 mol/L foi conduzida até que a coloração rosa desaparecesse. A equação 2 foi utilizada para o cálculo do índice de saponificação.

Equação 2:

$$IS = \frac{(V_{branco} - V_{HCl}) \cdot C_{HCl} \cdot 56,10}{m_{amostra}}$$

FONTE: ASTM D464-15 (2020)

onde IS é o índice de saponificação (mg KOH/g), V_{branco} é o volume de HCl gasto do branco (mL), V_{HCl} é o volume de HCl gasto durante a titulação (mL), C_{HCl} é a concentração de HCl (mol/L), e m é a massa da amostra (g). Três replicatas foram preparadas para a análise e o resultado foi registrado como a média com o seu desvio padrão.

2.1.3. Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR das amostras de CTO e DCTO-COM foram obtidos em espectrômetro Bruker, modelo Alpha II MB 155S FT-IR disponível no Laboratório Multiusuário de Espectrometria no Infravermelho da UFPR (Curitiba, Brasil). As análises foram realizadas no modo transmitância na faixa de 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e acúmulo de 64 scans. Os espectros foram obtidos a partir de pastilhas de KBr, sob as quais a amostra foi aplicada com o auxílio de uma micropipeta capilar.

2.2. FRACIONAMENTO DO TALL OIL

As análises das amostras por cromatografia em camada delgada (CCD) foram realizadas de acordo com o método descrito por Blatt (2014), utilizando, porém, diferentes sistemas de solventes. A análise de CTO por CCD foi realizada com fase estacionária de sílica gel 60 25TLC suportada em folhas de alumínio (5 x 2,5 cm), com espessura de 0,5 cm. As amostras foram aplicadas nas cromatoplasmas com uma micropipeta capilar. As cromatoplasmas foram eluídas com diferentes sistemas de solventes: (a) diclorometano e (b) metanol: diclorometano 50:50 (v/v). Após a eluição, as placas foram dessolvatadas na temperatura ambiente e em seguida reveladas com vapores de iodo.

A cromatografia em coluna foi monitorada a partir da análise de CTO por CCD. Inicialmente, 100 g de sílica gel (Merck) com dimensões de partícula entre 40-63 μm , diâmetro de poro 60 Å, foi ativada por aquecimento em estufa a uma temperatura de 200 °C por 3 h, com a finalidade de remover a água fisissorvida (BLATT, 2014). Utilizou-se uma coluna com 3 cm de diâmetro e 60 cm de altura. Esta coluna foi empacotada através da adição de uma suspensão de 20 g de sílica gel 230-400 mesh em diclorometano. Após empacotamento aplicou-se 1,24 g de tall oil ao topo da coluna. A eluição dos ácidos resínicos se deu com a adição de 100 mL do diclorometano no topo da coluna. Com o término da eluição dos resínicos, procedeu-se a adição de 50 mL de uma mistura metanol: diclorometano 30:70 (v/v) para eluição dos ácidos graxos. Os compostos eluídos foram coletados em balões previamente pesados. O solvente foi removido até peso constante por evaporação em um sistema de destilação a 60 °C e pressão de 700 mmHg. As frações ricas em ácidos resínicos foram denominados de F1-3 e as ricas em ácidos graxos denominados de F4-5 de DCTO.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO TALL OIL

Determinação dos índices de acidez, saponificação e Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A tabela 1 apresenta os resultados de índices de acidez, de saponificação e de viscosidade cinemática das amostras de *tall oil*. O índice de acidez refere-se à quantidade de ácidos graxos livres no *tall oil*, enquanto o índice de saponificação fornece quantidade total de ácidos e ésteres que podem ser hidrolisados e transformados em sabão. Ambos os valores são dados em mg KOH por grama de *tall oil*.

Tabela 1. Valores de índice de acidez, de saponificação e viscosidade encontrados na literatura e determinados nas amostras analisadas

Propriedade	TALL OIL	
	Dados da literatura	Dados experimentais
Índice de Acidez (mg KOH/g)	133 -192 ¹	168,1 ± 7,3 ²
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	153 -172 ¹	186,7 ± 2,7 ²

¹ Dados obtidos de Dias e Barreiros, (2018); ¹ Mikhize et al. (2015); ³ Aguilera et al. (2020).

² Dados obtidos pelo Autor (2023).

Os índices de acidez e de saponificação do CTO obtidos experimentalmente foram de 168,1 mg KOH/g e 186,7 mg KOH/g, respectivamente. Tais índices de acidez encontram-se dentro dos limites estabelecidos na literatura tanto (Tabela 1). Segundo Sales (2007) e Dias e Barreiros (2018), os índices de acidez de *tall oil* bruto variam de 133 a 180 mg KOH/g e estes tendem a aumentar para destilados de *tall oil*. Já os valores de índice de saponificação para as amostras de CTO foram superiores aos apresentados na literatura. Tais variações estão associadas à qualidade e à espécie da madeira, seu teor de extrativos e tempo de estocagem (envelhecimento) antes do cozimento kraft (DIAS; BARREIROS, 2018). Mikhize et al. (2015), estudando a produção de biodiesel a partir de amostra de CTO oriunda de uma indústria sul-africana de papel e celulose, relataram um índice de acidez de 139,2 mg KOH/g, enquanto Dias e Barreiros (2018) obtiveram índices de acidez e de saponificação de 153,0 mg KOH/g e de 157,0 mg KOH/g respectivamente para amostra de CTO de uma indústria brasileira de papel e celulose.

Os espectros de FTIR de DCTO-COM e CTO encontram-se na FIGURA 1. Verificou-se nos perfis espectrais obtidos que tanto o DCTO-COM como o CTO contêm quantidades significativas de ácidos graxos livres, justificadas pelas bandas de deformação axial de C=O em ácidos carboxílicos (aproximadamente 1715 cm^{-1}), respectivamente que é acompanhada pela banda intensa e de grande amplitude das deformações axiais de O-H associado na região de 3600 a 2300 cm^{-1} , típico de ácidos carboxílicos dimerizados, e da banda de deformação angular fora do plano de C-O-H em 945 cm^{-1} (OLIVEIRA, 2005). Também foram identificadas as bandas atribuídas à deformação angular no plano de CO-H em 1409 cm^{-1} , e outra em 1280 cm^{-1} , referente à deformação axial de C-O em ácidos carboxílicos. A cadeia hidrocarbônica dos ácidos graxos encontra-se evidenciada pelas bandas parcialmente superpostas em 2922 e 2854 cm^{-1} , que correspondem à deformação axial assimétrica de ligações C-H em CH_3 e CH_2 , respectivamente. Observa-se também bandas menos intensas na região em torno de 3010 cm^{-1} , características das deformações axiais de C-H de insaturações presentes em ácidos graxos, como os ácidos oleico e linoleico e os vários tipos de ácidos resínicos. Por outro lado, as bandas de dienos (ligações duplas conjugadas) presentes em ácidos resínicos majoritários, como os ácidos abiético, neo-abiético e pimárico, está evidenciada como um ombro na região de 1650 cm^{-1} , que pode sofrer influência pela banda intensa e larga da deformação axial de C=O de ácidos carboxílicos. Finalmente, a banda em 720 cm^{-1} refere-se ao balanço (deformação angular) da cadeia hidrocarbônica dos ácidos graxos.

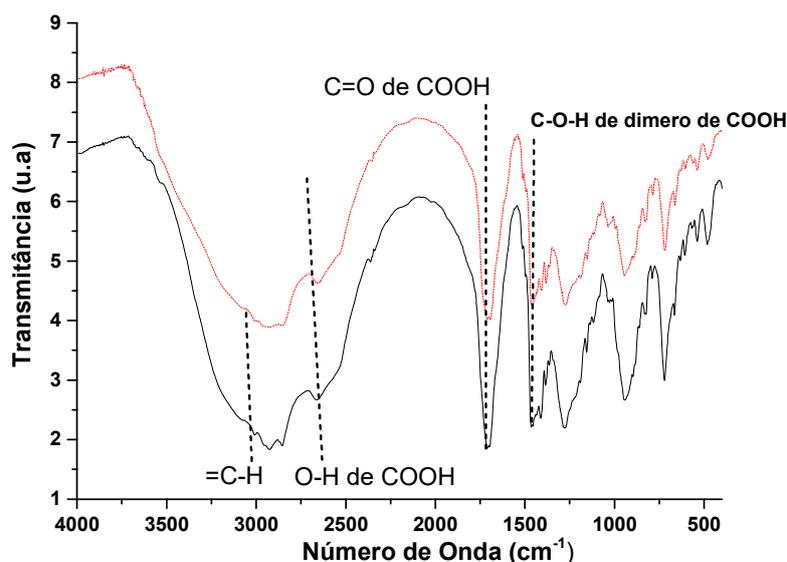


Figura 1. Espectro no Infravermelho do DCTO-COM (em vermelho) e do CTO (em preto).

3.2. FRACIONAMENTO DO TALL OIL

Os ensaios de CCD foram realizados com diclorometano e misturas diclorometano:metanol para determinar quais combinações permitiriam a separação da família de ácidos graxos da família de ácidos resínicos. Com base nessas informações, partiu-se então para a cromatografia em coluna usando diclorometano como eluente seguido da mistura diclorometano:metanol 70:30 (v/v).

Para fracionamento do CTO por cromatografia de adsorção, 1,24 g de amostra foram aplicados em uma coluna de vidro de 60 x 3 cm. O experimento foi realizado em quadruplicata e os resultados expressos em relação às médias com os seus respectivos desvios padrão. Seis (6) frações foram recolhidas, cada uma com um volume aproximado de 30 mL. Na TABELA 2 tem-se o sistema de fases móveis que foi utilizado e os conjuntos de frações coletadas. A identificação de ácidos graxos e resínicos em cada fração foi obtida por GC-MS.

Tabela 2. Fases móveis utilizadas para a cromatografia em coluna e o número de frações coletadas.

Fases móveis	Frações
100% DCM	1 a 3
70% DCM + 30% MetOH	4 a 6

As frações foram analisadas individualmente e após avaliação de seus perfis cromatográficos, foram reunidas por similaridade conforme indica a TABELA 2. A FIGURA 2 apresenta os cromatogramas oriundos dos agrupamentos das frações e a TABELA 3 lista a proporção entre os diferentes componentes.

O fracionamento do CTO por adsorção em coluna de sílica gel permitiu as seguintes observações: nas frações 1-3 houve ausência do ácido palmítico e concentrações reduzidas dos ácidos esteárico (2,20%), oleico (9,30%) e linoleico (3,18%), tendo os ácidos abiético (28,28%) e pimárico (14,86%) como componentes majoritários. Nas frações 4-6 houve uma redução considerável dos ácidos desidroabiético, abiético e pimárico e o ácido neoabiético não foi detectado. Ainda nas frações 4-6, houve um enriquecimento considerável dos ácidos esteárico (4,30%), oleico (46,09%) e linoleico (21,32%), mais a presença de 15% do ácido palmítico.

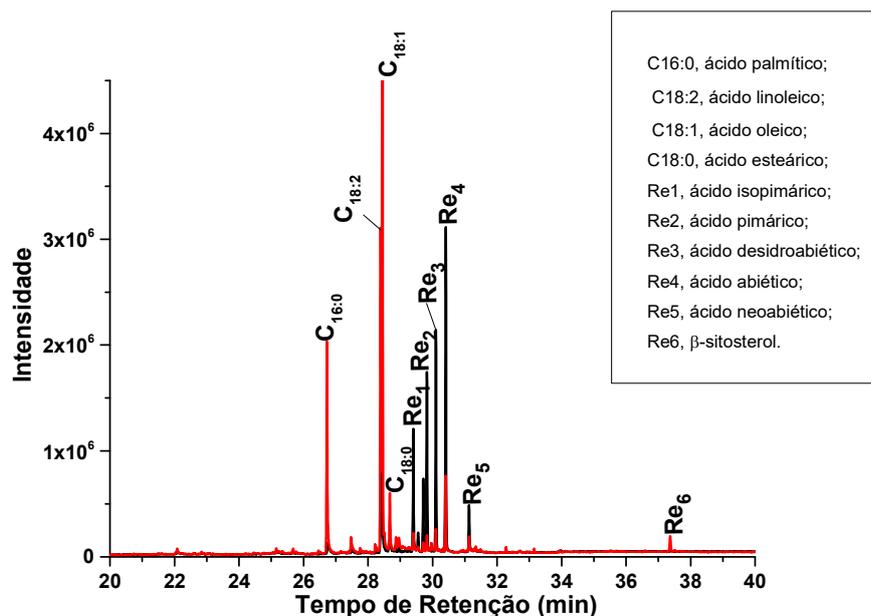


Figura 2. Cromatogramas das frações obtidas por cromatografia de adsorção em coluna (F1-3 em preto e F4-6 em vermelho).

Tabela 3. Perfil de ácidos graxos e resínicos obtidos no agrupamento das frações.

Picos	Componente (%)	Frações	
		1 a 3 (ricas em ácidos resínicos)	4 a 6 (ricas em ácidos graxos)
Ácido graxos			
C16:0	Ácido palmítico	-	15,79
C18:0	Ácido esteárico	2,20	4,30
C18:1	Ácido oleico	9,30	46,09
C18:2	Ácido linoleico	3,18	21,32
Ácido Resínicos			
Re ₁	Ácido isopimárico	10,77	0,00
Re ₂	Ácido pimárico	14,86	0,90
Re ₃	Ácido desidroabiético	18,42	1,39
Re ₄	Ácido abiético	28,28	4,97
Re ₅	Ácido neoabiético	4,38	0,00
Re ₆	β-Sitosterol	0,00	1,43

A tabela 4 apresenta os resultados da eficiência obtida na recuperação mássica dos principais componentes do CTO. Em geral, a técnica de cromatografia em coluna, utilizando o sistema de solventes indicado acima, apresentou uma boa separação entre os ácidos graxos e os ácidos resínicos. A recuperação mássica de ácidos graxos, com base na massa da amostra aplicada na coluna, correspondeu a 88%. A partir dos resultados apresentados, conclui-se que a cromatografia preparativa em coluna, usando sílica gel (230-400 mesh) como fase estacionária, mostrou-se promissora para o fracionamento do CTO em seus principais componentes.

Tabela 4. Recuperação mássica dos componentes presentes na amostra.

Fração	Recuperação da fração		Produto majoritário
	Mássica (g)	Percentual (%)	
1-3	0,51± 0,17	41,08	Ácidos resínicos
4-6	0,58±1,08	48,98	Ácidos graxos

4. CONCLUSÃO

O *tall oil* bruto (CTO) apresentou índices de acidez e de saponificação dentro dos limites estabelecidos na literatura. A análise por GC-MS e por espectroscopia no infravermelho (FTIR) da amostra de CTO e de um destilado comercial (DCTO-COM) dela proveniente mostraram demonstraram uma composição majoritária de ácidos graxos e ácidos resínicos, cuja proporção diminuiu após o processo de destilação.

O fracionamento do CTO por cromatografia de adsorção em coluna, utilizando sílica gel 60 como fase estacionária e diclorometano seguido de diclorometano:metanol (70:30, v/v) como fases móveis mostrou-se eficaz para segregar ácidos graxos e ácidos resínicos em duas frações.

5. REFERÊNCIAS

ADEWALE, P.; CHRISTOPHER, L.P. Thermal and Rheological Properties of Crude Tall Oil for Use in Biodiesel Production. **Processes**, v.5, n.59, p.1-12, 2017.

- AGUILERA, F. A.; JANI, R.; JARL, H. M.; NURMI, G. T.; THEOPHILE, R. ´. Epoxidation of Tall Oil Catalyzed by an Ion Exchange Resin under Conventional Heating and Microwave Irradiation. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 22, p. 10397–10406, 2020.
- ARGYLE, M. D.; BARTHOLOMEW, C. H. Heterogeneous Catalyst Deactivation and Regeneration: A Review. **Catalysts**, v.5, n.1, 2015; p.145-269.
- AMEEN, M.; AZIZAN, M. T.; YUSUP, S.; RAMLI, A.; YASIR, M. Catalytic hydrodeoxygenation of triglycerides: An approach to clean diesel fuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.80, p. 1072-1088,2017.
- ANTILA, M.; LEIMU, R.; KÄRKKÄINEN, V. J.; LAMPI, K.; LEHTINEN, O.; SUHONEN, I. The Fatty Acids of Tall Oil and Their Ethyl and Glycerol Esters as Animal Fodder Ingredients. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v.12, n. (1-2), p.95–105, 1962.
- ANTHONYKUTTY, J. M.; LINNEKOSKI, J.; HARLIN, A.; LEHTONEN, J. Hydrotreating reactions of tall oils over commercial NiMo catalyst. **Sustainable Energy & Fuels**, v.3, p.286-299, 2015.
- ANDRADE, A. M. **Aprovechamiento de Tall Oil mediante reacciones de esterificación**. 2017. 103. Dissertação (Mestrado engenharia Química) – Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Bogotá, 2017.
- ARO, T. D. **Tall Oil Production Process and Characterization**. 2017. 165. Dissertação, (Mestrado em Engenharia Ambiental), Faculdade de Pós-Graduação da Universidade Lakehead de Thunder Bay, 2017.
- AQUINO, A.S; SILVA, M. F. D.; ALMEIDA, T. S. D.; BILHERI, F. N; A.; MELO, J. C. D. Mapping of Alternative Oilseeds from the Brazilian Caatinga and Assessment of Catalytic Pathways toward Biofuels Production. **Energias**, v. 15, n.18, p. 1-25, 2022
- ARSHADI, M.; ERIKSSON, D.; ISACSSON, P.; BERGSTEN, U. Bark Assortments of Scots Pine and Norway Spruce as Industrial Feedstock for Tall Oil Production. **Forests**, v.9, n.332, 2018.
- ARUN, N. i.; SHARMA, R. V.; DALAI, A. K. Green diesel synthesis by hydrodeoxygenation of bio-based feedstocks: Strategies for catalyst design and development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.48, p. 240-255, 2015.
- ARYAN, V.; KRAFT, A. The crude tall oil value chain: global availability and the influence of regional energy policies. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, n.124616, p.1-12, 2021.
- ARUN, N., SHARMA, R.V., DALAI, A.K. Green diesel synthesis by hydrodeoxygenation of bio-based feedstocks: strategies for catalyst design and development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 240–255, 2015.
- ASIKIN-MIJAN, N.; LEE, H.V.; ABDULKAREEM-ALSULTAN, G. A.; TAUFIQ-YAP, A. Y.H. Production of green diesel via cleaner catalytic deoxygenation of *Jatropha curcas* oil. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1048–1059,2017
- ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM D464-15 – Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete**. In: Annual Book of ASTM, 2020.

ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM D465-15 – Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete.** In: Annual Book of ASTM, 2020.

AZIZAN, M.T.; JAIS, K.A.; SA'AID, M.H.; AMEEN, M.; SHAHUDIN, A.F.; YASIR, M.; YUSUP, S.; RAMLI, A. Thermodynamic Equilibrium Analysis of Triolein Hydrodeoxygenation for Green Diesel Production. **Procedia Eng**, v.148, p.1369–1376, 2016.

BAKHTYARI, A.; MAKAREM, M.A.; RAHIMPOUR, M.R. **Light olefins/bio-gasoline production from biomass**, Editor(s): Francesco Dalena, Angelo Basile, Claudio Rossi, Bioenergy Systems for the Future, Woodhead Publishing, p 87-148, 2017.

BERNAS, A.; MYLLOJA, J.; SALMI, T.; MURZIN, D. Y. Kinetics of linoleic acid hydrogenation on Pd/C cataly. **Applied Catalysis A: General**, v.353, p.166-180, 2009.

BLATT, G. G. **Utilização da cromatografia líquida em coluna, em camada delgada e de alta eficiência na separação, isolamento e identificação dos mono-, di- e triacilgliceróis do biodiesel.** Dissertação (mestrado), Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. 166 p.

BOSSARDI, K. **Tall oil e seus subprodutos: alternativas como preservantes para madeira.** Tese (doutorado), Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014. 74 p.

BRAGGIO, F. A. **Avaliação do método de preparo de catalisadores NiMo/Al₂O₃ para a hidrodessulfurização de dibenzotiofeno.** Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. 174 p.

BUNACIU, A. A.; UDRIȘTIOIU, E. G.; ABOUL-ENEIN, H. Y. X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v.45, n.4, p.289-299, 2015.

BUSCA, G. Structural, surface, and catalytic properties of aluminas. **Advances in Catalysis**, v. 57, p. 319-404, 2014.

CAO, X.; LONG, F.; ZHAI, Q.; LIU, P.; XU, J.; JIANG, J. Enhancement of fatty acids hydrodeoxygenation selectivity to diesel-range alkanes over the supported Ni-MoOx catalyst and elucidation of the active phase. **Renewable Energy**, v.162, p. 2113-2125, 2020.

CALDERÓN, V. L.; OSPINA, R.; PEREIRA, J. R.; SERGIO A. R.; PARRA, E. R. Molybdenum and Nickel Nanoparticles Synthesis by Laser Ablation towards the Preparation of a Hydrodesulfurization Catalyst. **Catalysts**, v.10, n.9, p.1-11, 2020.

CHEAH, K. W.; TAYLOR, M. J.; OSATIASHIANI, A.; BEAUMONT, S. K.; NOWAKOWSKI, D. J.; YUSUP, S.; BRIDGWATER, A. V.; KYRIAKOU, G. Monometallic and bimetallic catalysts based on Pd, Cu and Ni for hydrogen transfer deoxygenation of a prototypical fatty acid to diesel range hydrocarbons. **Catalysis Today**, v. 355, p. 882-892, 2019.

CHEN, H.; WU, Y.; QI, S.; CHEN, Y.; YANG, M. Deoxygenation of octanoic acid catalyzed by hollow spherical Ni/ZrO₂. **Applied Catalysis A: General** v. 529, p. 79-90, 2016.

CHEN, S.; ZHOU, G.; MIAO, C. Green and renewable bio-diesel produce from oil hydrodeoxygenation: Strategies for catalyst development and mechanism. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.101, p. 568-589, 2020.

DANTAS, D.C.P. **Hidrogenação de Óleo de Soja para produção de Biocombustível**. Dissertação (Mestre em Engenharia Química), Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

DA PONTE, F. A. F.; RODRIGUES, J. S.; MALVEIRA, J. Q.; RAMOS FILHO, J. A. S.; ALBUQUERQUE, M. C. G. Physical-chemical evaluation of babassu oil (*Orbinya speciosa*) and coconut oil (*Cocos nucife*) with highacidityandfatty acids (C6 toC16). **Scienti aplena**, v. 13, n. 8, 2017.

DE OLIVEIRA, B. F. H.; DE FRANÇA, L. F; CORRÊA, N. C. F.; RIBEIRO, N. F. P.; VELASQUEZ, M. Renewable Diesel Production from Palm Fatty Acids Distillate (PFAD) via Deoxygenation Reactions. **Catalysts**, v.11, n. 1088, p. 1-16, 2021.

DE SOUZA, A. G. F. **Hidrodessoxigenação (HDO) do anisol em catalisadores de ni-mo suportados...** Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009. 155 p.

DEMIRBAS, A. Methylation of wood fatty and resin acids for production of biodiesel. **Fuel**, v.90, p. 2273-2279, 2011.

DIAS, K. B.; BARREIROS, R. M. Caracterização química do crude tall oil. **Periódico Tchê Química**, v. 15, n. 30, 2018.

DING, S.; PARLETT, C. M.A.; FAN, X. Recent developments in multifunctional catalysts for fatty acid hydrodeoxygenation as a route towards biofuels. **Molecular Catalysis**, v. 523, p.111492, 2021.

DIN, I. U.; NASIR, Q.; GARBA, D.; MUSTAPHA, A. I.; ABDULRAHMAN, A.; MSHARI, U. M. A Review of Preparation Methods for Heterogeneous Catalysts. **Mini-Reviews in Organic Chemistry**, v 19, p. 92-110, 2022.

DUAN, J. J. HAN, H. SUN, P. CHEN, H. LOU, X. ZHENG. Diesel-like hydrocarbons obtained by direct hydrodeoxygenation of sunflower oil over Pd/Al-SBA-15 catalysts. **Catalysis Communications**, v.17, p. 76-80, 2012.

DOS SANTOS, O. A. A. **Hidrogenação seletiva do ácido oléico em catalisadores de rutênio**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

FANG, H.; ZHENG, J.; LUO, X.; DU, J.; ROLDAN, A.; LEONI, S.; YUAN, Y. Product Tunable Behavior of Carbon Nanotubes-supported Ni-Fe Catalysts for Guaiacol Hydrodeoxygenation. **Applied Catalysis**, v. 529, p. 20-31, 2017.

FERNANDEZ, M. B.; SÁNCHEZ, J. F.; TONETTO, G. M.; DAMIANI, D. E. Hydrogenation of sunflower oil over different palladium supported catalysts: Activity and selectivity, **Chemical Engineering Journal**, v. 155, p. 941-949, 2009.

FORD, J.P.; IMMERS, J.G.; LAMB, H.H. Palladium Catalysts for Fatty Acid Deoxygenation: Influence of the Support and Fatty Acid Chain Length on Decarboxylation Kinetics. **Topics in Catalysis**, v. 55, p.175-184, 2012.

FURST, M. R. L.; SEIDENSTICKER, T.; COLE-HAMILTON, D. J. Polymerisable di- and triesters from Tall Oil Fatty Acids and related compounds. **Green Chemistry**, v. 15, n. 3, p. 1218-1225, 2013.

HACHEMI, I.; KUMAR, N.; MÄKI-ARVELA, P.; ROINE, J.; PEURLA, M.; HEMMING, J.; SALONEN, J.; MURZIN, D. Y. Sulfur-free Ni catalyst for production of green diesel by hydrodeoxygenation. **Journal of Catalysis**. v. 347, p 205-221, 2017.

HARI, A. K.; YAAKOB, Z. Production of diesel fuel by the hydrotreatment of jatropha oil derived fatty acid methyl esters over γ -Al₂O₃ and SiO₂ supported NiCo bimetallic catalysts. **Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis**, v. 116, p 131–145, 2015.

HARNOS, S.; ONYESTYÁK, G.; KALLÓ D. Hydrocarbons from sunflower oil over partly reduced catalysts React. **Kinet. Mech. Catal.**, v.106, p. 99-111, 2012.

HONGLOI, N.; PRAPAININAR, P.; PRAPAININAR, C. Review of green diesel production from fatty acid deoxygenation over Ni-based catalysts. **Molecular Catalysis** v. 523, n. 111696, 2022.

HOSSAIN, S.; T. **Synthesis and Kinetic Study of CeO₂ and SiO₂ Supported CuO Catalysts for CO Oxidation**. Tese (Doutor em Filosofia) - Programa de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Estadual De Youngstown, 2018.

HORACEK, J.; TISLER, Z.; RUBAS, V.; KUBICKA, D. HDO catalysts for triglycerides conversion into pyrolysis and isomerization feedstock. **Fuel**, v. 121, p 57-64, 2014.

GALADIMA, A.; MURAZA, O. Catalytic upgrading of vegetable oils into jet fuels range hydrocarbons using heterogeneous catalysts: A review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 29, n. 25, p.12-23, 2015.

GODOY, H. M. **Sistemas catalíticos heterogêneos para reações de acoplamento stille-migita**. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Goiás. Goiania. 2019. 129 p.

Gupta, M.K. **Practical Guide to Vegetable Oil Processing**, 2.ed.; Academic Press and AOCS Press: New York, USA, 2017.

GUZMAN, A.; TORRES, J. E.; PRADA, L. P.; NUÑEZ, M. L. Hydroprocessing of crude palm oil at pilot plant scale. **Catalysis Today**, v. 156, n. 1-2, p. 38-43, 2010.

ISLAM, M.S.; CHRISTOPHER, L.P.; ALAM, M.N. Separation and Purification of ω -6 Linoleic Acid from Crude Tall Oil. **Separations**, v.7, n.9, p.1-11, 2017.

JANAMPELLIA, S. B.; SRINIVAS, D. Selective and reusable Pt-WO_x/Al₂O₃ catalyst for deoxygenation of fatty acids and their esters to diesel-range hydrocarbons. **Catalysis Today**, v. 309, p. 219-226, 2018.

JENAB, E.; MUSSONE, P.; NAM, G.; BRESSLER, D. Production of Renewable Hydrocarbons from Thermal Conversion of Abietic Acid and Tall Oil Fatty Acids. **Energy & Fuels**, v. 28, n. 11, p. 6988–6994, 2014.

JENISTOVÁ, K.; HACHEMI, I. H.; ARVELA, P.; KUMAR, N.; WÄRNÄ, M. P.; Libor, C. J.; MURZIN, D. Y. R. Hydrodeoxygenation of stearic acid and tall oil fatty acids over Ni-alumina catalysts: Influence of reaction parameters and kinetic modelling. **Chemical Engineering Journal**, v. 316, p. 401-409, 2017.

KAMARUZAMAN, M. F.; YAP, Y. H. T.; DERAWI, D. Green diesel production from palm fatty acid distillate over SBA-15-supported nickel, cobalt, and nickel/cobalt catalysts. **Biomass and Bioenergy**, v. 134, 105476, 2020.

KAY LUP, A.N.; ABNISA, F.; WAN DAUD, W.M.A.; AROUA, M.K. A Review on Reactivity and Stability of Heterogeneous Metal Catalysts for Deoxygenation of Bio-Oil Model Compounds. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 56, p.1–34, 2017.

KERENKAN, A. E.; BÉLANDA, F.; DO, T. Chemically catalyzed oxidative cleavage of unsaturated fatty acids and their derivatives into valuable products for industrial applications: a review and perspective. **Catalysis Science & Technology**, v. 6, p. 971-987, 2016.

KESKIN, A.; YAŞAR, A.; ALTIPARMAK, M. G. Usage of methyl ester of tall oil fatty acids and resinic acids as alternative diesel fuel. **Energy Conversion and Management**, v. 51, p. 2863-2868, 2010.

KIATKITTIPONG, W.; PHIMSEN, S.; KIATKITTIPONG, K.; WONGSAKULPHASATCH, S.; LAOSIRIPOJANA, N.; ASSABUMRUNGRAT, S. Diesel-like hydrocarbon production from hydroprocessing of relevant refining palm oil. **Fuel Processing Technology**, v. 116, p. 16–26, 2013

KIKHTYANIN, O.; RUBANOV, A. E.; AYUPOV, A. B.; ECHEVSKY, G. V. Hydroconversion of sunflower oil on Pd/SAPO-31 catalyst. **Fuel**, v. 89, n. 10, p. 3085–3092, 2010.

KIM, H. J.; ASCE, H. H.; BAE, S. NiSO₄/SiO₂NiSO₄/SiO₂ Catalyst for Biodiesel Production from Free Fatty Acids in Brown Grease. **Journal of Energy Engineering**, v. 139, p. 35-40, 2013.

KONWAR, L.J.; OLIANI, B.; SAMIKANNU, A.; CANU, P.; MIKKOLA, J. P. Efficient hydrothermal deoxygenation of tall oil fatty acids into n-paraffinic hydrocarbons and alcohols in the presence of aqueous formic acid. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v.12, p 51–62, 2020.

KOKLIUKHIN, A.; NIKULSHINA, M.; SHELDAISOV-MESHCHERYAKOV, A.; MOZHAEV, A.; NIKULSHIN, P. CoMo Hydrotreating Catalysts Supported on Al₂O₃, SiO₂ and SBA-15 Prepared from Single Co₂Mo₁₀-Heteropolyacid: In Search of Self Promotion Effect. **Catalysis Letters**, v. 148, n. 9, p. 2869-2879, 2018

KOSLOWSKI, L. A. D. **Construção de coluna de absorção simulando descarga molhada em embarcações fluviais e marítimas para avaliação da emissão de gases e hpas provenientes da combustão do diesel, biodiesel e suas misturas na ausência e presença de catalisador.** Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

KORDOULI, E.; PAWELEC, B.; BOURIKAS, K.; KORDULIS, C.; FIERRO, J. L. G.; LYCOURGHOTIS, A. Mo promoted Ni-Al₂O₃ co-precipitated catalysts for green diesel production. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 229, p. 139–154, 2018.

KHAN, S; LUP, A. N.; QURESHIAC, K. M.; ABNISAD, D. Faisal.; WAN, M. A. W.; PATAH, M.; Fazly A. A review on deoxygenation of triglycerides for jet fuel range hydrocarbons. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.140, p.1-24, 2019.

KON, K. et al. Hydrodeoxygenation of fatty acids and triglycerides by Pt-loaded Nb₂O₅ catalysts. **Catalysis Science and Technology**, v. 4, n. 10, p. 3705–3712, 2014

KRAR, M.; KOVACS, S.; KALLO, D.; FUEL, J. Purpose hydrotreating of sunflower oil on CoMo/Al₂O₃ catalyst. **Tecnologia de Biorecursos**, v.101, ed.23, p. 9287-9293, 2010.

KRISHNAPRIYA, R.; GUPTA, U.; SONI, V. K.; SHARMA, R. K. Catalytic conversion of methyl oleate to hydrocarbons: Impact of cobalt oxide species integration in SiO₂-Al₂O₃. **Sustainable Energy & Fuels**, v. 4, p. 3308-3317, 2020.

KROBKONG, N.; ITTHIBENCHAPONG, V.; KHONGPRACHA, P.; FAUNGNAWAKIJ K. Deoxygenation of oleic acid under an inert atmosphere using molybdenum oxide-based catalysts. **Energy Conversion and Management**, v. 167, 2018.

KUBICKA, D.; KALUZA, L. Deoxygenation of vegetable oils over sulfided Ni, Mo and NiMo catalysts. **Applied Catalysis A: General**, v. 372, p. 199-208, 2010.

KUBICKA, D.; SIMACEK, P.; ZILKOVA, N. Transformation of vegetable oils into hydrocarbons over mesoporous-alumina-supported CoMo catalysts. **Topics in Catalysis**, v. 52, p.161-168, 2009.

KUMAR, P.; VERMA, D.; SIBI, M. G.; BUTOLIA, P.; MAITYC, S. K. Hydrodeoxygenation of triglycerides for the production of green diesel: Role of heterogeneous catalysis. **Hydrocarbon Biorefinery**, v.4, p. 97-126, 2022.

KUMAR, P.; MAITY, S. K.; SHEE, D. Role of NiMo Alloy and Ni Species in the Performance of NiMo/Alumina Catalysts for Hydrodeoxygenation of Stearic Acid: A Kinetic Study. **ACS Omega**, v.4, p.2833-2843, 2019.

KUMAR, P.; YENUMALA, S.R.; SUNIL, K. M.; SHEE, D. Kinetics of hydrodeoxygenation of stearic acid using supported nickel catalysts: Effects of supports. **Applied Catalysis A: General**, v.471, p. 28-38, 2014.

LAM, J.E.; MOHAMED, A.R.; KAY LUP, A.N.; KOH, M.K. Palm Fatty Acid Distillate Derived Biofuels via Deoxygenation: Properties, Catalysts and Processes. **Fuel Processing Technology**, v. 236, 2022.

LEE, C.W.; LIN, P.; CHEN, B.H.; KUKUSHKIN, R. G.; YAKOVLEV, V. A. Hydrodeoxygenation of palmitic acid over zeolite-supported nickel catalysts. **Catalysis Today**, v. 379, p. 124-131, 2021.

LI, X.; LUO, X.; JIN, Y.; LI, J.; ZHANG, H.; ZHANG, A.; XIE, J. Heterogeneous sulfur-free hydrodeoxygenation catalysts for selectively upgrading the renewable bio-oils to second generation biofuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 3762-3797, 2018.

LIMA, R. W D. S. **Hidrodesoxigenação de bio-óleos utilizando catalisadores de níquel e molibdênio suportados em sílica mesoporosa SBA-15**. Dissertação (Mestre em Ciências área de engenharia química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. 147 p.

LIU, X.; LUO, X. J. Y.; LI, J.; ZHANGUM, H.; ZHANGUM, A.; e XIE, J. Heterogeneous sulfur-free hydrodeoxygenation catalysts for selectively upgrading the renewable bio-oils to second generation biofuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. 3, p. 3762-3797, 2018.

LUCANTONIO, S. A.; DI GIULIANO, L. R.; KATIA, G. "Green Diesel Production via Deoxygenation Process. A Review. **Energies**, v.16, n. 2, p.1-44, 2023.

MARTÍN, I. B.; PLATA, D. B.; MOLINA, A. I.; PÉREZ, M. O. G.; GONZÁLEZ, J. S.; CASTELLÓN, E. R. An overview of catalysts for the hydrodeoxygenation reaction of model

compounds from lignocellulosic biomass. **IET Renewable Power**, v. 280, n. 5363, p. 3009-3022, 2021.

MÄKI-ARVELA, P.; BARTOSZ, R.; SISWATI, L.; OLGA, S.; KARI, ERÄNEN.; TAPIO, S.; DMITRY, Y. M. Catalytic hydrogenation of linoleic acid to stearic acid over different Pd- and Ru-supported catalysts. **Energy & Fuels**, v.25, n.7, p. 2815–2825, 2008.

MAGALHÃES, P. T. M. **Implementação e validação de um método analítico para a quantificação de opiáceos em unhas**. Dissertação (Mestre em Ciências Forenses) - Departamento de Ciências Biológicas, Faculdade de Medicina da Universidade do Porto. Porto, 2015.

MALINS, K.; MALINA, I. The effects of supported Pd, Pt, Re, Rh, Ru, Ir, Au, and Ni catalysts on renewable hydrocarbon production from alternative feedstock. **Biomass and Bioenergy**, v. 171, 2023

MARTÍNEZ, S. G. **Hidrodesoxigenación del fenol con catalizadores de sulfuros trimetálicos**. Dissertação (Mestre em Química) Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. Morelia/ México, 2016.

MENDOZA, M. E. G. **Catalizadores máxicos trimetálicos de niwmo: influencia de la composición de W:MO y evaluación en la reacción conjunta HDS-HDN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Divisão de Estudos de Pós-Graduação, Faculdade de Engenharia Química, Universidade de Michoacan de São Nicolas de Hidalgo, Morelia/ México, 2008.

MIJAN, N. A.; LEE, H.V.; ALSULTAN, G.; AFANDI, A.; YAP, Y.H. T. Production of green diesel via cleaner catalytic deoxygenation of *Jatropha curcas* oil. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1048-1059, 2017.

MIKULEC, J.; KLEINOVÁ, A.; CVENGROS, J.; JORÍKOVÁ, L.; BANIC, M. Catalytic Transformation of Tall Oil into Biocomponent of Diesel Fuel. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2012, p.1-9, 2012.

MKHIZE, NM.; SITHOLE, B.; NTUNKA, M. Produção de Biodiesel Catalisada por Ácido Heterogêneo a partir de Tall Oil Bruto: uma matéria-prima de baixo teor e menos cara. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 35, n. 5, p. 374–385, 2015.

MCGUIRE, J. M.; POWIS, P. J. Gas Chromatographic Analysis of Tall Oil Fractionation Products After Methylation with N,N-Dimethylformamide DimethylacetalJournal of Chromatographic. **Journal of Chromatographic Science**, v. 36, p.104-108, 1998.

MEURER, A.; KERN, J. Fischer–Tropsch synthesis as the key for decentralized sustainable kerosene production. **Energies**, v. 14, n. 7, 2021.

MORTENSEN, P. M.; GRUNWALDT, J.-D.; JENSEN, P. A.; KNUDSEN, K.; JENSEN, A. D. A review of catalytic upgrading of bio-oil to engine fuels. **Applied Catalysis A: General**, v.407, Ed. 1-2, 2011.

MORGAN, T.; DANIEL, G.; EDUARDO, S. J.; MARCOS, C. Conversion of Triglycerides to Hydrocarbons Over Supported Metal Catalysts. **Topics in Catalysis**, v. 53, p. 820–829, 2010.

NIESS, S.; ARMBRUSTER, U.; DIETRICH, S.; KLEMM, M. Recent Advances in Catalysis for Methanation of CO₂ from Biogas. **Catalysts**, v. 12, n. 374, p. 1-34, 2022.

NIMKARDE, M. R.; VAIDYA, P. D. Toward Diesel Production from Karanja Oil Hydrotreating over CoMo and NiMo Catalysts. **Energy Fuels**, v. 30, n. 4, p. 3107-3112, 2016.

NIKOLOPOULOS, I.; KOGKOS, G.; KORDOULI, E.; BOURIKAS, K.; KORDULIS, C.; e LYCOURGHOTIS, Alexis. Waste cooking oil transformation into third generation green diesel catalyzed by nickel – Alumina catalysts. **Molecular Catalysis**, v. 482,110697, 2020.

NIKULSHIN, P. A.; SALNIKOV, A.V; MINAEV, M. P.; PIMERZINA, V. M.; Kogan, B. A. A. Relationship between active phase morphology and catalytic properties of the carbon–alumina-supported Co(Ni)Mo catalysts in HDS and HYD reactions. **Journal of Catalysis**, v. 309, p. 386-396, 2014.

NOVAES, L. d. R. **Metodologia de desativação acelerada de catalisadores com modelagem matemática do processo de HDT**. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

NEULING, U.; KALTSCHMITT, M. Conversion routes for production of biokerosene—status and assessment. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 5, n. 4, p. 367–385, 2015.

NOGUEIRA, J. M. F. Crude Tall-Oil: Uma significativa fonte em ácidos graxos e resínicos. **QUIMICA**, v. 57, p. 1–74, 1995.

OLCESE, R.N.; FRANCOIS, J.; BETTAHAR, M.M.; PETITJEAN, D.; DUFOUR, A. Hydrodeoxygenation of guaiacol, a surrogate of lignin pyrolysis vapors, over iron based catalysts: kinetics and modeling of the lignin to aromatics integrated process. **Energy Fuels**, v.27, p. 975-984, 2013.

OGUNKOYA, D.; ROBERTS, W. L.; FANG, T.; THAPALIYA, NIRAJAN. Investigation of the effects of renewable diesel fuels on engine performance, combustion, and emissions. **Fuel**, v. 140, p. 541–554, 2015.

PENG, B.; ZHAO, C.; KASAKOV, S.; FORAITA, S.; LERCHER, J. A. Manipulating catalytic pathways: Deoxygenation of palmitic acid on multifunctional catalysts. **Chemistry - A European Journal**, v. 19, n. 15, p. 4732-4741, 2013

PALOMINO, A. B. **Síntesis y caracterización de catalizadores nimo/zr-sba-15: efecto de la relación zr/si sobre las propiedades del sba-15**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Instituto Tecnológico de Ciudad Madero.Tamaulipas, 2018.

PAPAGERIDIS, K.N; CHARISIOU, N.D; DOUVARTZIDES, S.L; SEBASTIAN, V.; HINDER, S.J.; BAKER, M.A.; ALKHOORI, S.; POLYCHRONOPOULOU, K.; GOULA, M.A. Effect of operating parameters on the selective catalytic deoxygenation of palm oil to produce renewable diesel over Ni supported on Al₂O₃, ZrO₂ and SiO₂ catalysts. **Fuel Processing Technology**, v. 209, p. 106547, 2020.

PATTANAIK, B. P.; MISRA, R. D. Effect of reaction pathway and operating parameters on the deoxygenation of vegetable oils to produce diesel range hydrocarbon fuels. **A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 545-557, 2017.

PERONI, M.; LEE, I.; HUANG, X.; BARÁTH, E.; GUTIÉRREZ, O. Y.; LERCHER, J. A. Deoxygenation of Palmitic Acid on Unsupported Transition-Metal Phosphides. **American Chemical Society**, v.7, n.9, p. 6331-6341, 2017.

PINTO, F.; MARTINS, S.; GONÇALVES, M.; COSTA, P.; GULYURTLU, I.; ALVES, A.; MENDES, B. Hydrogenation of rapeseed oil for production of liquid bio-chemicals. **Applied Energy**, v. 102, p. 272-282, 2013.

PINO, N.; HINCAPIÉ, G.; LÓPEZ, D. Hydrodeoxygenation of furfuryl alcohol over Cu/MgAl and Cu/ZnAl catalysts derived from hydrotalcite-like precursors. **Ingeniería e Investigación**, v. 37, n. 1, p. 34-42, 2017.

PONGSIRIYAKUL, K. et al. Effective Cu/Re promoted Ni-supported γ -Al₂O₃ catalyst for upgrading algae bio-crude oil produced by hydrothermal liquefaction. **Fuel Processing Technology**, v. 216, p. 106670, 2021

POLA, L.; COLLADO, S.; OULEGO, P.; DÍAZ, M. Kraft black liquor as a renewable source of value-added chemicals. **Chemical Engineering Journal**, v. 448, 137728, 2021.

POURHAKKAK, P.; TAGHIZADEH, A.; TAGHIZADEH, M.; GHAEDI, M.; HAGHDOUST, S. Fundamentals of adsorption technology, Mehrorang Ghaedi. **Interface Science and Technology**, v. 33, p. 1-70, 2021.

PONGSIRIYAKUL, K. et al. Effective Cu/Re promoted Ni-supported γ -Al₂O₃ catalyst for upgrading algae bio-crude oil produced by hydrothermal liquefaction. **Fuel Processing Technology**, v. 216, 2021.

RAIKWAR, D.; MAJUMDAR, S.; SHEE, D. Synergistic effect of Ni-Co alloying on hydrodeoxygenation of guaiacol over Ni-Co/Al₂O₃ catalysts. **Molecular Catalysis**, v. 499, n.111290, 2021.

RAJISHA, K.R.; DEEPA, B.; POTHAN, L. A.; THOMAS, S. 9 - Thermomechanical and spectroscopic characterization of natural fibre composites, Editor(s): Nikolaos E. Zafeiropoulos, In: **Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, Interface Engineering of Natural Fibre Composites for Maximum Performance**. Woodhead Publishing, p. 241-274, 2011.

RANGA, C.; LODENG, R.; ALEXIADIS, V.; RAJKHOWA, T.; BJORKAN, H. Effect of composition and preparation of supported MoO₃ catalysts for anisole hydrodeoxygenation. **Chemical Engineering Journal**, v. 335, p. 120-132, 2018.

ROMERO, D. M. **Obtención de combustibles renovables mediante hidrotratamiento catalítico de aceites vegetales y gasóleo**. Dissertação (Mestrado em tecnologia avançado) - Instituto Politécnico Nacional Centro de Investigación em Ciência Aplicada e Tecnologia Avançada, Mexico D.F, 2011. 69 p.

ROZMYŚŁOWICZ, B.; MÄKI, P.; LESTARI, S.; SIMAKOVA, O. A.; ERÄNEN, Kari; SIMAKOVA, Irina L.; MURZIN, Dmitry Yu.; e SALMI, Tapio O. Catalytic Deoxygenation of Tall Oil Fatty Acids Over a Palladium-Mesoporous Carbon Catalyst: A New Source of Biofuels. **Topics in Catalysis**, v. 53, p. 1274–1277, 2010.

SAFA GAMAL, M. et al. Solvent-free catalytic deoxygenation of palm fatty acid distillate over cobalt and manganese supported on activated carbon originating from waste coconut shell. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 144, 104690, 2019

SALES, H. J. S. **Esterificação seletiva para a separação de esteróis, ácidos resínicos e ácidos graxos do resíduo oleoso de madeira (tall oil)**. Orientadora: Prof. Dr. Ulf F.

Schuchardt. Tese de Doutorado - Instituto de Química - Departamento de Química Orgânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. 167 p.

SENOL, O. I.; VILJAVA, T. R.; KRAUSE, A.O.I. Hydrodeoxygenation of Methyl Esters on Sulphided NiMo/Al₂O₃ and CoMo/Al₂O₃ Catalysts. **Catalysis Today**, v. 100, p. 331-335, 2005.

Silva, M. S. B. **Descarboxilação redutiva catalisada por níquel para produção de biocombustíveis drop-in**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Química Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2022.

SILVA, G. C. R. **Predição de propriedades, Modelagem e Simulação de processos de conversão de óleos vegetais em biocombustíveis por rota convencional e desoxigenação**. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2016. 224 p.

SILVA. L. N. S. N. **Síntese e Caracterização de Biocombustíveis Drop-in a partir dos Óleos da Macaúba**. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2016. 163 p.

SONI, V. K.; DHARA, S.; KRISHNAPRIYA, R.; CHOUDHARY, G.; SHARMA, P. R.; SHARMAR. K. Highly selective Co₃O₄/silica-alumina catalytic system for deoxygenation of triglyceride-based feedstock. **Fuel**, v. 266, 117065, 2020

SIMACEK, P.; KUBUCKA, D.; SEBOR, G.; POSPISIL, M. Hydroprocessed rapeseed oil as a source of hydrocarbon-based biodiesel. **Fuel**, v. 88, p. 456-460, 2009.

SINGH, H.; IYENGAR, N. P. RAJPUT.; SINHA, A. K. Magnetically recoverable support-free mesoporous Ni/NiO catalyst for conversion of oxygenates to fuels and chemicals. **Materials Research Bulletin**, v.112, p. 363-375, 2018.

SILVERSTEIN, R. M., WEBSTER, F. X., **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**, 6^a. ed. LTC, Rio de Janeiro, 2000.

SHINDE, P. S.; SURYAWANSHI, PRADNYA S.; PATIL¹, KANCHAN K.; BELEKAR, VEDIKA M.; SANKPAL, SANDEEP A.; DELEKAR, SAGAR D.; JADHAV, SUSHILKUMAR A. A Brief Overview of Recent Progress in Porous Silica as Catalyst Supports. **Journal of Composites Science**, v.5, p. 1-17, 2021.

SONI, V. K.; Suman, D. R.; Krishnapriya, G. C.; Pragati, R. S, Rakesh, K. S. Highly selective Co₃O₄/silica-alumina catalytic system for deoxygenation of triglyceride-based feedstock. **Fuel**, v. 266, n.15, p.1-8, 2020.

SOTELO-BOYÁS, R.; LIU, Y.; MINOWA, T. Renewable diesel production from the hydrotreating of rapeseed oil with Pt/zeolite and NiMo/Al₂O₃ catalysts. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 50, n.5, p.2791–2799, 2011.

SRIFA.; FAUNGNAWAKIJ, K.; ITTHIBENCHAPONG, V.; VIRIYA-EMPIKUL, N.; CHARINPANITKUL, T.; ASSABUMRUNGRAT, S. Production of bio-hydrogenated diesel by catalytic hydrotreating of palm oil over NiMoS₂/γ-Al₂O₃ catalyst. **Bioresource Technology**, v. 158, p. 81-90, 2014.

- SRIFA, A.; FAUNGNAWAKIJ, V.; ITTHIBENCHAPONG, S. Assabumrungrat, Roles of monometallic catalysts in hydrodeoxygenation of palm oil to green diesel. **Chemical Engineering Journal**, v. 278, p. 249-258, 2015.
- SMOLJAN, C. S.; CRAWFORD, J. M.; e CARREON, M. A. Mesoporous microspherical NiO catalysts for the deoxygenation of oleic acid. **Catalysis Communications**, v. 143, 106046, 2020.
- SNARE, M.; KUBIČKOVÁ, I.; MÄKI-ARVELA, P.; ERÄNEN, K.; MURZIN, D.Y. Heterogeneous catalytic deoxygenation of stearic acid for production of biodiesel. **American Chemical Society**, v.45, p. 5708–5715, 2006.
- SONTHALIA, A.; KUMAR, N. Hydroprocessed vegetable oil as a fuel for transportation sector: A review. **Journal of the Energy Institute**, v. 92, Ed. 1, p.1-17,2019.
- SONGYIN YU, F. W.; JIANCHUN, J. C.; XINYI LUO, F. F.; XING, J. F.; XIAO, JIANG. Co catalysts on various supports for lipid hydrotreatment to produce green diesel. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 47, n. 82, p 34866-34874, 2022.
- TAROMI, A. A.; KALIAGUINE, S. Hydrodeoxygenation of triglycerides over reduced mesostructured Ni/ γ -alumina catalysts prepared via one-pot sol-gel route for green diesel production. **Applied Catalysis A: General**, v.558, p.140-149, 2018.
- TOSHTAY, K.; E AUEZOV, A. B. Hydrogenation of Vegetable Oils over a Palladium Catalyst Supported on Activated Diatomite. **Catalysis in Industry**, v.12, p.7–15, 2020
- VEVERE, L.; FRIDRIHSONE, A; KIRPLUKS, M; CABULIS, U. A Review of Wood Biomass-Based Fatty Acids and Rosin Acids Use in Polymeric. **Polymers**, v.16, n.11, p. 1-17, 2020.
- VERIANSYAH, B.; HAN, S. K.; KIM. S. Production of renewable diesel by hydroprocessing of soybean oil: Effect of catalysts. **Fuel**, v. 94, p. 578–585, 2012
- VOLONTERIO, E.; BUSSI, J.; CASTIGLIONI, J.; VIEITEZ, I.; JACHMANIÁN, I. Hidrotreatmento catalítico de aceites vegetales para la producción de biocombustibles líquidos. **Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay INNOTEC**, n. 14, p. 37-43,2017.
- WANG, H.; KYLE, R.; HAIPING, Z.; LI, G.; PU, J.; HAOXUAN, Z.; HONGFEI, L. Y. Z.; SIAUW, N. The Effects of Catalyst Support and Temperature on the Hydrotreating of Waste Cooking Oil (WCO) over CoMo Sulfided Catalysts. **Catalysts**, v.9, n. 8, p. 1-14, 2019.
- WITTSTOCK, A.; BAUMER, M. Catalysis by unsupported skeletal gold catalysts. **Acc Chem Res**, v. 47, n. 3, p. 731-9, 2014.
- WHITE, K.; LORENZ, N.; POTTS, T.; PENNEY, W. R.; BABCOCK, R.; HARDISON, A.; CANUEL, E. A.; e HESTEKIN, J. A. Production of biodiesel fuel from tall oil fatty acids via high temperature methanol reaction. **Fuel**, v. 90, p 3193-3199,2011.
- WANG, W. C.; TAO, L. Bio-jet fuel conversion technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 801-822, 2016.
- YANG, L.; CARREON, M. A. Deoxygenation of Palmitic and Lauric Acids over Pt/ZIF-67 Membrane/Zeolite 5A Bead Catalysts. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 9, n. 37, p. 31993–32000, 2017.

XIN, L.; XINGYI, L.; YANGBIN, J.; LI, J.; ZHANG, H.; ZHANG, A.; XIE, J. Heterogeneous sulfur-free hydrodeoxygenation catalysts for selectively upgrading the renewable bio-oils to second generation biofuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.82, n.3, p.3762-3797,2018.

YENUMALA, S. R.; KUMAR, P.; e MAITY, S. K. Debaprasad Shee, Production of green diesel from karanja oil (*Pongamia pinnata*) using mesoporous NiMo-alumina composite catalysts. **Bioresource Technology Reports**, v.7, p.100288 2019.

YFANTI, V.L.; LEMONIDOU, A. A. Mechanistic study of liquid phase glycerol hydrodeoxygenation with in-situ generated hydrogen. **Journal of Catalysis**, v. 368, p. 98-111, 2018.

YOOSUK, B.; SANGGAM, P.; WIENKET, S.; PRASASSARAKICH, P. Hydrodeoxygenation of oleic acid and palmitic acid to hydrocarbon-like biofuel over unsupported Ni-Mo and Co-Mo sulfide catalysts. **Renewable Energy**, v. 139, p. 1391-1399, 2019.

ZHANG, H.; LIN, H.; ZHENG, Y. The role of cobalt and nickel in deoxygenation of vegetable oils. **Applied Catalysis B: Environmental**, v.160–161, p. 415-422, 2014.

ZHENG, Z.; LI, M.F.; CHU, Y.; CHEN, J.X. Influence of CS₂ on Performance of Ni₂P/SiO₂ for Deoxygenation of Methyl Laurate as a Model Compound to Hydrocarbons: Simultaneous Investigation on Catalyst Deactivation. **Fuel Processing Technology**, v.134, p.259–269, 2015.

ZHU, H.; LUO, W. L.; CIESIELSKILL, P. N.; FANG, Z.; ZHU, J.; HENRIKSSON, G.; HIMMELL, M. E.; HU, L. Wood-Derived Materials for Green Electronics, Biological Devices, and Energy Applications. **American Chemical Society**, v. 116, n.16, p. 9305-9374, 2016.

ZHOU, Y.; JAVIER, R. Z. J.; AVTAR, S. MA.; HU, C. Tuning the selectivity of natural oils and fatty acids/esters deoxygenation to biofuels and fatty alcohols: A review. **Green Energy & Environment**, v. 8, n. 3, p.722-743, 2022.

ZHONG, J.; QIANG, D.; TAIMEI, C.; XIANG LI, R. G.; JUN WANG, Z. Z.; GUIPING DAI, S. D. Graphitic carbon embedded FeNi nanoparticles for efficient deoxygenation of stearic acid without using hydrogen and solvent. **Fuel**, v. 292, n.15, p. 120-248, 2021

ZULA, M.; GRILC, M.; BLAZLIKOZAR. Hydrocracking, hydrogenation and hydrodeoxygenation of fatty acids, esters and glycerides: Mechanisms, kinetics and transport phenomena. **Chemical Engineering Journal**, v. 444, 2022.

TROCA DE EXPERIÊNCIAS: CONSTRUINDO UMA COLCHA DE RETALHOS

Emanoel Marcio da Silva Rodrigues¹ e Rafael Menezes de Sousa²

1. Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Doutorando do Programa de Psicologia;
2. Pedagogo pela Universidade Paulista (UNIP). Especialista em Gestão Escolar e Coordenação Pedagógica pela Faculdade Educacional da Lapa (FAEL).

RESUMO

Este estudo se propôs a abrir um diálogo sobre a crucial construção de um canal comunicativo eficaz entre os campos da educação e da saúde. A necessidade de gerar conhecimentos de maneira interdisciplinar é inegável. Ao empreender uma abordagem crítico-reflexiva sobre o intercâmbio de experiências, estamos garantindo que o ensino no âmbito da saúde seja debatido em um cenário vital: o da formação nos contextos de prática profissional. A complexidade da saúde não se encaixa em definições rígidas, tampouco pode ser discutida de forma isolada. Torna-se imperativo que os domínios intersetoriais cultivem canais de comunicação para abordar os desafios nos territórios, prevenir conflitos e promover ações de educação em saúde.

Palavras-chave: Educação, Formação, Saúde e Troca de experiências.

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo establecer un diálogo sobre la construcción crucial de un canal comunicativo eficaz entre los campos de la educación y la salud. La necesidad de generar conocimientos de manera interdisciplinaria es innegable. Al abordar de manera crítico-reflexiva el intercambio de experiencias, estamos asegurando que la enseñanza en el ámbito de la salud sea discutida en un escenario vital: la formación en los contextos de práctica profesional. La complejidad de la salud no se ajusta a definiciones rígidas, ni puede ser discutida de manera aislada. Se vuelve imperativo que los dominios intersectoriales cultiven canales de comunicación para abordar los desafíos en los territorios, prevenir conflictos y promover acciones de educación en salud.

Palabras-clave: Educación, Formación, Salud and Intercambio de experiencias.

1. INTRODUÇÃO

Como sempre, a iniciativa só pode partir de uma minoria, a princípio incompreendida, às vezes perseguida. Depois, a ideia é disseminada e, quando se difunde, torna-se uma força atuante.

Edgar Morin

A abordagem educacional centrada na comunicação emerge como uma estratégia enriquecedora para enfrentar desafios no ambiente de trabalho. Isso cria um terreno propício para os profissionais explorarem oportunidades que incentivam a discussão e, por conseguinte, fortalecem o envolvimento da comunidade.

Contudo, a comunidade é composta por uma multiplicidade de elementos que demandam observação, diálogo, reflexão e, em muitos casos, ajustes. Intervenções conduzidas em certas áreas podem oferecer *insights* valiosos para a resolução de conflitos em diferentes contextos geográficos.

A experiência, nesse sentido, se torna um recurso estratégico, permitindo-nos compreender a dinâmica das relações entre indivíduos e garantindo a participação coletiva na criação de novas vivências tanto no âmbito profissional quanto nas esferas comunitárias. Isso é particularmente relevante em territórios onde a participação popular impulsiona iniciativas bem-sucedidas em prol da sustentabilidade local.

Ao abordarmos a importância intrínseca da troca de experiências, instigamos uma análise profunda sobre a capacitação de profissionais nas áreas da educação e saúde. Reconhecemos que uma parceria autêntica só se solidificará quando compreendermos que essa abordagem interdisciplinar, na verdade, se complementa em suas ações sociais.

Para uma compreensão mais completa, faz-se necessário relacionar a formação dos profissionais em diferentes âmbitos, desde o acadêmico até a formação contínua e o aprendizado contextual, à perspectiva de Edgar Morin quando ele enfatiza os "Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro". Essa abordagem possibilita aos educadores uma discussão profunda sobre elementos intrínsecos ao ambiente educacional que merecem atenção, sendo eles:

- As cegueiras do conhecimento: o erro e a ilusão;
- Os princípios do conhecimento pertinente;
- Ensinar a condição humana;
- Ensinar a identidade terrena;
- Enfrentar as incertezas;
- Ensinar a compreensão;
- A ética do gênero humano.

Esse ambiente de compartilhamento de experiências deve servir como trilha para solidificarmos conhecimentos que anteriormente não eram compreendidos, desvendar conceitos sem embasamento teórico e sensibilizar as pessoas na adoção de um papel ativo na assimilação do saber.

De acordo com Morin (2000), a educação não deve se restringir à simples transmissão de conhecimentos, a fim de evitar a armadilha da mera informação. Embora a informação possua importância significativa no processo comunicativo, ao tratarmos de ensino e aprendizado, ela se limita a transmitir uma mensagem sem promover a reflexão sobre o conhecimento em questão, sua aplicabilidade ou possíveis adaptações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CONSTRUINDO UM NOVO PARADIGMA NA FORMAÇÃO DOCENTE: AS CONTRIBUIÇÕES DE EDGAR MORIN

Na esfera da pesquisa científica, testemunhamos os progressos alcançados ao longo dos séculos, com o conhecimento sendo disseminado de maneira cada vez mais ágil nos ambientes educacionais e culturais das sociedades, em comparação ao passado. Essa dinâmica acelerada oferece subsídios valiosos para a nossa reflexão sobre as habilidades que os profissionais do ensino superior precisam desenvolver no tocante à prática de geração de conhecimento dentro do contexto das Instituições de Ensino Superior (IES).

Quando elaboramos uma pergunta a ser explorada mediante um método científico orientado, estamos enfatizando a importância de estimular essas indagações intelectuais. Não devemos simplesmente permitir que elas emergjam de maneira casual. As experiências

universitárias impulsionam a superação de uma barreira profundamente vinculada ao processo de ensino e aprendizado.

Morin (2000) ressalta a interligação da subjetividade entre a afetividade e a produção de conhecimento. Ele aponta que esse elemento de interação humana pode ampliar as oportunidades de explorar o objeto de estudo ou, inversamente, resultar na criação de uma distância entre o indivíduo e a pesquisa.

Essa conexão entre a inteligência e a afetividade nos convida a uma análise profunda dos posicionamentos dentro da sala de aula, onde essa arena provoca um embate pelo controle dos saberes compartilhados. Nesse contexto, ocorre um dispêndio de energia em busca de afirmação, moldando a interação entre evidência, verdade e certeza.

As cegueiras do conhecimento: erro e ilusão – Iniciemos a discussão sobre os variados tipos de equívocos presentes no percurso investigativo. Os equívocos mentais emergem de situações que podem estar imbuídas de fantasias ou mesmo elementos imaginativos. No entanto, essa interação está profundamente conectada com nossas experiências do mundo exterior e suas interpretações no âmbito interno de nossa mente.

Outra abordagem que merece destaque é o autossabotamento. Nesse contexto, o pesquisador busca avaliar as evidências que, aos olhos dos outros, podem ser a causa de um problema, mas, paradoxalmente, ele próprio é incapaz de enxergar esse aspecto. Isso ocorre porque frequentemente essa autossabotagem é um subproduto de sua própria mente, uma tentativa de externalizar frustrações por meio de conflitos ilusórios que têm raízes na realidade (MORIN, 2000).

De acordo com Morin (2000), nossa própria memória tem o poder de originar circunstâncias equivocadas, ou seja, os erros que surgem a partir de nossas experiências e suas interpretações neurocerebrais. Isso se torna mais aparente quando evitamos lembrarmos de acontecimentos desconfortáveis. Ao trazermos essas lembranças para o âmbito da consciência, temos a capacidade de superá-las ou mesmo distorcê-las em cenários de memórias falsas.

Nesse contexto, enquanto exploramos como pesquisadores de nossa própria existência humana, nos deparamos com revelações de natureza psicológica. Contamos com a orientação contemporânea das terapias, que desempenham um papel crucial no cuidado com a saúde mental. Como resultado, estamos diretamente conectados com essas duas facetas moldadas por nosso cérebro: os conceitos de verdade e erro.

Assim sendo, as indagações emergem quando questionamos ou investigamos sob uma nova perspectiva. Estabelecemos uma ligação entre as inúmeras formas de explorar o

objeto de estudo, o que, é evidente, garante que o pesquisador possa se envolver na estruturação das ideias, seja através do diálogo com diferentes pontos de vista ou ao desmistificar conceitos (MORIN, 2000).

Agora trataremos a respeito de os princípios do conhecimento pertinente – As questões devem ser conectadas a reflexões que instiguem indagações, isto é, conhecimentos relevantes para a aplicação na realidade.

Portanto, é imperativo fomentar, no contexto educacional, debates que gerem problemas centrais. Esses problemas-chave atuam como fundamentos iniciais que conferem aos indivíduos protagonistas o papel de articuladores de abordagens organizativas em relação à interseção de saberes. Esse estágio de discussão aprimora a tridimensionalidade da interação entre diversos domínios de conhecimento. Com esse propósito, exploraremos certos elementos que nos auxiliarão na compreensão de como o ambiente educacional pode nutrir a formação crítico-reflexiva dos alunos: o contexto, a abrangência global e a complexidade multidimensional (MORIN, 2000).

No contexto das instituições educacionais, é fundamental que os profissionais apresentem uma descrição precisa do ambiente em que atuam. O entendimento vai além de meras informações superficiais. Todos os educadores devem transmitir o significado subjacente às ações executadas na instituição e como se aplicam individualmente a cada turma. A essa abordagem chamaremos de contextualização, que fortalece a capacitação do ambiente educacional.

O fenômeno global pode ser explorado com profundidade através deste intercâmbio de conhecimentos conduzido por um coletivo de educadores. Cada um destes profissionais traz consigo experiências singulares dos seus respectivos ambientes de trabalho. No entanto, é notável que as diversas abordagens adotadas para solucionar as distintas problemáticas convergem para um enriquecedor diálogo emancipatório.

Ao compartilharmos nossas experiências educacionais, partimos do âmbito individual rumo à socialização de projetos de trabalho. Esses projetos têm o potencial de adquirir significados renovados, e ao compreendermos sua totalidade, somos capazes de desvelar os elementos estruturais que os compõem.

O termo "multidimensional" está intrinsecamente ligado à compreensão do ser humano enquanto indivíduos inseridos no complexo modelo biopsicossocial. Neste contexto, a diferença reside na expansão deste modelo para além do estudo exclusivo dos fatores patológicos. Reconhecemos que a interação do ser humano com o ambiente circundante é uma experiência integral, na qual a sua essência não é desconsiderada. O conhecimento

apropriado desempenha um papel crucial ao buscar estruturar, ou mesmo reestruturar, os elementos tão significantes que influenciam as relações entre os indivíduos.

A presença do termo "complexo" adquire significado profundo no âmbito da pesquisa quando nos dedicamos a explorar algo singular e, de repente, percebemos sua inserção em um contexto mais vasto: a intrincada complexidade do conhecimento. Esta complexidade desempenha um papel vital no processo de investigação. À medida que mergulhamos na análise de um objeto específico e desvendamos possíveis respostas, abrimos as portas para um mundo complexo de outras possibilidades dentro do âmbito da pesquisa.

O pesquisador, em sua busca por uma compreensão sólida, está na jornada rumo à construção de certezas. No entanto, tudo que foi previamente discutido perde o sentido se considerarmos a compreensão de forma compartimentada. A verdadeira unidade se manifesta na totalidade. Sendo assim, ao realizar uma análise, nos deparamos com um contexto que demanda uma visão multidimensional. Esta abordagem é crucial para desvendar a complexidade intrínseca no cenário de globalização atual.

A educação, a cada instante, desempenha o papel de fomentar a criação de indivíduos protagonistas. Esses sujeitos, ao confrontarem situações reais ou hipotéticas relacionadas a uma problemática específica, são incentivados a transformar suas respostas em conhecimento, a fim de facilitar a sua resolução. Para essa finalidade, durante o percurso escolar, nos envolvemos com uma variedade de metodologias que garantem o completo desenvolvimento das inteligências de maneira geral.

Desde os primeiros passos na Educação Infantil até as etapas do Ensino Superior, estamos inserindo os indivíduos em um ambiente que promove a expansão do saber. Aqui, é crucial reconhecer que o desenvolvimento de habilidades essenciais não deve subestimar, de forma alguma, os conhecimentos prévios trazidos pelos alunos. Superamos os estigmas do passado e estimulamos a curiosidade para a geração de novos saberes, conforme destacado por Morin (2000).

Ensinar a condição humana – Explorar a própria natureza é uma etapa essencial na construção da identidade humana. No âmbito da educação futura, é imperativo garantir que os indivíduos possam redescobrir suas raízes internas e compreendê-las profundamente. Somente através deste entendimento intrínseco é que eles poderão, então, contemplar e meditar sobre as diversas expressões culturais, bem como os aspectos orgânicos e psicológicos que os envolvem. Este processo visa cuidar da formação de indivíduos capazes de se colocarem no lugar do outro.

Conforme apontado por Morin (2000), as várias disciplinas do conhecimento necessitam se conectar como uma intrincada rede, reconhecendo a natureza transversal e, até mesmo, tridimensional que surge da integração de diferentes saberes. Nesse contexto, desenvolver a habilidade de ouvir e respeitar a socialização de ideias divergentes das nossas próprias especializações se torna uma questão crucial.

Essa perspectiva me leva a refletir sobre a importância dos cursos de graduação e pós-graduação nas áreas da saúde e da educação. Esses cursos devem dar destaque às discussões emancipatórias, com o objetivo de fundamentar as ações que transcendem as fronteiras setoriais, como discutido por Habermas (2012).

Conforme Morin (2000) coloca, é imperativo que reconheçamos nossas características humanas enquanto cidadãos deste planeta Terra, inseridos em sua unidade dentro da vastidão do universo. A fim de fortalecer essa identidade como habitantes terrestres, a exploração da pesquisa sobre nossa origem, o desenvolvimento psicológico e biológico dos seres vivos, bem como as estruturas moleculares além dos limites de nossa biosfera, pode oferecer respostas a questionamentos que há muito tempo ecoam, especialmente quando desvendamos os segredos do espaço que nos envolve.

Nesse contexto, a educação assume um papel fundamental. Ela assegura que a humanidade esteja em constante evolução cognitiva e psicológica. Com o auxílio de avanços tecnológicos, nossa capacidade de descoberta e até mesmo de criação de novos conhecimentos ganha uma magnitude sem precedentes.

Prosseguindo a discussão tem-se o Ensinar a identidade terrena – O entendimento de Morin (2000) ressalta a importância de que os seres humanos aprendam a respeitar a diversidade de elementos vivos e não vivos que habitam nosso planeta Terra. Esta nossa morada é uma fonte de inspiração tanto para as conquistas científicas atuais quanto para aquelas que ainda estão por ser descobertas. Conseqüentemente, é crucial agirmos com racionalidade na utilização dos recursos ambientais. A preservação tornou-se um imperativo planetário no novo milênio, à medida que reconhecemos a necessidade de entender e abordar os problemas advindos do consumo capitalista.

Vivemos na era da tecnologia, imersos no espaço da cibercomunicação e nas interações humanas virtuais. A aprendizagem não está mais restrita ao formato físico tradicional das salas de aula, e o conhecimento é trocado em tempo real. Exploramos o espaço planetário, desafiando nossas concepções prévias sobre a vida em nosso planeta e enfrentando conflitos existenciais que exigem abordagens especializadas para lidar com a saúde mental.

A presença da tecnologia no ambiente educacional desempenha um papel crucial na transformação da informação em conhecimento. Os educadores, como mediadores desse processo, devem reconhecer que o ambiente de aprendizagem não se limita ao contexto físico da sala de aula, mas também incorpora os saberes populares acumulados pelos aprendizes ao longo de suas experiências. A cultura, sem dúvida, desempenha um papel central na construção do conhecimento, uma vez que os indivíduos consolidam, expandem e disseminam saberes socioculturais através dos subsídios fornecidos por suas comunidades locais. A mídia também não pode ser negligenciada no contexto educacional; é necessário refletir sobre como integrar o ensino híbrido na educação contemporânea (FANTIN; RIVOLTELLA, 2012).

Discutir tecnologia no contexto educacional sem abordar o ensino híbrido é negar as mudanças conceituais na formação tanto dos professores quanto dos alunos. O ensino híbrido, uma abordagem pedagógica que combina o espaço físico da sala de aula com as interações em ambientes virtuais de aprendizagem, proporciona uma oportunidade valiosa para explorar de maneira significativa as Tecnologias da Informação e Comunicação –TIC's (BACICH; NETO; TREVISANI, 2015).

Na perspectiva da educação, é crucial entender a tecnologia como uma oportunidade para uma interação universal. Ela não se limita a ser apenas um meio de comunicação, mas abrange diversas formas de interação por meio de experiências em um mecanismo e rede comunicativos. Paralelamente, a formação de professores deve incentivar o uso de ferramentas tecnológicas no ambiente de aprendizagem para superar barreiras geográficas que possam dificultar o processo educacional (CONTIN, 2016).

Atualmente, na educação, surge a oportunidade de refletir sobre como os professores se ancoram nas regras que ligam a formação docente à sua atuação no mercado de trabalho, ou seja, os paradigmas que moldam nossa prática pedagógica. Dado que a educação no Brasil tem sido influenciada por modelos internacionais, o modelo de educação do século XXI é um paradigma a ser debatido pelas instituições de ensino, desde a Educação Básica até o Ensino Superior. Como sujeitos históricos e sociais, precisamos garantir que a formação de professores, tanto inicial quanto contínua, ofereça oportunidades de experimentar diversas abordagens metodológicas durante sua jornada de construção identitária. Dessa forma, as mudanças paradigmáticas na ciência, tanto na educação quanto na saúde, com a compreensão da bi-setorialidade como algo essencial, devem guiar a reflexão sobre as decisões no processo de mudança de paradigmas no ambiente educacional (CONTIN, 2016).

Lemos (2002) nos lembra que a transição do século XX para o século XXI trouxe um novo olhar, onde a visão unilateral ou distorcida da realidade já não se adequa à era da comunicação em rede. Essa cibercomunicação permite ao ser humano interagir em tempo real, reconhecendo que a troca de experiências favorece a produção de conhecimento. Negar a importância dos períodos históricos anteriores é ignorar o progresso tecnológico, e hoje a inovação é uma força natural que pode ser explorada por meio de várias metodologias para atender às necessidades da população de aprendizes. A sociedade conectada nos espaços virtuais cria uma nova forma de interação comunicativa, com mensagens fragmentadas, novas estruturas textuais e diálogos que expressam sentimentos e desejos, reduzindo a produção escrita da mensagem. No entanto, essa sociedade muitas vezes perde a conexão com a essência das relações socioculturais, tornando-se meramente reprodutora de mensagens e deixando de lado as emoções subjacentes. Além disso, a sociedade atual é caracterizada pela troca de mensagens e pela velocidade na transmissão de informações, permitindo a ampliação do compartilhamento e a criação de conhecimento em uma nova perspectiva na cultura digital. A comunicação, nesse cenário, adquire um novo contexto ideológico, histórico e linguístico na forma como é disseminada na sociedade contemporânea.

Nas interações humanas no ambiente virtual, é crucial que a ética seja considerada como um elemento fundamental na construção do diálogo. O descuido pode resultar em interações negativas e prejudicar a produção de conhecimento. De acordo com Nery (2014), em nossas ações cotidianas acumulamos respostas que muitas vezes são reflexos de nossas práticas sociais. Ao longo da vida, construímos vínculos positivos e negativos com os outros, o que pode facilitar ou bloquear a comunicação entre os indivíduos. No espaço virtual, é importante não estereotipar as relações humanas como algo distante; o vínculo, seja presencial ou virtual, é sempre uma conexão humana que deve ser considerada.

Por essa razão, é necessário considerar as relações estabelecidas nas redes sociais. Nessas plataformas virtuais, a dinâmica de poder se manifesta a cada comunicação. O comunicador deve lembrar que o poder de expressão não lhe dá o direito de prejudicar a imagem do receptor da mensagem, evitando que a Tecnologia da Comunicação e Informação seja usada de forma autoritária. As instituições educacionais devem proporcionar experiências significativas através do uso dessas ferramentas tecnológicas, garantindo que novas relações sejam construídas no cenário virtual (NERY, 2014).

Nery (2014) enfatiza que podemos ser governados, submetidos ou até mesmo programados em vínculos que influenciarão nossas atividades diárias no ambiente digital

interativo. Essa nova dinâmica de papel social pode ser experimentada de forma passiva ou ativa, dependendo de como os indivíduos se comportam em diferentes situações. A ética desempenha um papel fundamental nesse contexto, para evitar a criação de um ambiente interativo caracterizado pela intolerância à diversidade e ao multiculturalismo.

Os ambientes de aprendizagem estão sendo transformados pela tecnologia, e a relação entre professores e alunos passa por mudanças que afetam tanto os aspectos afetivos quanto estruturais. A interação no cenário contemporâneo ocorre tanto de maneira presencial como fora desse contexto, à distância, e essa separação está sendo diminuída graças à conectividade em rede. Os alunos podem dialogar e construir comunicação significativa que não é limitada ao contato direto, criando novas oportunidades de aprendizado (STREY; KAPITANSKI, 2011).

No cenário educacional atual, um desafio importante é fomentar a formação bi-setorial, buscando a integração entre a educação e a saúde para compreender a força da promoção da saúde dentro das comunidades. A troca de experiências é uma maneira eficaz de explorar como a educação e a saúde abordam a educação continuada, a formação em contexto e as práticas educativas em saúde (RODRIGUES, 2019).

Desenvolver ações pedagógicas nos diversos setores da sociedade pode facilitar a mudança de posicionamentos ideológicos e fortalecer a formação dos cidadãos com base em aspectos sustentáveis. A sustentabilidade garante que a preservação global seja vista como um meio de garantir que as gerações futuras possam desfrutar dos recursos naturais do planeta Terra, ao mesmo tempo em que aumenta a qualidade de vida da população (BOFF, 2017).

Além disso, ao abordar a qualidade de vida das populações no cenário atual, é importante considerar a saúde em seu sentido holístico. Embora frequentemente associemos saúde ao bem-estar físico, a saúde mental também é crucial e requer intervenções preventivas e promotoras. A Psicologia da Saúde baseia-se na compreensão epistemológica das medidas contidas nos modelos biomédico e psicológico, reconhecendo que as relações entre corpo e mente podem influenciar o bem-estar e a saúde de um indivíduo (CASTRO; REMOR, 2018).

Você pode se perguntar: Qual é a conexão disso com a troca de experiências? Como a construção da identidade pessoal pode contribuir para a preservação do planeta Terra? A educação precisa ser reavaliada nos dias de hoje? Nossos representantes compreendem a diferença entre o contexto histórico e a luta social? As vulnerabilidades das populações periféricas são verdadeiramente reconhecidas pelos governantes? Os gestores estão

promovendo ações bi-setoriais que incentivem a comunicação entre os diversos espaços institucionais? Os professores têm oportunidades para dialogar com os profissionais da saúde? Existe formação bi-setorial nos municípios do Ceará? Qual é a importância de expandir as ações previstas pelo Sistema Único de Saúde?

Esses questionamentos ecoam na mente dos profissionais de educação e saúde. Portanto, ao falar sobre a troca de experiências, é necessário politizar esses profissionais a fim de ampliar sua visão de atuação. A atuação profissional é um momento para estimular o debate e a formação em contexto, permitindo que os profissionais aprendam e criem estratégias inovadoras ao longo de sua jornada e adquiram evidências especializadas.

Agora terá que enfrentar as incertezas – A imprevisibilidade que reina no mundo das ciências é o combustível que impulsiona a busca pela verdade. Essa busca se fundamenta nas evidências de achados científicos e empíricos, entendendo que cada certeza nos leva a uma compreensão mais consciente e, por consequência, a uma investigação rumo ao desconhecido. O futuro é invariavelmente subjetivo e imprevisível, mas não se pode ignorar o fato de que as ações possuem suas cadeias de reações. Ao disseminarmos saberes provenientes de diversos setores, podemos engendrar tecnologias que melhorem nossa qualidade de vida. Por outro lado, a negligência nesse sentido pode resultar em possibilidades de destruição em massa dos elementos que sustentam a vida em nosso planeta (MORIN, 2000).

O progresso das ciências atualmente ocorre em uma velocidade imensurável. No entanto, é necessário refletir sobre a incerteza, os gastos desnecessários em equipamentos bélicos e a negligência do princípio do bem comum, que é a preservação da Terra. As descobertas sobre o espaço nas últimas décadas são verdadeiramente surpreendentes, incluindo a existência de possíveis moradas planetárias e planetas semelhantes ao nosso em outros sistemas solares. Isso desmistifica o misticismo e as limitações intelectuais do passado em relação ao universo. Aqui não se trata apenas da sabedoria individual ou das máquinas, mas da certeza de que precisamos agregar todos os tipos de conhecimento para compreender e preservar o espaço ao nosso redor. Embora seja incerto o caminho à frente, é vital ter a plena convicção de que a nossa geração tentou criar ações significativas para a preservação da vida no planeta (MORIN, 2000).

A criação nasce da tentativa de responder a algo. Atualmente, dispomos de inúmeras criações que aprimoraram o estilo de vida e proporcionaram promoção da saúde à população. Nesse contexto, não há transformação sem dúvida, sem desorganização das ideias para estruturar o esquema do projeto. Às vezes, é necessário reorganizar as

informações coletadas para garantir clareza e coerência na redação acadêmica (MORIN, 2000).

É fundamental repudiar as atitudes destrutivas em relação aos autores brasileiros que propagaram a visão de uma educação de qualidade. Paulo Freire enfrentou críticas daqueles que desconhecem suas obras e sua contribuição para a emancipação do protagonismo social. No Brasil, ele enfrentou a discriminação daqueles que pensavam de forma diferente, pois a ditadura militar bloqueou o direito de pensar em um país democrático. Ele adotou uma Pedagogia participativa para facilitar a aprendizagem, o que ressalta como a organização política pode impedir o avanço intelectual dependendo do contexto histórico.

As experiências vivenciadas por Paulo Freire promoviam o protagonismo na construção do conhecimento, incentivando a participação dos alunos em conversas abertas. A socialização desempenha um papel vital na formação dos indivíduos. A abordagem de comunicação freiriana é efetivada por meio do diálogo emancipatório, no qual tanto os alunos quanto os professores se envolvem em um intercâmbio de experiências (LIRA, 2018).

Ainda conforme Lira (2018), Paulo Freire relata que sua forma de escrita refletia muito suas experiências no Recife, onde ele também descobriu o amor pela arte de ensinar. Foi lá que sua paixão pelo diálogo na formação de indivíduos, as conversas abertas e a capacidade de elevar as vozes de sujeitos outrora marginalizados pela sociedade começaram a se desenvolver. Freire, além de construir sua identidade como educador, contribuiu para a emancipação de outros indivíduos, enfatizando que a cultura popular e seus saberes necessitam de espaço. Isso nos faz entender que o conhecimento é uma ferramenta humana que empregamos em diversas esferas para fortalecer as tradições sociais.

Na continuidade do debate encontramos o ensinar a compreensão – A comunicação é um elemento fundamental para a nossa compreensão do mundo ao nosso redor. Nessa empreitada, não estamos solitários e, portanto, a habilidade de escutar se torna inerente à nossa realidade contemporânea. Em um cenário marcado por avanços tecnológicos, tanto na educação quanto na saúde, a incorporação de novas estratégias de ensino e diagnóstico de doenças traz benefícios incalculáveis. No entanto, apesar de vivermos na era da modernidade, ainda enfrentamos situações incompreendidas por profissionais das duas áreas. Embora o progresso seja crucial para interagirmos com o universo de forma menos prejudicial à raça humana e ao planeta, é vital aprendermos a lidar com a incompreensão. A capacidade de compreender é a verdadeira essência de uma educação que valoriza singularidades e transforma informações em novos conhecimentos (MORIN, 2000).

Morin (2000) salienta que a comunicação, sem o devido cuidado, não garante a compreensão dos fatos. Existe um canal que deve ser respeitado durante a transmissão de informações. Quando a informação é compartilhada de maneira eficaz, ela pode ser processada e assimilada pelos receptores da mensagem. Ao buscar a compreensão, o sujeito experimentador procura decifrar a informação e determinar se ela gera ou não conhecimento. A informação só se transforma em conhecimento quando o receptor demonstra interesse, curiosidade e desejo de gerar saberes.

Existem dois tipos de compreensão: a compreensão intelectual ou objetiva e a compreensão humana intersubjetiva. O ato de compreender é uma atividade intelectual na qual os sujeitos se envolvem por meio da reflexão. Ao tentar compreender o texto e seu contexto, o indivíduo recorre aos seus conhecimentos prévios para ampliar sua capacidade cognitiva. Isso permite aos seres racionais entender e explicar o que internalizam ao longo do processo de aprendizagem (MORIN, 2000).

Quando entendemos o significado de poder explicar o que internalizamos, nos deparamos com várias situações cotidianas nas quais podemos empregar mecanismos cognitivos para gerar novas perspectivas baseadas no conhecimento. Os objetivos delineados pelo comunicante atingem o alvo quando a experiência passada é aplicada em situações novas. Nesse processo, compreendemos como a informação pode gerar novos conhecimentos (MORIN, 2000).

Compreender é um exercício intelectual que implica na busca por explicar informações. Esse processo envolve a transição dos saberes pré-existentes do indivíduo para a reestruturação e construção de novos conhecimentos. Segundo Morin (2000), o estado de compreensão do mundo ao nosso redor e todas as interações subjetivas incluem empatia, identificação e projeção. Esse estado complexo de compreensão, embora difícil de ser explicado, exige a abertura daqueles que o exercem. Também requer simpatia para garantir que a informação não seja distorcida, além de generosidade para compartilhar ou recomeçar quando necessário.

A ética da compreensão, conforme Morin (2000), é a arte que impulsiona a vida coletiva. Esse processo é construído internamente e compartilhado culturalmente. Embora a sociedade possa entender a ética da compreensão, isso não significa que todos a interpretem reciprocamente. Fanáticos provavelmente não farão esforços para compreender o contexto do problema, mas é evidente que a ética da compreensão busca estudar o objeto que é mal interpretado.

Estamos vivendo em um período histórico em que a conscientização sobre questões ambientais está crescendo devido à necessidade de sobrevivência, não apenas da humanidade, mas de todo o planeta Terra. Ações educacionais que incorporam debates sobre regionalidade, biodiversidade, sustentabilidade, saúde e educação são elementos essenciais no processo de globalização e compreensão da ética que liga cenários específicos a contextos universais (MORIN, 2000).

A ética do gênero humano – O ser humano é orientado pela cultura e pelas normas sociais que regem suas ações, tendo como base a tríade composta por indivíduo, sociedade e espécie. Morin (2000) destaca que os elementos culturais emergem dessa tríade e, conseqüentemente, proporcionam aos indivíduos estruturas organizacionais que moldam suas posturas dentro do contexto sociocultural. A interconexão desses três componentes explica o alicerce dos princípios éticos e estéticos que fundamentam uma sociedade. Os conceitos de indivíduo, sociedade e espécie não podem ser dissociados, pois não são dicotômicos, mas sim elementos que coevoluem e se influenciam mutuamente.

Seguindo a perspectiva de Morin (2000), a ética do ser humano, também conhecida como antropoética, é conduzida por três práticas conscientes:

Quadro 1. Esclarecendo a antropoética.

Primeiro: Assumir a condição humana indivíduo/sociedade/espécie na complexidade do nosso ser.
Segundo: Alcançar a humanidade em nós mesmos em nossa consciência pessoal.
Terceiro: Assumir o destino humano em suas antinomias e plenitude.

Fonte: Morin, 2000.

Ao examinarmos este panorama, podemos elucidar como o ensino na área da saúde se configura como um elemento fundamental para capacitar os profissionais a compreender não apenas os princípios éticos e estéticos subjacentes às 14 profissões de saúde no Brasil, mas também como a antropoética fundamenta as nossas práticas profissionais ao longo dos anos.

Estamos vivenciando uma era histórica que ilustra de maneira vívida como a ciência transformou a humanidade: suas paisagens, seus métodos de diagnóstico e tratamento de doenças, e a comunicação, que superou antigas barreiras geográficas que antes eram consideradas intransponíveis para a troca de experiências entre os profissionais.

Dessa forma, a antropoética emerge como uma força motriz para o desenvolvimento de competências e habilidades que auxiliam na compreensão do que é demandado antropologicamente neste início do século XXI, especialmente no contexto socioambiental.

A esse respeito, Morin (2000, p. 106) delinea alguns indicadores da missão que nós, seres humanos, precisamos abraçar nesse novo milênio:

Figura 2. Pontos da missão antropológica para o século XXI.

1ª Trabalhar para a humanização da humanidade.
2ª Efetuar a dupla pilotagem do planeta: obedecer à vida, guiar a vida.
3ª Alcançar a unidade planetária na diversidade.
4ª Respeitar no outro, ao mesmo tempo, a diferença e a identidade quanto a si mesmo.
5ª Desenvolver a ética da solidariedade.
6ª Desenvolver a ética da compreensão.
7ª Ensinar a ética do gênero humano.

Fonte: Morin, 2000.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste momento, os profissionais da educação e da saúde estão diante da necessidade de estabelecer uma conexão mediadora, visando a desenvolver competências alinhadas à missão antropológica para a geração atual, que busca uma renovação.

Morin (2000) ressalta que a antropeútica, inserida no ato de aprender, auxilia os indivíduos a assimilar o conhecimento de modo a compreender as ideias de esperança, integridade e consciência. Se nós, seres humanos, fizermos uso desses conceitos enraizados na missão antropológica para o século XXI, estaremos direcionando nossos passos em direção à construção de uma sociedade consciente, ética e sustentável.

4. REFERÊNCIAS

- BACICH, L.; NETO, A. T.; TREVISANI, Fernando de Mello. **Ensino híbrido: personalização e tecnologia na educação**. Porto Alegre: Penso, 2015.
- BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é – o que não é**. – Petrópolis, RJ: Vozes, 2017.
- CASTRO, E. K.; REMOR, E. A. **Bases teóricas da psicologia da saúde**. 1.ed, Curitiba: Appris, 2018.
- CONTIN, A. A. **Educação e tecnologias**. – Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016.
- FANTIN, M.; RIVOLTELLA, P. C. **Cultura digital e escola: pesquisa e formação de professores**. Campinas: Papyrus, 2012.

HABERMAS, J.. **Teoria do agir comunicativo, 1: racionalidade da ação e racionalização social.** Jürgen Habermas; tradução Paulo Astor Soethe; revisão da tradução Flávio Beno Siebeneichler. – São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2012.

LEMOS, A. **Cibercultura, tecnologia e vida social na cultura contemporânea.** Porto Alegre: Sulina, 2002.

LIRA, K. L. V. **As diferentes faces e interfaces de uma educação para o século XXI: diálogos fronteiriços com Paulo Freire, Edgar Morin, Fernando Hernández, Pierre Lévy e Rudolf Steiner.** 1. Ed, Curitiba: Appris, 2018.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro.** 2.ed, São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2000.

NERY, Maria da Penha. **Vínculo e afetividade [recurso eletrônico]:** caminhos das relações humanas. - [3. ed.] - São Paulo: Ágora, 2014. Recurso digital

RODRIGUES, E. M. S. **A formação bi-setorial entre educação e saúde: O agir comunicativo no contexto do programa saúde na escola.** Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Ceará, , 2019

STREY, M. N.; KAPITANSKI, R. C. **Educação & internet.** São Leopoldo: Sinodal, 2011.

ORGANIZADORES

Sergio Luiz Prolo Júnior



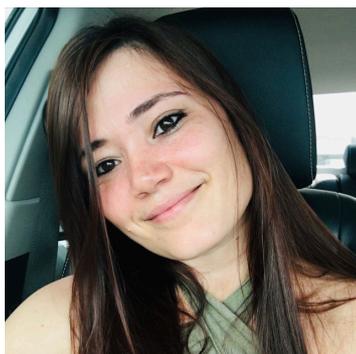
Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), Especialista em Educação e Gestão Ambiental pela Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal (FACIMED), Mestre em Ciência e Inovação Tecnológica, pela Universidade Federal do Acre (UFAC). Professor Adjunto Nível I da Universidade Federal do Acre, Campus Floresta, Cruzeiro do Sul, Acre. Atuante principalmente nas seguintes áreas: Biologia Celular e Ecotoxicologia.

Hémilly Caroline da Silva Paixão



Possui graduação em Enfermagem (2016) e Mestrado em Ciências, Inovação e Tecnologia para a Amazônia (2020), ambos pela Universidade Federal do Acre (UFAC).

Lucena Rocha Virgilio



Possui graduação em ciências biológicas pela Universidade Federal do Acre (2011), mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais pela Universidade Federal do Acre (2013) e doutorado pela Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia legal (2021). Atua na área de biodiversidade, Ciências Ambientais, Ictiologia, Parasitologia de peixes e ecologia. Atualmente é professora da Universidade Federal do Acre, nas áreas de Biofísica, Educação ambiental, Zoologia dos Cordados e Parasitologia. Linha de Pesquisa: Ecologia aquática, Conservação de vegetação ripária com o uso de Ictioparasita, Macroinvertebrados aquáticos e Peixes.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção: 10, 17, 65, 65, 73, 74 e 75.

Allium cepa: 29, 30, 31, 48, 49 e 51.

B

Contaminação: 7, 8, 10, 22, 23, 30 e 31.

C

Degradação: 7, 8, 20 e 42.

Destilação: 65, 70 e 75.

E

Ecotoxicologia: 29 e 49.

Educação: 88, 89, 90, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 101 e 102.

F

Formação: 14, 32, 55, 88, 89, 92, 93, 95, 97, 98 e 99.

Fracionamento: 65, 73 e 75.

P

Poluição ambiental: 29, 49 e 66.

R

Recuperação: 7, 8, 9, 23, 60 e 75.

S

Saúde: 30, 31, 55, 88, 89, 91, 94, 95, 97, 98, 99, 101 e 102.

T

Tall oil bruto: 65, 71 e 75.

Troca de experiências: 88, 89, 96, 97, 98 e 101.

ISBN: 978-65-80261-31-4

BR



9 786580 261314

DOI: 10.35170/ss.ed.9786580261314