



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**Avaliação da germinação e crescimento inicial de plântulas de *Lactuca sativa* L.
expostas à polivinilpirrolidona**

ÉRICA DANÚBIA SOUZA SALES

Serra Talhada - PE

2022

ÉRICA DANÚBIA SOUZA SALES

**Avaliação da germinação e crescimento inicial de plântulas de *Lactuca sativa* L.
expostas à polivinilpirrolidona**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Prof. Dr. Ramom Rachide Nunes

Orientador

Serra Talhada - PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S163a Sales, Érica Danúbia Souza
Avaliação da germinação e crescimento inicial de plântulas de *Lactuca sativa* L. expostas à polivinilpirrolidona / Érica Danúbia Souza Sales. - 2022.
53 f. : il.
- Orientador: Ramon Rachide Nunes.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Ciências Biológicas, Serra Talhada, 2022.
1. Polivinilpirrolidona. 2. *Lactuca sativa* L.. 3. Germinação. 4. Sementes. 5. Ecotoxicologia. I. Nunes, Ramon Rachide, orient. II. Título

**Avaliação da germinação e crescimento inicial de plântulas de *Lactuca sativa* L.
expostas à polivinilpirrolidona**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ramom Rachide Nunes (Presidente/Orientador)

UFRPE/UAAT

Prof. Dr. Rogério de Aquino Saraiva (2º TITULAR)

UFCA

Me. Paulo Henrique Oliveira de Miranda (3º TITULAR)

UFPE

SERRA TALHADA - PE

2022

Aos meus pais, os principais responsáveis pela minha entrada, permanência e finalização do curso. Pela educação e preceitos éticos e morais a mim ensinados.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A minha família, fonte infindável de força. Ao meu pai José Damião por todo apoio ofertado nessa caminhada, e em especial a minha mãe Maria Zuleide por ter sido o meu maior combustível durante o curso, por todo incentivo, inspiração e exemplo de pessoa. Te amo!

Aos presentinhos que a biologia me deu, Lília Edilâne amizade à primeira vista, extremamente fiel, confiável, alegre e sincera, não sei o que teria sido de mim sem você, e Alanna Laurentino, amável, confiável, alto astral e conselheira, sou muito grata pelas vezes que me ajudou a catar meus caquinhos, vocês contribuíram essencialmente para a manutenção da minha sanidade mental, obrigada por partilharem comigo os vários momentos de aperreios e felicidades.

As amigas de turma: Priscila Santos, Vitória Lira e Rebeca Oliveira por todo companheirismo, aprendizado, perrengues vivenciados e por tornarem todos os momentos mais alegres.

Ao meu orientador, professor Dr. Rogério Saraiva, fonte de grande admiração e gratidão por toda ajuda, contribuição e paciência ao longo desse trajeto, por acreditar na minha capacidade e ajudar a tornar esse sonho realidade.

Ao professor Dr. Ramon Rachide, um profissional incrível que me acolheu em seu grupo e me auxiliou nos momentos finais do curso.

As amigadas cultivadas desde a minha chegada a Serra Talhada, minhas companheiras de divisão de casa, de conversas e sonhos, em especial Maiany Patriota, a distância não diminui meu carinho por você.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada por ser uma instituição pública de qualidade, lugar que foi minha segunda casa durante esses anos de graduação, já tenho saudades de cada pedacinho de sua extensão.

Ao grupo PET Biologia/UAST, por serem grandes responsáveis pelo meu crescimento pessoal e acadêmicos, pessoas maravilhosas a quem tenho um carinho muito especial. Em especial ao tutor André Lima, a quem tenho enorme admiração, carinho e gratidão por todas as conversas, conselhos, ensinamentos e todos os momentos compartilhados, encontrei aqui um segundo pai.

Ao meu namorado Marcelo Martins, a quem sou imensamente grata por todo incentivo, por acreditar em mim e ser umas das pessoas que mais me apoiam na vida e torcem pelo meu sucesso.

Aos membros do Grupo de Estudo em Bioquímica e Ecotoxicologia Molecular – GEBETOX, em especial a Maria da Saúde e Rosemeire Costa, por todos os momentos e ensinamentos compartilhados, pelo apoio na instalação e manutenção dos experimentos, sendo fundamentais e indispensáveis para a conclusão desse trabalho.

E a todos que de forma direta ou indireta, contribuíram com a conclusão desse trabalho e curso, sou muito grata a todos(as), e cada um(a) possui um lugarzinho especial no meu coração.

“Tudo aquilo que o homem ignora, não existe pra ele. Por isso o universo de cada um, se resume no tamanho de seu saber”.

(Albert Einstein)

RESUMO

A germinação de sementes é o momento de crucial importância para o desenvolvimento e crescimento da planta, uma vez que a espécie tenha sofrido lesão, excessos ou escassez de algo as consequências podem ser permanentes. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a germinação de *Lactuca sativa* L. (alface) na presença do polímero polivinilpirrolidona (PVP). A semeadura das sementes (30/placa) foi conduzida em placas de Petri esterilizadas, contendo papel filtro. Em cada placa foi adicionado 3mL da solução aquosa de PVP nas concentrações 0,001 mmol/L, 0,01 mmol/L, 0,1 mmol/L, 1 mmol/L e um grupo controle com água destilada. Cada tratamento teve 3 repetições. A germinação das sementes foi avaliada diariamente, ao final do 7º dia, foram realizadas medições do comprimento do hipocótilo, da radícula, peso da massa fresca e seca, testes do percentual de germinação, índice de vigor, de tolerância, velocidade de germinação, teor de água e pigmentos fotossintetizantes. Os dados foram expressos em média \pm erro padrão e submetidos à ANOVA de uma via seguido do teste de Tukey (as médias foram consideradas diferentes quando $p < 0,05$). O grupo tratado com 1 mmol/L apresentou desenvolvimento da radícula afetado, enquanto todos os outros não apresentaram grandes impactos. A %G, IVG, IT, hipocótilo e os pigmentos fotossintéticos não apresentaram resultados significativos quando comparados ao controle. As informações aqui apresentadas indicam um sinal de alerta para o descarte da polivinilpirrolidona e a necessidade de mais estudos a respeito da sua toxicidade.

Palavras-chave: Polivinilpirrolidona, *Lactuca sativa* L., germinação, sementes, ecotoxicologia.

ABSTRACT

Seed germination is a crucial moment for plant development and growth, once the species has suffered any kind of injury, excess or scarcity, the consequences can be permanent. Thus, the present work aims to evaluate the germination of *Lactuca sativa* L. (lettuce) in different concentration of polyvinylpyrrolidone polymer (PVP). Seed sowing (30/plate) was conducted in sterilized Petri dishes containing filter paper. In each plate, 3mL of the aqueous PVP solution was added at concentrations 0.001 mmol/L, 0.01 mmol/L, 0.1 mmol/L, 1 mmol/L and a control group with distilled water. Each treatment had 3 replicates. Seed germination was evaluated daily, at the end of the 7th day, measurements of hypocotyl length, radicle, fresh and dry mass weight, germination percentage tests, vigor index, tolerance, germination speed, water content and photosynthesizing pigments were performed.. The data were expressed in mean \pm standard error and submitted to one way ANOVA followed by the Tukey test (the means were considered different when $p < 0.05$). The group treated with 1 mmol/L presented the radicle development affected, while all others did not present major impacts. %G, IVG, IT, hypocotyl and photosynthetic pigments did not present significant results when compared to the control group. Our data indicates a warning sign for the polyvinylpyrrolidone disposal, and highlights the need of further research regarding its toxicity.

Keywords: Polyvinylpyrrolidone, *Lactuca sativa* L., germination, seeds, ecotoxicology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura molecular da vinilpirrolidona e polivinilpirrolidona.....	20
Figura 2 – Procedimento de semeadura padrão: esterilização de sementes, preparação da placa para receber a semeadura, alocação das placas em B.O.D. durante sete dias, onde ocorre contagem das sementes germinada.....	26
Figura 3 – Tubos de ensaios acondicionados em refrigerador contendo acetona 80% (v/v) e tecidos cotiledonares das plântulas para extração dos pigmentos fotossintéticos.....	29
Figura 4 – Análise do percentual de germinação (%G) (A) e índice de velocidade de germinação (IVG) (B) em plântulas germinadas na presença da Polivinilpirrolidona. Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).	29
Figura 5 – Efeito das diferentes concentrações da polivinilpirrolidona no comprimento da radícula (A) e do hipocótilo (B) em plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L. Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).	31
Figura 6 – Efeito da água destilada e autoclavada (controle) no comprimento das plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L.....	31
Figura 7 – Efeito da concentração de 1 mmol/L da PVP no comprimento das plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L.....	31
Figura 8 – Efeito da concentração de 0,1 mmol/L da PVP no comprimento das plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L.....	32
Figura 9 – Efeito da concentração de 0,01 mmol/L da PVP no comprimento das plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L.....	32
Figura 10 – Efeito da concentração de 0,001 mmol/L da PVP no comprimento das plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L.....	32
Figura 11 – Representação gráfica do índice de vigor das sementes de <i>Lactuca sativa</i> L. frente a PVP. Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).	33
Figura 12 – Análise do índice de tolerância (IT) em plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L. germinadas na presença da polivinilpirrolidona. Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).	33

Figura 13 – Representação gráfica da massa fresca (MF, g), massa seca (MS, g) e teor relativo de água (TA, %). Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).....34

Figura 14 – Análise dos pigmentos fotossintéticos em diferentes concentrações da polivinilpirrolidona, clorofila a (A), clorofila b (B), clorofilas totais (C) e carotenóides (D). Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).....34 a 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média do crescimento da radícula e desvio padrão das plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L. frente a diferentes concentrações da PVP.....	30
Tabela 2 Média do crescimento do hipocótilo e desvio padrão das plântulas de <i>Lactuca sativa</i> L. frente a diferentes concentrações da PVP.....	30

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 CONTAMINANTES AMBIENTAIS.....	18
2.2 POLIVINILPIRROLIDONA (PVP).....	19
2.3 <i>Lactuca sativa</i> L.....	22
2.4 GERMINAÇÃO DE SEMENTES.....	23
3. METODOLOGIA.....	25
3.1 MONTAGEM DO EXPERIMENTO	25
3.2 PORCENTAGEM DE GERMINAÇÃO (%G).....	26
3.3 ANÁLISE DE PARÂMETROS BIOMÉTRICOS DAS PLÂNTULAS.....	26
3.4 ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG).....	27
3.5 ÍNDICE DE VIGOR.....	27
3.6 ÍNDICE DE TOLERÂNCIA (IT).....	27
3.7 MASSA FRESCA E TEOR RELATIVO DE ÁGUA.....	28
3.8 ANÁLISE DOS PIGMENTOS FOTOSSINTETIZANTES.....	28
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
4. RESULTADOS	29

5. DISCUSSÃO.....	35
6. CONCLUSÃO.....	38
7. REFERÊNCIAS.....	39

1. Introdução

Atualmente, das substâncias químicas conhecidas no mundo (quase doze milhões), três mil delas são largamente produzidas para usos diversos (IPCS, 2008). Incontáveis compostos químicos são utilizados no meio doméstico, industrial e principalmente na agricultura e geram, comprovadamente, impacto negativo no ambiente e em suas formas de vida (GUTIERREZ, 2014). Tais agentes químicos estão altamente presentes nos efluentes urbanos, e nas estações de tratamento de água e esgoto, sendo esta a contaminação ambiental mais recorrente (FEPAF, 2019).

Poluentes ambientais são majoritariamente tóxicos aos seres humanos e demais espécies, sendo passíveis de causar efeitos teratogênicos e cancerígenos (IPCS, 2008). Há evidências suficientes para compor uma longa lista de compostos químicos classificados como causadores deste último (IARC, 2015). Além dos malefícios supracitados, pode-se apontar a intoxicação não intencional provocada por metais tóxicos, agrotóxicos, solventes, tintas, querosene e monóxido de carbono que são responsáveis por 193.000 óbitos por ano, em circunstâncias evitáveis (OMS, 2015).

O descarte inadequado de substâncias tóxicas, que promovem contaminação na água por agentes químicos, ocasionam graves consequências e prejuízos para o meio ambiente e a saúde humana. A contaminação a nível de águas superficiais e subterrâneas é ainda mais alarmante, podendo comprometer a qualidade da água (MARCHESAN *et al.*, 2009). O despejo de resíduos químicos, tais como mercúrio, benzeno, enxofre, entre outros realizado equivocadamente provoca nos solos e rios, impactos que inúmeras vezes são irreversíveis para o ambiente e as populações da região (RATTNER, 2009).

Dentre os compostos de importância industrial, a polivinilpirrolidona (PVP) - que é um polímero inerte, não tóxico, resistente à temperatura, com pH estável e biocompatível (KURAKULA; RAO, 2020b) - é amplamente utilizada em diversos produtos comercializados e começou a ganhar destaque pela sua capacidade de complexação com polifenóis (KOLLIDON, 2001). A complexão acontece por meio de um agente complexante que um é transportador de íons, assim formando complexos com substâncias que têm elétrons não compartilhados (WHEI; BRITO NETO, 1998). Enquanto os compostos fenólicos (também chamados de polifenóis) são produtos do metabolismo secundário das plantas, que possuem anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo grupos funcionais. (MOURA, 2016).

De forma geral esse polímero é utilizado na formulação de adesivos, cosméticos, revestimentos, detergentes, emulsões e suspensões. Também é usado como colóide

protetor em dispersões de pigmentos, fabricação de papel e fibras sintéticas. Nos cosméticos, esse polímero é muito utilizado em produtos para cuidado com o cabelo (MASCIOLI, 2007).

Na indústria farmacêutica é usada na forma de solução como aglutinante na granulação de comprimidos (GOULD; TAN, 1985), além de ser bastante eficiente em adesivos transdérmicos, quando combinada com o adesivo polimetilmetacrilato (MINGHETTI *et al.*, 2003), também atua como surfactante polimérico em comprimidos de tratamento de hipertensão arterial (HWANG, 2012), é manuseado para revestir cápsulas (JULINOVÁ; VAŇHAROVÁ; JURČA, 2018) e entre outras aplicações, faz parte da composição de lentes de contato (NOH, 2012). Tratando-se de questões ambientais, a PVP quando em contato com diversos sais inorgânicos pode formar complexos com facilidade (QIAO, 2010) e é capaz de ligar-se também a substâncias fenólicas - incluindo ácidos húmicos – por possuir potencial de sorção em minerais naturais (BLUM; EBERL, 2004).

A PVP solúvel, com um valor K nominal de 25, 30 e 90, é empregado na produção de suplementos alimentares, pílulas e adoçantes. Já na indústria alimentícia atua como estabilizante de corantes poliméricos em produtos de confeitaria, bebidas e/ou como antioxidante (JULINOVÁ; VAŇHAROVÁ; JURČA, 2018).

Na agricultura é possível verificar a presença de uma proporção da PVP em determinados produtos agrotóxicos ou fertilizantes (JULINOVÁ; VAŇHAROVÁ; JURČA, 2018). Na indústria dos cosméticos a PVP apresenta efeito coloidal protetor em emulsões, podendo ser utilizado como fluido de modelagem e spray de cabelo, bem como protetor solar de condicionador de cabelo, estabilizador de espuma de xampu, agente de modelagem de ondas, como dispersante e ainda possui afinidade com tinturas de cabelo (LARKIN; KUPEL, 1965; HANGZHOU, 2020).

Enquanto o monômero dessa substância (vinilpirrolidona) é considerada carcinogênica e tóxica para a vida aquática, seu polímero por outro lado, se mostra inofensivo para uso humano (STACH *et al.*, 2008). O uso da PVP é extensivo, decorrente das amplas aplicabilidades tecnológicas e da ausência de toxicidade em humanos (TRIMPIN *et al.*, 2001). A PVP administrada por via oral não apresenta toxicidade aguda, subcrônica ou crônica em animais (NAIR, 1998). Em alguns casos, um efeito extremamente baixo, como diarreia, é observado em altas doses. A razão é a ação osmótica mostrada pelo PVP em altas doses que atua como um purgativo em massa

(ROBISON, 1990). Tendo em vista esses estudos a OMS forneceu uma lista de sua ingestão diária aceitável de 0-50 mg/kg de peso corporal (OMS, 1987).

A concentração de PVP encontrada em efluentes urbanos é aproximadamente 7 mg/L, podendo retratar um potencial problema para o meio ambiente, pois a variabilidade de vias de entrada e processos de transformação desse constituinte pode resultar em diferentes efeitos no ecossistema. (JULINOVÁ; VAŇHAROVÁ; JURČA, 2018). Entretanto, são escassas as informações acerca do descarte da PVP, como, as informações toxicológicas, incluindo as noções ecológicas (ecotoxicidade, degradabilidade, potencial bioacumulativo, entre outros fatores) (UFMG, 2012), assim como as noções do destino ambiental da PVP são limitadas (JULINOVÁ; VAŇHAROVÁ; JURČA, 2018).

Para esse estudo foi escolhida a alface (*Lactuca sativa* L.) que é amplamente utilizada como modelo para estudos de ecotoxicologia, pois possui germinação e crescimento rápidos, germina em até 72 horas e são muito sensíveis a aleloquímicos (FERREIRA; AQUILA, 2000) e outros contaminantes ambientais. Além disso, não requerem tratamentos especiais antes da semeadura como, por exemplo, quebra de dormência, e geralmente apresentam taxas de germinação consistentes e confiáveis (PALLET *et al*, 2007; BOLUDA *et al*, 2011).

Portanto, melhorar o entendimento quanto aos efeitos tóxicos do PVP em plantas é essencial para, além de avaliar a sua segurança no ambiente, que se possa também contribuir com informações para orientar ações de prevenção à sua contaminação ambiental. Neste contexto, o presente estudo objetivou avaliar a influência da PVP na germinação e desenvolvimento inicial de alface.

2. Referencial teórico

2.1 Contaminantes ambientais

O despejo de efluentes industriais podem influenciar nas características normais do ambiente, estando na forma sólida, líquida ou gasosa, com potencial poder de contaminação ao serem depositados no ambiente inadequadamente (PEREIRA, 2002). Dentre essas substâncias contaminantes, estão inclusos também os pesticidas e as drogas (CROOM, 2012; GAVRILESCU, 2005). Segundo a ACIESP (1987). A contaminação ambiental é definida como poluição quando atinge níveis que causam efeitos deletérios à saúde humana ou efeitos adversos aos organismos vivos. A ecotoxicologia é a ciência que

estuda o impacto destes compostos tóxicos em organismos vivos, após o ano de 1969 surgiram os ensaios ecotoxicológicos, que buscam analisar os efeitos adversos causados pelos poluentes químicos nos diversos organismos (ROMERO; CANTÚ, 2008).

Devido a ação desregrada antrópica, é possível encontrar no ambiente uma ampla gama de contaminantes, podendo estes perturbar o funcionamento as plantas, causando alterações na sua fisiologia e no seu desenvolvimento. A segurança e o sucesso dos organismos aquáticos e das demais formas de vida podem ser comprometidas se entrarem em contato com essas substâncias (SANDERMANN, 1992).

Entre a grande variedade de compostos químicos produzidos em grande escala, é observado o aumento da presença dessas substâncias nos efluentes, como também nas estações de tratamento de esgoto e de água, provocando assim uma fonte importante de contaminação nos ecossistemas (MELLO-DA-SILVA; FRUCHTENGARTEN, 2005).

O contaminante pode continuar em sua forma original quando depositado no ambiente ou pode sofrer reações durante sua degradação, apresentando um potencial efeito negativo nos organismos vivos (CONNELL; MILLER, 1984), ou seja, a forma que o contaminante estiver no meio, é o que vai determinar a influência deste nos organismos (COSTA *et al.*, 2008).

Em relação aos danos ocasionados por essas substâncias químicas, os organismos podem responder de forma aguda (curta duração) ou crônica (longa duração) (WALKER, 2006). Além de avaliar os efeitos da contaminação nos organismos do ecossistema, a ecotoxicologia também permite estimar os futuros efeitos e a análise da interação do contaminante com o meio ambiente (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

2.2 Polivinilpirrolidona (PVP)

A polivinilpirrolidona (PVP), de fórmula $(C_6H_9NO)_n$, também chamada de povidona (figura 1, disponível no site Química Nova Interativa), é uma poliamida com propriedades coloidais incomuns, solúvel em água e em solventes orgânicos, capaz de formar complexos estáveis com polímeros e surfactantes (BIANCO *et al.*, 2003). A PVP é um composto sintético produzido a partir da vinilpirrolidona (N-vinil-2-pirrolidona) via polimerização radicalar, com emprego de um iniciador (VIEWER *et al.*, 1971). Foi descoberta por Walter Reppe e patenteada em 1939 para uso como substituto do plasma sanguíneo (QNINT, 2020).

A sua fórmula estrutural (vinilpirrolidona) confere um caráter anfifílico, que se deve à existência do grupo amida altamente polar com propriedades hidrofílicas, aos grupos metileno e metino presentes na cadeia principal e ao anel com propriedades hidrofóbicas (MOLYNEUX, 1983; DAVIDSON, 1980). Sua estrutura possibilita a formação de complexos macromoleculares com uma variedade de compostos, tais complexos são formados geralmente através da ligação de hidrogênio (PRINOS *et al.*, 1997).

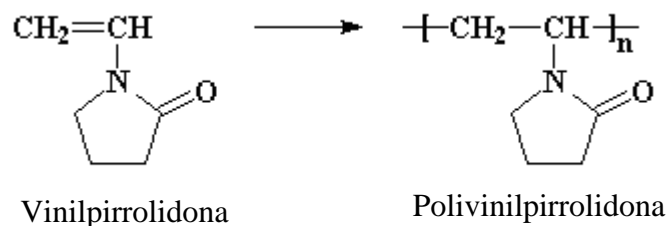


Figura 1. Estrutura molecular da vinilpirrolidona e polivinilpirrolidona.

Inicialmente, na década de 1940, a PVP foi utilizada como expensor do volume plasmático (BÜHLER, 2005). Na década de 1950, a PVP entrou no mercado de sprays capilares (PANDA, 2015). Mais tarde, a PVP ganhou seu papel útil na indústria farmacêutica (JUN *et al.*, 1989; TEODORESCU; BERCEA; MORARIU, 2019), biomédica (KURAKULA; RAO, 2020a; TEODORESCU; BERCEA; MORARIU, 2019), cosmética e alimentícia (PANDA, 2015).

Comercialmente a polivinilpirrolidona, pode ser encontrada pronta para uso em diferentes pesos moleculares. A avaliação da distribuição do peso molecular e do seu peso molecular médio numérico é feita pelo fracionamento (FRANK; POLYM, 1954). Sua designação comercial usualmente utiliza-se de um parâmetro K de Fikentsher, que foi originalmente proposto como um parâmetro independente da concentração e derivado a partir da viscosidade relativa. Seu comércio é feito em forma de pó branco ou em solução aquosa. Conhecido como um polímero estável em suas duas formas, quando armazenados em condições adequadas (SILVEIRA, 1993).

A utilização da PVP em processos germinativos ainda é limitada, é geralmente utilizada em conjunto com outra(s) substância(s) para ensaios de controle oxidativo. Renu & Anshulika (2021) testaram sementes de *Meizotropis pellita* inoculadas em meio MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962) contendo PVP e as mantiveram no escuro por 72 horas, o mesmo foi capaz de inibir o aparecimento do escurecimento, a condição de claro e escuro também foi crucial, sendo a ausência de luz mais vantajosa, reduzindo

consideravelmente o escurecimento. Sant'Ana *et al.* (2018) também identificaram, fazendo uso da PVP, uma redução de oxidação de explantes de *Campomanesia rufa* com 10 μM 2,4D.

Estudos de nanopartículas de prata (AgNPs) associadas a PVP também são facilmente encontrados na literatura. Biba *et al.* (2020) investigaram a estabilidade de AgNPs revestidas com polivinilpirrolidona em um meio de exposição, e seu efeito na germinação e crescimento inicial do tabaco. Foram constatados efeitos tóxicos das AgNP-PVP e que os mesmos foram promovidos em consequência da liberação de íons Ag^+ . Ao adicionar cisteína os efeitos negativos induzidos pela AgNP-PVP foram aliviados.

Souza *et al.* (2020) testaram a toxicidade de nanopartículas de prata não revestidas (uc-AgNP) e revestidas com polivinilpirrolidona (PVP-AgNP), em baixas concentrações (0,5–100 ng/mL), expostas ao escuro e à luz visível, usando *Allium cepa* por 4 a 5 dias. As AgNPs não causaram toxicidade aguda (ou seja, inibição da germinação da semente e desenvolvimento radicular), mas causou genotoxicidade e alterações bioquímicas nos parâmetros de estresse oxidativo (peroxidação lipídica) e atividades de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase e catalase) em condições de luz e escuridão.

A espectrometria de massa de PVP ($10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) realizada por Trimpin *et al.* (2001) durante a degradação biológica executada em um biorreator de leito fixo, mostrou que após trinta dias não houve reações oxidativas nos grupos terminais, tão pouco houve modificação nos monômeros de PVP, apontando assim que o PVP apresenta pouca biodegradação.

No estudo de Panarin e Gavrilova (1997) foi testada a degradação da polivinilpirrolidona (0,6% m/m) sob ação do H_2O_2 (0,018% m/m) a temperatura de 40, 60 e 80 °C. Verificou-se aumento de grupos carboxila (COOH) afirmando quebra da cadeia principal, foi constatado ainda que o aumento da temperatura potencializou a velocidade de degradação. Estudos de viscosimetria realizados por Ahmed e Ahmed (1990) com soluções aquosas diluídas de polivinilpirrolidona mostraram que mesmo com diferentes temperaturas as interações intermoleculares das cadeias de PVP são mais fortes que as interações PVP-água.

No trabalho de Maturana *et al.* (2000) o PVP foi utilizado como agente de extração para cátions metálicos como Cu (II), Co (II), Ni (II), Cd (II), Zn (II), Pb (II), Cr (III), e Fe (III), sendo solubilizado em n-octanol, n-decanol, e n-dodecanol com benzeno e querosene como modificadores, e extraiu-se os cátions da solução HCl/HNO_3 , usando

a técnica da extração do líquido-líquido. Um método ambiental benigno para separar o ferro e o cobalto foi desenvolvido por Lahiri & Sarkar (2007) usando a PVP, como um produto químico seguro. O método envolve a diálise dos complexos PVP-Fe e PVP-Co de encontro à água tri-destilada. A condição que apresentou resultado mais significativo para a separação foi obtida na solução aquosa usando-se pH 5 e PVP 10%.

Quando o PVP é dissolvido em solução ácida, pode ocorrer a protonação do grupo carbonila. Soluções aquosas de PVP quando aquecidas com bases fortes, formam um precipitado, mas a serem submetidas à radiações de alta energia reticulam-se. Quanto ao uso humano pode ser considerada letal se ingerida em uma grande quantidade, por exemplo, para o grau K30 é necessário mais de 100 g/kg, por isso é amplamente empregado industrialmente, também não irrita a pele ou olhos (TOKMAN; AKMAN; OZEROGLU, 2004).

A PVP tem sido utilizada pela indústria de bebidas na formação de complexos insolúveis. Na área da cosmética destina-se a formulação de controle e condicionamento de cabelos pela capacidade deste polímero em formar filmes transparentes. As qualidades adesivas são utilizadas para formular adesivos e soluções litográficas. Como coloide protetivo é utilizado em formulações de drogas, detergentes e em dispersões de pigmentos (SILVEIRA, 1993).

Enquanto na indústria farmacêutica, a PVP é amplamente utilizada pelo seu potencial em formar complexos solúveis com diversas substâncias, pela estabilização que esse polímero causa em proteínas e enzimas em diagnósticos, além de sua aplicação como adsorvente e desintegrante (KOLLIDON, 2001).

No âmbito das pesquisas, a PVP tem sido testada na extração e purificação de DNA de microrganismos (POUSSIÉ *et al.*, 2002), e na extração de enzimas (ASEGA; CARVALHO, 2004). Na indústria das bebidas, esse polímero é usado na clarificação de cervejas e vinhos, na prevenção da oxidação (vinho), da turbidez (cerveja) (BASF, 2003), bem como na retirada de fungicidas residuais em vinhos (FERNÁNDEZ *et al.*, 2005).

Para além de suas utilidades comerciais, a PVP mostrou ser um antioxidante com capacidade de adsorvente e, portanto, tem sido amplamente utilizada de diversas formas, sabendo que fenóis são adsorvidos pelo PVP através de ligações de hidrogênio, evitando assim a oxidação e a polimerização, além de adsorver os produtos da oxidação fenólica, ou seja as quinonas, pois estas são oxidantes (PASQUAL *et al.*, 1997).

A PVP tem propriedades ajustáveis e pode ser usada como um componente de suporte para entrega de genes, implantes ortopédicos e aplicações de engenharia de

tecidos. Com base em diferentes pesos moleculares e formas modificadas, a PVP pode levar a características benéficas excepcionais com propriedades químicas variadas (KURAKULA; RAO, 2020b).

2.3 *Lactuca sativa* L.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma espécie da família Asteraceae (Compositae), é uma hortaliça de muita importância econômica no Brasil. Ao longo do ano essa cultura passa por dois períodos desfavoráveis, um ocorre em baixas temperaturas (inferiores a 10°C) e alto índice pluviométrico recorrente, prejudicando a planta. O outro evento lesivo é provocado por elevadas temperaturas (acima de 20°C) e intensa radiação solar promovendo o pendoamento precoce nas plantas (ESTEFANEL, *et al.*, 1978). As temperaturas ideais para crescimento e produção da alface estão entre 15 e 24°C (KNOTT, 1962).

A alface originou-se de espécies silvestres, ainda encontradas nas regiões de clima temperado, no sul da Europa e na Ásia Ocidental (FILGUEIRA, 2003). Esta hortaliça folhosa carrega o posto de ser a mais comercializada no Brasil, é considerada uma cultura de grande consumo. Sendo fonte de vitaminas e sais minerais, destaca-se o seu elevado teor de vitamina A, além de conter vitaminas B1, B2 e C, cálcio e ferro. (PALMIERI *et al.*, 2014).

Devido ao seu baixo valor calórico é empregada em vários tipos de dietas, fortalecendo o seu consumo no mercado de uma maneira geral, compõe a maioria das saladas dos brasileiros (FERNANDES *et al.*, 2002). O cultivo da alface vem sendo praticado na forma tradicional, hidropônica e orgânica, essas diferenças na produção influenciam diretamente nas propriedades do alimento. Esta espécie também é bastante utilizada como modelo de ensaios ecotoxicológicos (MIYAZAWA; KHATOUNIAN; ODENATH-PENHA, 2001; PALMIERI *et al.*, 2014).

Segundo Magalhães & Filho (2008), para que um organismo seja utilizado como modelo em experimentos ecotoxicológicos, ele deve atender a determinados critérios, como ter ampla disponibilidade, representação ecológica, conhecimento prévio de sensibilidade, facilidade de cultivo, e importância comercial. A alface é considerada eficaz como modelo de ensaios ecotoxicológicos, sendo frequentemente utilizada nos experimentos dessa categoria (PALMIERI *et al.*, 2014).

O teste será realizado com a espécie *Lactuca sativa*, pela sua praticidade e facilidade de manejo, que permite aos ensaios um resultado completo em poucos dias e

sem a dependência de equipamentos sofisticados. Esta espécie é capaz de avaliar a fitotoxicidade de um composto ou ainda uma mistura de compostos, por meio da germinação das sementes e do alongamento da radícula desse bioindicador, a avaliação é feita através da inibição da germinação e através da medição do alongamento das radículas e do hipocótilo (SOBRERO; RONCO, 2008).

2.4 Germinação de sementes

Num sentido amplo, a palavra germinação refere-se ao conjunto de processos associados à fase inicial do desenvolvimento de uma semente (CARDOSO, 2004). Este procedimento corresponde à transformação do embrião da semente em uma planta, utilizando as reservas alimentares, a partir de então ocorre uma sequência de eventos que dependem das características da própria semente (internos) e fatores externos (NASSIF; VIEIRA; FERNANDES, 1998).

Dentre os fatores externos que influenciam a germinação podemos citar a luz, a temperatura, a luminosidade, disponibilidade de água, umidade e o oxigênio que podem determinar quantas sementes germinarão em uma amostra e a velocidade da germinação (HEYDECKER, 1977; GUIMARAES *et al.*, 2010; WAGNER JUNIOR *et al.*, 2005). A luz atua sobre os hormônios de crescimento das plantas, influenciando na germinação (LEITE, 2000). A temperatura influencia nas reações bioquímicas regulatórias do metabolismo necessário para o início do crescimento do embrião (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

A água é o principal fator para o início da germinação, ao atingir determinada quantidade de água na semente, esta começa a germinar. A embebição ativa processos metabólicos de reparação de danos estruturais que possam ter ocorrido na semente, e em seguida conduz a semente ao crescimento e desenvolvimento do embrião (CARDOSO, 2004), é nessa fase que pode sofrer influência de substâncias que venham a ser absorvidas e promover determinadas alterações, como diminuição no crescimento ou até necrose da plântula (HEALE; NORMROD, 1982). A embebição das sementes é um processo físico, relacionado basicamente às propriedades coloidais dos seus constituintes e às diferenças de potencial hídrico entre a semente e o meio externo (BEWLEY *et al.*, 2013).

O baixo potencial hídrico durante a germinação de sementes pode acarretar em inibição ou em valores insignificativos de germinação (CARDOSO, 2004). Em plena disponibilidade de água, a embebição apresenta, geralmente uma curva trifásica, em que na fase I, o teor de água na semente aumenta rapidamente, que se estabiliza na fase II,

senda mantida até a constatação visível de germinação (protrusão da radícula), então se inicia a fase III, nesse momento observa-se outro aumento no teor de água, em decorrência do crescimento do embrião (BEWLEY *et al.*, 2013).

Na fase I da germinação, acontece a reativação das enzimas mitocondriais do ciclo de Krebs e da fosforilação oxidativa, juntamente a síntese proteica a partir de substratos (enzimas, RNAt, ribossomos, RNAm etc.). As reações da fase I são processadas por enzimas preservadas na semente e são ativadas através da hidratação. Na fase seguinte (II), são ativados os processos metabólicos para iniciar o crescimento do embrião. A duração dessa fase e a quantidade de água na semente variam de acordo com o potencial de água no meio, da temperatura e da presença ou não de dormência. A síntese de DNA, divisões mitóticas e a mobilização das substâncias de reserva ocorrem após o início do crescimento do embrião, na fase III (BEWLEY *et al.*, 2013; CARDOSO, 2004).

3. Metodologia

O experimento ocorreu no laboratório do Grupo de Instrumentação em Análise Química (GIAQ) na Unidade Acadêmica de Serra Talhada/UAST em Serra Talhada - PE. Foi utilizada a espécie *Lactuca sativa* L., pela sua praticidade e facilidade de manejo, que permite aos ensaios um resultado completo em poucos dias e sem a dependência de equipamentos sofisticados.

3.1 Montagem do experimento

Para a realização do experimento, foram esterilizados em autoclave água destilada, béqueres, pinças, espátula e vinte placas de Petri, cada uma contendo uma folha de papel filtro como substrato. Após esse processo, o material foi transferido para uma estufa de 80 °C durante um período de 24h. Todos os materiais utilizados no preparo do experimento seguiram para a capela de luz UV, onde ficaram expostos durante um período de 15 minutos. Após isso, a preparação do experimento ocorreu dentro da capela de fluxo laminar, para evitar contaminação do material. As sementes utilizadas permaneceram na solução de hipoclorito de sódio a 3% (v/v) durante um período de cinco minutos e posteriormente foram lavadas com água destilada. As concentrações de PVP K 30 utilizadas foram de 1 mol/L, 0,1 mol/L, 0,01 mol/L e 0,001 mol/L e um controle contendo apenas água destilada. Para cada concentração houve três repetições e em cada placa adicionou-se 3 mL da solução e 30 sementes de alface da cultivar Mônica SF 31, Feltrin®, Farroupilha, Brasil. Em seguida as placas foram isoladas com plástico filme e

colocadas em uma câmara de germinação B.O.D. (*Biochemical oxygen demand*) com temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e com fotoperíodo de 12 horas, durante 7 dias (MIRANDA, 2019).

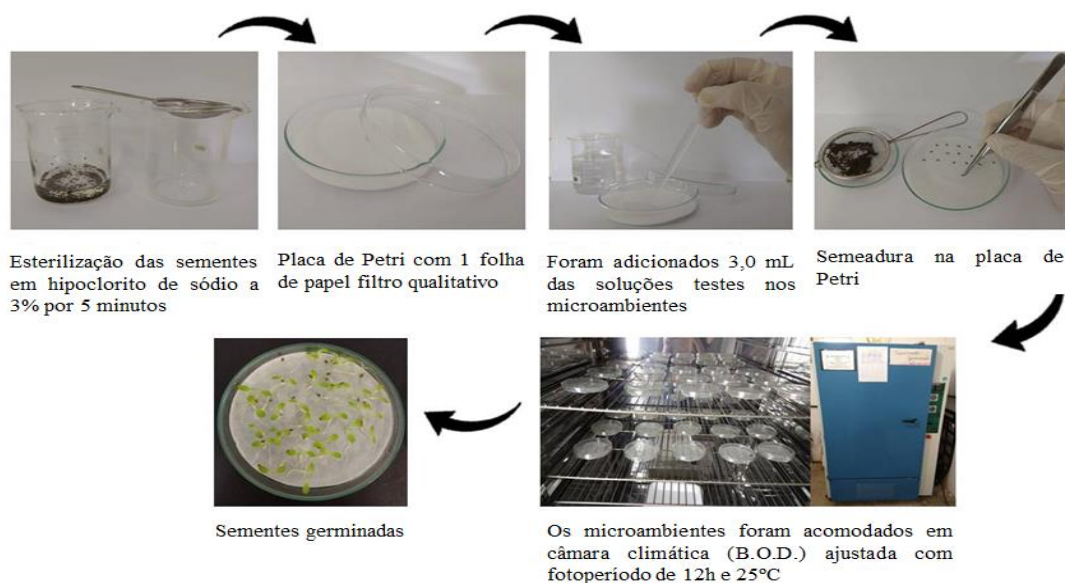


Figura 2. Procedimento de semeadura padrão: esterilização de sementes, preparação da placa para receber a semeadura, alocação das placas em B.O.D. durante sete dias, onde ocorre contagem das sementes germinadas.

3.2 Porcentagem de Germinação (%G)

Durante os sete dias de incubação para *L. sativa*, analisou-se o número de sementes germinadas contabilizadas a cada 24 horas, considerando germinadas aquelas que apresentaram protrusão da radícula a partir de 1 mm de comprimento. A porcentagem de germinação total foi calculada a partir da seguinte fórmula:

$$\%G = (N_{GT}/N_{ST}) * 100$$

Em que:

%G = Porcentagem de Germinação (%);

N_{GT} = Número total de sementes germinadas;

N_{ST} = Número total de sementes.

3.3 Análise de parâmetros biométricos das plântulas

Após sete dias do início dos experimentos, dez plântulas de alface foram separadas, de forma aleatória de cada placa, as quais foram medidas e pesadas para evidenciar o efeito dos tratamentos no crescimento e desenvolvimento inicial das plântulas. As amostras separadas foram fotografadas para mensuração do comprimento da radícula e do hipocótilo, com auxílio do programa de domínio público *ImageJ*, o qual é destinado ao processamento de imagens. As massas foram quantificadas em balança analítica (precisão 0,001 g), a biomassa seca foi determinada após o material ter passado por secagem em estufa de circulação forçada de ar (65°C) até atingir a massa constante (cerca de 24h).

3.4 Índice de velocidade de germinação (IVG)

O índice de velocidade de germinação é a relação entre o número de sementes germinadas em um dia pelos dias observados e foi calculado seguindo a fórmula proposta por Maguire (1962).

$$IVG = \sum \frac{NG}{D}$$

Onde, NG = número de sementes germinadas em um dia e D = dia observado.

3.5 Índice de Vigor (IV)

O índice de vigor das plântulas de *L. sativa* L. foi baseado na velocidade e uniformidade de desenvolvimento das plântulas e calculado de acordo com a metodologia proposta por Abdul Baki e Anderson (1973), utilizando a seguinte fórmula:

$$IV = (CR+CH) * \%G$$

Em que:

IV = Índice de vigor (cm.%);

CR = Comprimento da radícula (cm);

CH = Comprimento do hipocótilo (cm);

%G = Porcentagem de germinação (%)

3.6 Índice de tolerância (IT)

Na determinação do índice de tolerância da PVP, foi realizada uma relação entre o crescimento de um tratamento observado e o crescimento do tratamento esperado, onde se obtém a informação do quanto a planta é tolerante em comparação com o tratamento controle, utilizando a seguinte fórmula:

$$IT = 1 + LOG \frac{C(E)}{C(O)}$$

Onde, C(E) = Comprimento do grupo esperados (controle) e C(O)= Comprimento de grupo observado (tratamento).

3.7 Massa fresca e teor relativo de água

Para a determinação dos teores de massa fresca e teor relativo de água, pesou-se em balança analítica, no último dia de experimento as plântulas de cada placa, posteriormente foram levadas para secagem em estufa, e depois de totalmente secas, pesou-se novamente. A avaliação do teor relativo de água se dá pela fórmula proposta por Gulzar & Siddiqui (2017):

$$TRO = \frac{(mf - ms)}{ms} \times 100$$

No qual, mf = massa fresca e ms = massa seca

3.8 Análise dos pigmentos fotossintetizantes

Para a determinação dos níveis dos pigmentos fotossintéticos (clorofilas a, b, totais e carotenóides em µg/mL) de plântulas de *Lactuca sativa* L. utilizou-se 0,05g de tecidos cotiledonares das plântulas em 4 ml de acetona a 80% (v/v) para extração dos pigmentos, os quais estiveram acondicionados em refrigerador por 72h (figura 3), em tubos de ensaio protegidos em papel alumínio. Após esse período, os pigmentos extraídos foram quantificados em espectrofotômetro (Biochrom Libra S60), nos comprimentos de onda 470, 646,8 e 663,2 nm. Os valores para cada comprimento de onda foram utilizados nas equações, para determinação dos teores de clorofila a (*Chl a*), clorofila b (*Chl b*), clorofilas totais (*Chl a+b*), e carotenoides (*Car*) de acordo com Lichtenthaler (1987):

$$\mathbf{Chl a} = 12,25 A_{663,2} - 2,79 A_{646,8}$$

$$\mathbf{Chl b} = 21,50 A_{646,8} - 5,10 A_{663,2}$$

$$\text{Chl } a + b = 7,15 A_{663,2} + 18,71 A_{646,8}$$

$$\text{Car (xantofilas + carotenos)} = (1000 A_{470} - 1,82 \text{Chl } a - 85,02 \text{Chl } b) / 198$$



Figura 3. Tubos de ensaios acondicionados em refrigerador contendo acetona 80% (v/v) e tecidos cotiledonares das plântulas para extração dos pigmentos fotossintéticos.

3.9 Análise estatística

Realizou-se as análises dos dados utilizando o teste de ANOVA de uma via seguido do teste de Tukey, com dados expressos em média \pm desvio padrão e analisados no software *GraphPad Prism 6*, as médias foram consideradas diferentes quando $p < 0,05$.

4. Resultados

De acordo com os resultados do efeito da PVP na germinação de *Lactuca sativa* L., não houve diferença significativa sobre o número de sementes germinadas (% G) e no Índice de Velocidade de Germinação (IVG) ($p < 0,05$, figuras 4-A e 4-B).

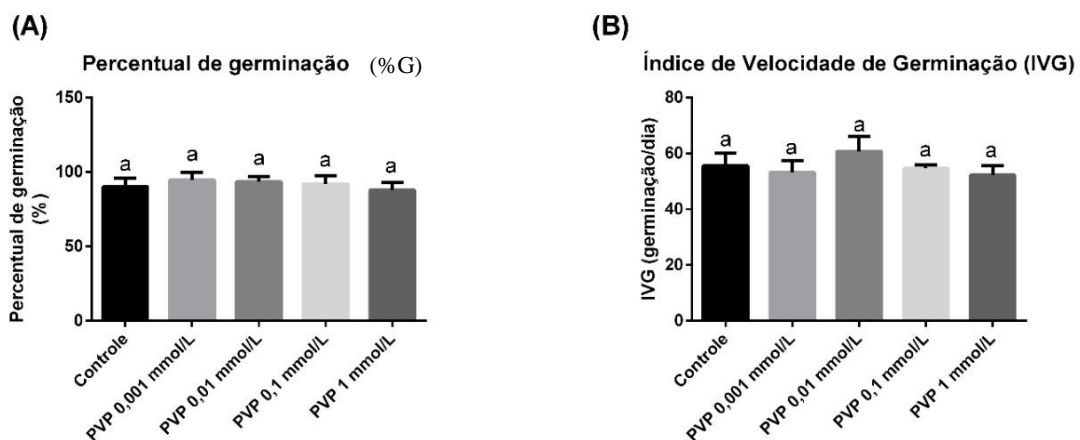


Figura 4. Análise do percentual de germinação (%G) (A) e índice de velocidade de germinação (IVG) (B) em plântulas germinadas na presença da Polivinilpirrolidona. Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Quanto ao desenvolvimento inicial das plântulas de *Lactuca sativa* L., quando analisado o comprimento radicular das plântulas (figura 5 - A), as concentrações de 0,1 mmol/L e 1 mmol/L ($2,3928 \pm 0,5712$ cm; e $2,0126 \pm 0,1613$ cm, Tabela 1) apresentaram redução radicular de 14,85 e 28,38% respectivamente em relação ao controle, enquanto o tratamento de 0,01 mmol/L ($3,5244 \pm 0,2428$ cm, Tabela 1) obteve um aumento significativo do comprimento de cerca de 25,42%. Os grupos tratados com a concentração de 0,001 mmol/L e 0,1 mmol/L não apresentaram diferença significativa quando comparados ao controle, indicando assim que essa concentração de PVP não interferiu no desenvolvimento inicial da radícula da planta.

Tabela 1: Média do crescimento da radícula e desvio padrão das plântulas de *Lactuca sativa* L. frente a diferentes concentrações da PVP.

Tratamentos	Controle (água destilada)	PVP 0,001 mmol/L	PVP 0,01 mmol/L	PVP 0,1 mmol/L	PVP 1 mmol/L
Médias (cm)	$2,8100 \pm 0,2114$ b	$3,1791 \pm 0,3375$ ab	$3,5244 \pm 0,2428$ a	$2,3928 \pm 0,5712$ ac	$2,0126 \pm 0,1613$ c

Valores expressos por média \pm desvio padrão. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Quanto ao hipocótilo das plântulas (figura 5 - B), verificou-se que todos os tratamentos obtiveram resultado aproximado, nos quais não foram constatadas diferenças significativas entre si. Os tratamentos de 0,001 mmol/L, e 0,1 mmol/L ($0,4221 \pm 0,0475$ cm e $0,4238 \pm 0,0608$ cm, Tabela 2) obtiveram redução de apenas 9,46 e 9,10% respectivamente, quando comparados ao controle.

Tabela 2: Média do crescimento do hipocótilo e desvio padrão das plântulas de *Lactuca sativa* L. frente diferentes concentrações da PVP.

Tratamentos	Controle (água destilada)	PVP 0,001 mmol/L	PVP 0,01 mmol/L	PVP 0,1 mmol/L	PVP 1 mmol/L
Médias (cm)	$0,4662 \pm 0,0672$ a	$0,4221 \pm 0,0475$ a	$0,4296 \pm 0,0199$ a	$0,4238 \pm 0,0608$ a	$0,4575 \pm 0,0348$ a

Valores expressos por média \pm desvio padrão. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

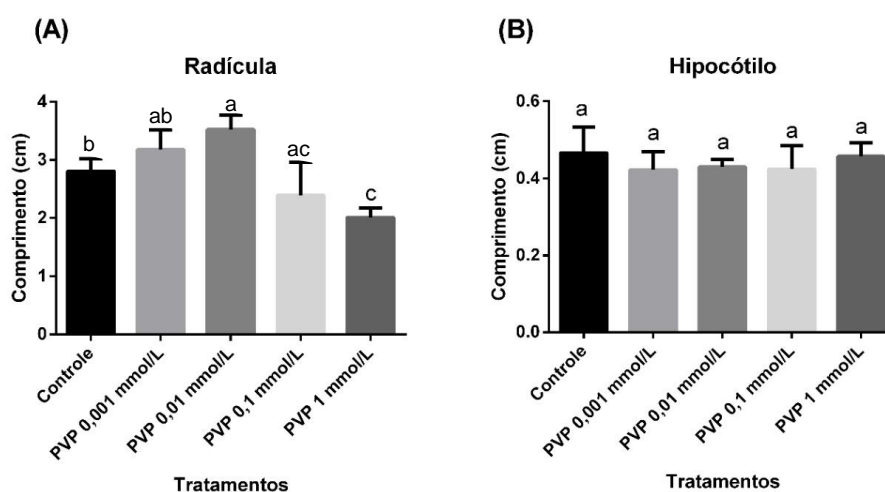


Figura 5. Efeito das diferentes concentrações da polivinilpirrolidona (PVP) no comprimento da radícula (A) e do hipocótilo (B) em plântulas de *Lactuca sativa* L. Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$)

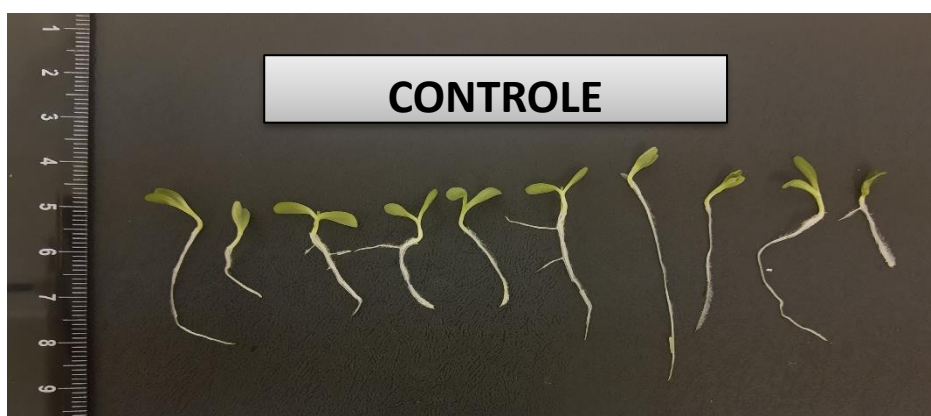


Figura 6. Efeito da água destilada e autoclavada (controle) no comprimento das plântulas de *Lactuca sativa* L.



Figura 7. Efeito da concentração de 1 mmol/L da PVP no comprimento das plântulas de *Lactuca sativa* L.



Figura 8. Efeito da concentração de 0,1 mmol/L da PVP no comprimento das plântulas de *Lactuca sativa* L.



Figura 9. Efeito da concentração de 0,01 mmol/L da PVP no comprimento das plântulas de *Lactuca sativa* L.



Figura 10. Efeito da concentração de 0,001 mmol/L da PVP no comprimento das plântulas de *Lactuca sativa* L.

No vigor, observou-se uma diminuição desse índice na maior concentração testada (1 mmol/L), enquanto a de 0,01 mmol/L apresentou uma elevação em relação ao controle.

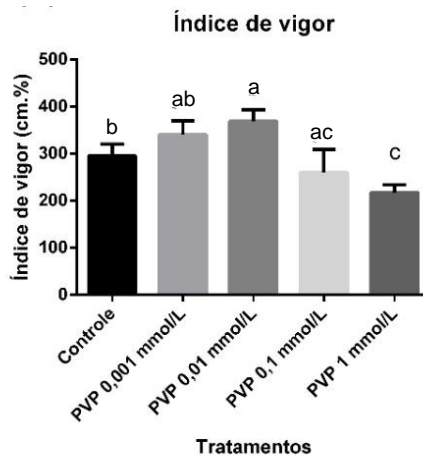


Figura 11. Representação gráfica do índice de vigor das sementes de *Lactuca sativa* L. frente a PVP. Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Quanto ao índice de tolerância (IT) todos os tratamentos apresentaram em média o mesmo índice, sendo que não houve diferença significativa quando comparado os tratamentos entre si e o controle (figura 12).

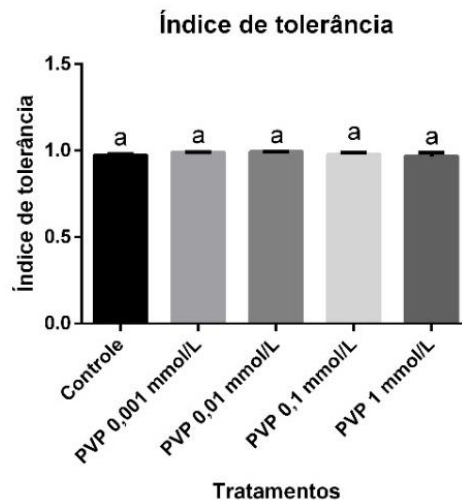


Figura 12. Análise do índice de tolerância (IT) em plântulas de *Lactuca sativa* L. germinadas na presença da polivinilpirrolidona. Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Analisando a massa fresca, massa seca e o teor relativo de água foi observado que a aplicação das concentrações da PVP, de 0,1 mmol/L e 1 mmol/L, não resultaram no aumento significativo na massa fresca quando comparado ao controle. Já as concentrações de 0,001 mmol/L e 0,01 mmol/L diferiram significativamente do controle (figura 13 - A), pelo alongamento da radícula. O teor relativo de água seguiu a mesma tendência observada na massa fresca (figura 13 - C). Os resultados da massa seca se mostraram diferentes dos parâmetros anteriores, neste, apenas a concentração de 1 mmol/L apresentou um aumento em relação as demais testadas ($p < 0,05$, figura 13 - B).

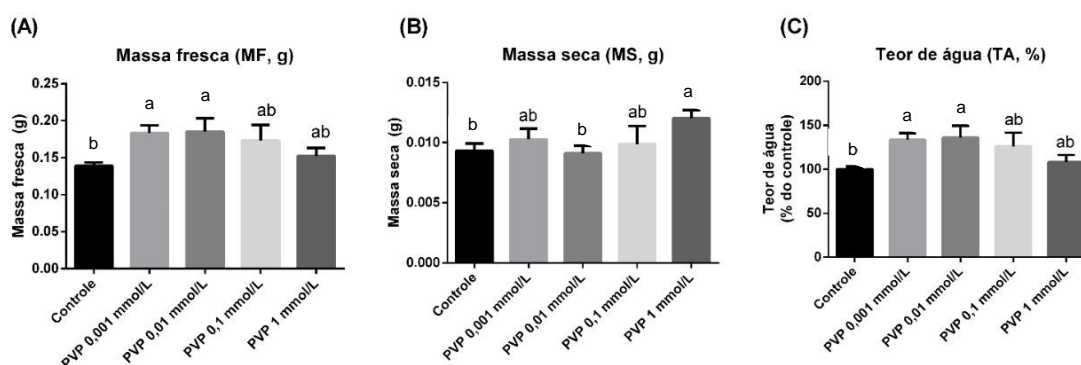
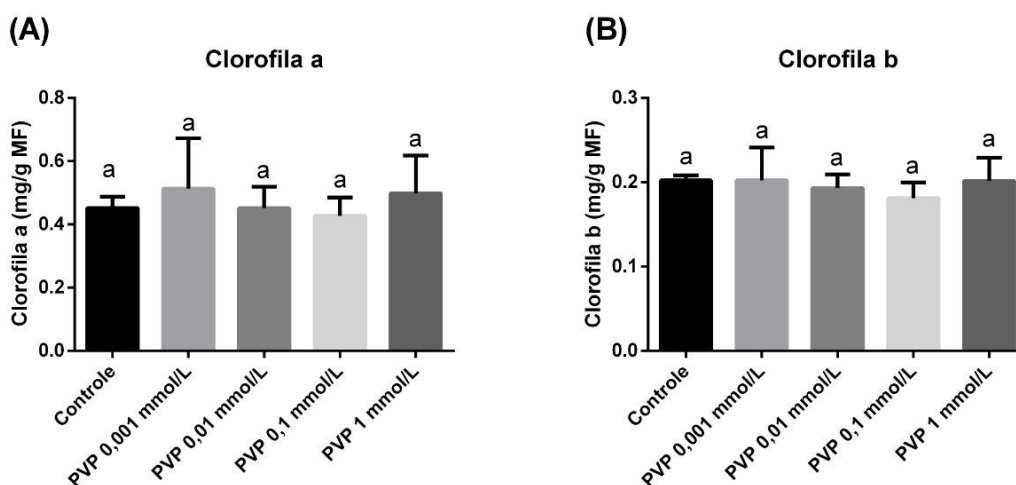


Figura 13. Representação gráfica da massa fresca (MF, g), massa seca (MS, g) e teor relativo de água (TA, %). Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Na análise dos níveis de pigmentos fotossintéticos, clorofila a (figura 14 - A), clorofila b (figura 14 - B), clorofilas totais (figura 14 - C) e carotenóides (figura 14 - D) notou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos e o controle ($p < 0,05$).



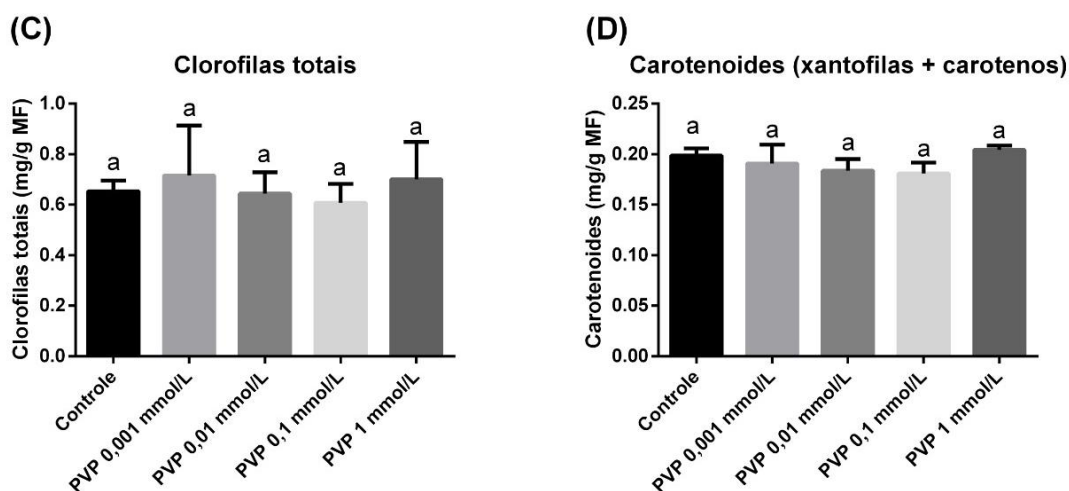


Figura 14. Análise dos pigmentos fotossintéticos em diferentes concentrações da polivinilpirrolidona, clorofila a (A), clorofila b (B), clorofilas totais (C) e carotenóides (D). Médias representadas por letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

5. Discussão

No presente estudo, plântulas de *Lactuca sativa* foram cultivadas na presença de concentrações isoladas da polivinilpirrolidona para avaliar o seu possível efeito fitotóxico. Os resultados apresentados aqui indicam que a PVP não apresentou traços de fitotoxicidade nas concentrações abaixo de 1 mmol/L testadas, de acordo com os parâmetros biométricos e pigmentos fotossintéticos.

O resultado encontrado no percentual de germinação e o índice de velocidade de germinação, os quais não sofreram diferenciação significativa do controle pode ser justificado pelo efeito antioxidante da polivinilpirrolidona. Reagindo com compostos oxidantes, esse polímero tem como principal efeito a capacidade de inibir a liberação de compostos fenólicos, os quais são prejudiciais aos tecidos cultivados *in vitro* (CORDEIRO *et al.*, 2002).

A polivinilpirrolidona é um polímero vinílico com aspectos bastante interessantes devido a sua alta solubilidade em água e efeito antioxidante (QNINT, 2020; PASQUAL *et al.*, 1997). Tendo em vista a eficiência do PVP como antioxidante, o estudo de Grattapaglia & Machado (1998), informa que a adição de antioxidantes ao meio de cultivo

ou o pré-tratamento das sementes em uma solução que os contenha pode diminuir a oxidação.

Sendo o estresse oxidativo um processo que provoca desestabilização das membranas, mutações prejudiciais e paralisação de processos metabólicos essenciais à sobrevivência por toxicidade, pode levar até a morte celular (HEYNO *et al.*, 2011). E dentre os antioxidantes químicos utilizados para reduzir a oxidação, está a polivinilpirrolidona, o carvão ativado e ácido ascórbico (GEORGE, 1996; MONACO *et al.*, 1977; PIERIK, 1990). Esse método geralmente reduz a oxidação fenólica e favorece a regeneração de explantes (TOTH; HAAPALA; HOHTOLA, 1994).

A adição de PVP em concentrações entre 100 a 1.000 mg/l elevou as porcentagens de germinação de *Cypripedium macranthos* Sw. (TOMITA; TOMITA, 1998). Enquanto no estudo de Miyoshi & Mii (1995) indicaram que uma alta concentração de PVP (10% p/v = 100.000 mg/l) inibiu a germinação de sementes de *Calanthe discolor*. No estudo de Tomita & Tomita (1998), o efeito inibitório de PVP em germinação de *Cyp. macranthos* foi observado em uma concentração menor de PVP em relação ao estudo supracitado (3.160 e 10.000 mg/l), sendo a melhor concentração de PVP (p.m. 40.000) de 100 mg/l. As concentrações ótimas de PVP para obter a estimulação do crescimento de plantas *in vitro* variam com o peso molecular PVP (TANAKA; NISHIBUCHI; GOI, 1989).

No estudo de Melo *et al.* (2001) testaram a PVP e o carvão ativado como aditivo suplementar na germinação *in vitro* de guarirobeira (*Syagrus oleracea*), a qual não se obteve resultados significativos para o PVP em relação ao IVG. A mesma resposta foi observada na porcentagem de germinação. Ao avaliar o extrato aquoso de folhas de jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) em *L. sativa* Silveira, Maia & Coelho (2012) identificaram que o IVG também não sofreu diferenciação significativa nas diferentes concentrações aplicadas. Para o percentual de germinação os extratos obtidos em água fria, também não foram afetados, ao contrário do ocorrido na extração em água quente. Ao passo em que os parâmetros supracitados não alcançaram um nível de distinção, o trabalho de Melo *et al.* (2001) apontou a eficácia do PVP no controle da oxidação.

No presente trabalho, as concentrações de PVP aplicadas não provocaram ação distinguível em relação ao hipocótilo, sendo as raízes o primeiro tecido-alvo exposto aos poluentes, os sintomas tóxicos são mais proeminentes nas mesmas, não chegando a afetar

o restante da plântula (SRESTY; RAO, 1999). No entanto, para a radícula na concentração de 1 mmol/L como mostra a figura 5 (a) e 7, houve uma diminuição significativa no comprimento radicular, que pode ser explicado pelo fato das radículas estarem em contato direto e prolongado com a alíquota de PVP (sendo então as mais sensíveis), em comparação com as suas demais estruturas (CHUNG; AHN; YUN, 2001). O tratamento identificado como T1 tinha o meio saturado em PVP, que pode ter alterado alguns fatores, como a capacidade de estabelecer ligações de hidrogênio com moléculas de água, resultando em uma dificuldade para absorver água, implicando no investimento em outros pontos da plântula como o aumento da massa celular, ao invés da raiz, refletindo também no dado da massa seca.

O polímero PVP é bastante higroscópico e pode reter mais de 0,5 mols de água por unidade monomérica. Devido a sua estrutura constituída de um grupo polar amida e grupos não polares metileno e metil, a PVP tem um caráter anfifílico. Sua estrutura possibilita a formação de complexos macromoleculares com uma variedade de compostos, através de ligação de hidrogênio, e em certos casos, outras forças como as forças polares e interações hidrofóbicas podem ser responsáveis pela forte habilidade de complexação do PVP (PRINOS; DOMPROS; PANAYIOTOU, 1997).

Oliveira *et al.* (2012) concluíram em seu estudo que o comprimento da parte aérea e da raiz das plântulas de *L. sativa* apresentaram um comportamento ligado diretamente a concentração do extrato de diferentes órgãos de *Caesalpinia ferrea*, contudo foi a raiz a mais comprometida. O extrato de folhas de *Persea americana* provocou efeito idêntico, ao anterior, em plântulas de alface (BORELLA *et al.*, 2009).

A redução radicular observada no tratamento de 1 mmol/L deste trabalho, indica uma possível fitotoxicidade (embora não tenha verificado-se necrose) e previsão de piores condições de acordo com a adição de uma concentração crescente. O tamanho da semente de alface colabora para o aumento de exposição as soluções testadas, pela maior área disponível de superfície/volume em comparação a sementes maiores (ZHU *et al.*, 2012) e pela sua sensibilidade (Gruyer *et al.*, 2014). Gruyer *et al.* (2014) testaram nanopartículas de Ag revestidas com PVP (NPs de Ag - PVP) e encontraram diferenças significativas em alface nos tratamentos de 1; 2,5; 5 e 10 mg L⁻¹ de Ag. Sendo o comprimento da raiz do tratamento 10 mg L⁻¹ reduzida 3 vezes mais em relação ao tratamento de 1 mg L⁻¹. Segundo Navarro *et al.* (2008) a toxicidade das NPs de Ag não se deve apenas a Ag iônica, mas também devido a interações dessas nanopartículas com as células. Sendo

essas interações influenciadas pelo tamanho e pelo revestimento das nanopartículas (EL BADAWY *et al.*, 2011), que nesse caso seria a PVP.

Além do encurtamento radicular, verificou-se a presença de pelos radiculares. Vários estudos na literatura mostram que os pelos radiculares desempenham um papel crucial no aumento da área de absorção das raízes, sendo essenciais para a absorção de água e nutrientes (GONÇALVES; PAUL, 2014). A presença em grande quantidade dessas estruturas nas plântulas da maior concentração testada, indica que a planta passou por uma situação adversa, a qual provocou esse aparecimento como estratégia de sobrevivência. Ainda que esse tratamento tenha apresentado sinais de fitotoxicidade o índice de tolerância não foi significativo e não afetou outros parâmetros de avaliação de efeito tóxico.

Enquanto no tratamento com 0,01 mmol/L foi constatado o aumento do comprimento radicular, ao induzir o crescimento da radícula das plântulas indica uma tendência de “aprofundamento” das raízes, que assim seriam mais eficientes em absorver água (GONÇALVES; PAUL, 2014). Na concentração mais baixa testada houve ainda um alongamento radicular perceptível na figura 5 (a), porém inferior ao tratamento identificado como T3. Ainda segundo Lis-Balchin (1989) o uso de antioxidantes na germinação de sementes protege os hormônios de enraizamento, bem como o tecido de ataque de microrganismos.

Como já visto neste trabalho o IVG não sofreu diferenciação significativa, e mesmo que este e o índice de vigor estejam ligados ao desenvolvimento inicial da plântula, segundo a literatura (DINALLI *et al.*, 2010), esse último teve ação positiva superior ao controle em comparação a concentração de 0,01 mmol/L, podendo ser explicada pelo efeito da PVP como uma espécie de suplemento nesse parâmetro (MUKIRI *et al.*, 2021). No entanto, o tratamento identificado como T1 (figura 7) apontou um índice de vigor menor em comparação aos demais, conferindo um efeito negativo (DINALLI *et al.*, 2010). A perda de vigor das plântulas pode ter ligação com a redução no comprimento radicular e vice versa.

A massa fresca e o teor relativo de água obtiveram resultados com significativo aumento, nas concentrações de 0,01 e 0,001 mmol/L (figura 13 - A e C), sobre as demais, podendo ser compreendido pelo mesmo efeito causado no vigor (de suplementação), no qual as concentrações mais diluídas foram afetadas positivamente. Em relação a massa

seca o tratamento de 1 mmol/L obteve maior massa se comparada à testemunha, provavelmente pelo engrossamento radicular visivelmente observado.

Nos níveis de pigmentos fotossintéticos não se obteve diferença significativa, entende-se então que – mesmo a maior concentração testada tenha apontado uma possível fitotoxicidade em alguns aspectos analisados – a taxa fotossintética manteve-se em nível suficiente, não precisando de estratégias para manter a taxa, como o aumento do teor das clorofilas totais e carotenóides (PANDA; BALUŠKA; MATSUMOTO, 2009).

6. Conclusão

Os resultados aqui apresentados indicam um sinal de alerta para o descarte da polivinilpirrolidona (sendo necessária atenção as concentrações liberadas no ambiente), principalmente para altas concentrações, visto que mesmo não interferindo em certos parâmetros de avaliação de toxicidade, como o índice de tolerância e o teor de pigmentos fotossintetizantes, indicou uma influência negativa no tratamento de 1 mmol/L comparado com o grupo controle em relação ao crescimento radicular e índice de vigor.

No entanto para as concentrações de 0,01 mmol/L e 0,001 mmol/L os parâmetros de MF e TA(%) mostraram que a PVP funcionou com um tipo de suplemento, melhorando-as nos aspectos analisados. Assim como para o IV no tratamento de 0,01 mmol/L. Em razão disso, podemos constatar que concentrações abaixo de 1 mmol/L não representam perigo em potencial, todavia à medida que essas concentrações possam aumentar evidencia-se o risco de afetar significativamente outros parâmetros de toxicidade na espécie *L. sativa* L.

A realização de trabalhos futuros mais detalhados é imprescindível, para demonstrar a influência da PVP sobre outras espécies, e do limite de concentrações seguras e perigosas ao ambiente natural, juntamente com a realização de outros testes complementares para melhorar o entendimento de sua toxicidade.

7. Referências

ABDUL-BAKI, A. A. & ANDERSON, J. D. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria 1. **Crop science**, v. 13, n. 6, p. 630-633, 1973.

ACIESP – Academia de Ciências do Estado de São Paulo. Glossário de Ecologia. Publ. ACIESP. São Paulo, p. 271, 1987.

AHMED, N.; AHMED, B. Intrinsic viscosity, Huggins constant and unperturbed chain dimension of poly vinyl pyrrolidone. **Journal Chemical Society of Pakistan**. v. 3, n. 12, p. 246-249, 1990.

ASEGA, A. F.; CARVALHO de, M. A. M. Fructan metabolizing enzymes in rhizophores of *Vernonia herbacea* upon excision of aerial organs. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, p. 313-319, 2004.

BASF. Products for the Food and Pharmaceutical Industry. **Technical Information**. p. 191-97, 2003.

BEWLEY, J. et al. Chapter 4: Germination. In: BEWLEY, J. et al. *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy*. 3.ed. New York, NY: Springer, p. 133-182, 2013.

BEZERRA, D. A. C.; RODRIGUES, F. F. G.; COSTA, J. G. M.; PEREIRA, A. V.; SOUSA, E. O.; RODRIGUES, O. G. Abordagem fitoquímica, composição bromatológica e atividade antibacteriana de *Mimosa tenuiflora* (Wild) Poiret e *Piptadenia stipulacea* (Benth) Ducke. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 99-106, 2011.

BIANCO, G.; SOLDI, M. S.; PINHEIRO, E. A.; PIRES, A. T. N.; GEHLEN, M. H.; SOLDI, V. Thermal stability of poly(N-vinyl-2- pyrrolidone-co-methacrylic acid) copolymers in inert atmosphere. **Polymer Degradation and Stability**, v. 80, p. 567–574, 2003.

BIBA, R.; MATIĆ, D.; LYONS, D. M.; ŠTEFANIĆ, P. P.; CVJETKO, P.; TKALEC, M.; PAVOKOVIĆ, D.; LETOFSKY-PAPST, I.; BALEN, B. Coating-dependent effects of silver nanoparticles on tobacco seed germination and early growth. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 10, 2020.

BLUM, A. E. EBERL, D. D. Measurement of clay surface areas by polyvinylpyrrolidone (PVP) sorption and its use for quantifying illite and smectite abundance. **Clay Miner.**, v. 52, n. 5, p. 589-602, 2004.

BOLUDA, R.; ROCA-PÉREZ, L.; MARIMÓN, L. Soil plate bioassay: an effective method to determine ecotoxicological risks. **Chemosphere**, v. 84, n. 1, p. 1-8, 2011.

BORELLA *et al.* Efeito alelopático de extratos aquosos de *Persea americana* Mill. sobre *Lactuca sativa* L. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 260-265, 2009. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1236/871>> Acesso em: 19 abr 2022.

BÜHLER, V. Polyvinylpyrrolidone – Excipients for Pharmaceuticals: Povidone, Crospovidone and Copovidone, Illustrate. **Springer-Verlag**, Berlím Heidelberg, Nova York, 2005.

CARDOSO, V. J. M. Germinação. In: KERBAUY, G.B. Fisiologia Vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 452, 2004.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. Editora: FUNEP, 4º ed, p. 588, 2000.

CHUNG, I. M.; AHN, J. K.; YUN, S. J. Assessment of allelopathic potential of barnyard grass (*Echinochloa crusgall*) on rice (*Oriza sativa* L.) cultivars. **Crop Protection**, v. 20, n. 10, p. 921-928, 2001.

CONNELL, D. W.; MILLER, G. J. Chemistry and ecotoxicology of pollution. **John Wiley & Sons**, v. 65, 1984.

CORDEIRO, M. C. C. et al. Germinação *in vitro* de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber). **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n. 27, p. 58-62, 2002.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M.; ESPINDOLA, E. L. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

CROOM, E. Metabolism of xenobiotics of human environments. Progress in molecular biology and translational science, **Academic Press**, v. 112, p. 31-88, 2012.

DINALLI, R. P.; CHAVES, D. C. D.; GAZOLA, R. N.; CASTILHO, R. M. M.; Germinação de Espécies Ornamentais e Medicinais. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 17, n. 2, p. 53-59, 2010.

EL BADAWY, A. M.; SILVA, R. G.; MORRIS, B.; SCHEKEL, K.G.; SUIDAN, M.T.; TOLAYMAT, T. M. Surface charge-dependent toxicity of silver nanoparticles. **Environ. Sci. Technol.** v. 45, p. 283-287, 2011.

ESTEFANEL, V.; BURIOL, G. A.; SACCOL, A. V.; ROMANI, L. B. Variabilidade e probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Rev Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 8, n. 4, p. 363-384, 1978.

ESTUDOS sobre impactos ambientais: Uma abordagem contemporânea. Organizador: Alessandro Reinaldo Zabotto - Botucatu: FEPAF, 2019. Disponível em: <<http://www.fepaf.org.br/download/Impactos-Ambientais.pdf>>. Acesso em: 02 out 2021.

FERNANDES, A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONSECA, M. C. M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidropônia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 195-200, 2002.

FERNÁNDEZ, M. J.; OLIVIA, J.; BARBA, A.; CÁMARA, M. A. Effects of clarification and filtration processes on the removal of fungicide residues in red wines (var. Monastrel). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 6156-6161, 2005.

FERREIRA, A.; AQUILA, M. Alelopatia: Uma área emergente da Ecofisiologia. **R. Bras.Fisiol.Veg**, vn. 12 p. 175-204, 2000.

FILGUEIRA, F. A. R. Abc da Olericultura, Guia da pequena horta. Editora agronômica Ceres: São Paulo, p. 48-80, 1987.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2ª ed., UFV, 2003.

FONTENELE, E. G. P. *et al.* Contaminantes ambientais e os interferentes endócrinos. **Arq Bras Endocrinol Metab**, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 6-16, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-27302010000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 mar 2020.

FRANK H. P.; POLYM J. **Sci.** v. 10, p. 371, 1954.

GAVRILESCU, M. Fate of pesticides in the environment and its bioremediation. **Engineering in life sciences**, v. 5, n. 6, p. 497-526, 2005.

GEORGE, E. F. **Plant propagation by tissue culture: part.2– In Practice.** 2.ed. Edington: Exegetics, p. 1361, 1996.

GONÇALVES, S. L., PAUL, J. Raízes de plantas anuais: tolerância a estresses ambientais, eficiência na absorção de nutrientes e métodos para seleção de genótipos [recurso eletrônico] – Londrina: Embrapa Soja, p. 67, 2014.

GOULD, P. L.; TAN, S. B. The Effect of Recompression on Disintegrant Efficiency in Tablets Prepared by Wet Granulation. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, v. 11, p. 441-460, 1985.

GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M. A. Micropropagação. In: Torres, A. C.; Caldas, L. S.; Buso, J. A. **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**, v. 1. p. 183-260, 1998.

GRUYER, N.; DORAIS, M.; BASTIEN, C.; DASSYLVA, N.; TRIFFAULT-BOUCHET, G. Interaction between silver nanoparticles and plant growth. **Acta Horticulturae**, p. 795–800, 2014.

GUIMARAES, M. A.; VIDIGAL, D. S.; LOUREIRO, M. E.; DIAS, D. C. F. S.; GUIMARAES, A. R. Influência de temperatura, luz e giberelina na germinação de sementes de *Thlaspicarulescens* J. Presl & C. Presl (Brassicaceae). **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 372-376, 2010.

GULZAR, A.; SIDDIQUI, M. B. Efeito alelopático de *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. no crescimento e atividade antioxidante de *Brassica oleracea* var. botrytis. **Jornal da Sociedade Saudita de Ciências Agrícolas**, v. 16, n. 4, p. 375-382, 2017.

GUTIERREZ, K. G. **Análise e gerenciamento de impactos ambientais no tratamento de esgoto doméstico mediante avaliação de ciclo de vida**. 2014. 115 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-A2SQYN>>. Acesso em: 11 abr 2022.

HEALE, E. L.; ORMROD, D. P. Effects of nickel and copper on *Acer rubrum*, *Cornus stolonifera*, *Lonicera tatarica*, and *Pinus resinosa*. **Canadian Journal of Botany**, v. 60, n. 12, p. 2674-2681, 1982.

HEYDECKER, W. Stress and seed germination: na agronomic view. In: A.Khan (Ed.). *The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination*. Elsevier, Amesterdam. p. 237-282, 1977.

HEYNO, E.; MARY, V. SCHOPFER, P.; KRIEGER-LISZKAY, A. Oxygen activation at the plasma membrane: relation between superoxide and hydroxyl radical production by isolated membranes. **Planta**, v. 234, n. 1, p. 35–45, 2011.

HWANG, J. S.; KO, J. E.; KIM, S. H.; HUH, K. M. Preparation and characterization of solid dispersions of eprosartan with hydrophilic polymers. **Polymer (Korea)**, v. 36, n. 4, p. 500–506, 2012.

IARC. *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2015. Disponível em: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/Table4.pdf>>. Acesso em: 07 abr 2022).

JULINOVÁ, M.; VAŇHAROVÁ, L.; JURČA, M. Water-soluble polymeric xenobiotics – Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidon – And potential solutions to environmental issues: A brief review. **Journal of Environmental Management**, v. 228, p. 213–222, 2018.

JUN, Y. B.; MIN, B. H.; KIM, S. I.; KIM, Y. I. J. Preparation and evaluation of acetaminophen tablets, kor. **Pharmaceut. Sci.**, v. 19, p. 123-128, 1989.

KNOTT, J. E. Handbook for vegetable growers. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, p. 245, 1962.

KOLLIDON. Polyvinylpyrrolidone for the Pharmaceutical Industry. 6 ed. Ludwigshafen: Basf, 2001.

KURAKULA, M.; RAO, G. S. N. K. Moving polyvinyl pyrrolidone electrospun nanofibers and bioprinted scaffolds toward multidisciplinary biomedical applications. **European Polymer Journal**, v. 136, 2020a.

KURAKULA, M.; RAO, G. S. N. K. Pharmaceutical assessment of polyvinylpyrrolidone (PVP): As excipient from conventional to controlled delivery systems with a spotlight on COVID-19 inhibition. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 60, 2020b. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez19.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1773224720313356?via=ihub>>. Acesoo em: 20 abr 2022.

LAHIRI, S.; SARKAR, S. Separation of iron and cobalt using ^{59}Fe and ^{60}Co by dialysis of polyvinylpyrrolidone–metal complexes: A greener approach. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 65, n. 4, p. 387-391, 2007.

LARKIN, R. L.; KUPEL, R. E. Análise Quantitativa de Polivinilpirrolidona em Amostras Atmosféricas e Tecidos Biológicos. **Jornal da Associação Americana de Higiene Industrial**, v. 26, n. 6, p. 558–561, 1965.

LEITE, A. L.; ALMEIDA, M. A.; OLIVEIRA, M. I.; BALÇA, M. J.; COSTA, S. L. Da célula ao organismo. Editora: Arreal Editores, p. 120, 2000.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: Methods in enzymology. **Academic Press**, p. 350-382, 1987.

LIS-BALCHIN, M. The use of antioxidants as rooting enhancers in the Geraniaceae. **The Journal of Horticultural Science**, London, v. 64, n. 5, p. 617-623, 1989.

MAGALHÃES, D. P.; FILHO, A. S. F. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 355-381, 2008.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

MARCHESAN, E.; SARTORI, G. M. S.; REIMCHE, G. B.; AVILA, L. A.; ZANELA, R.; MACHADO, S. L. O.; MACEDO, V. R. M.; COGO, J. P. Qualidade de água dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2050-2056, 2009.

MASCIOLI, C. M. **Um processo para redução de monômero residual na produção de poli(pirrolidona vinílica) e análise da agregação de valor ao polímero**. 2007. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MATURANA, H. A.; PERIC, I. M.; POOLEY, S. A.; RIVAS, B. L. Poly(N-vinylpyrrolidone) as metal ion liquid-liquid extractant. **Polymer Bulletin**. v. 45, p. 425-429, 2000.

MELLO-DA-SILVA, C. A.; FRUCHTENGARTEN, L. Environmental chemical hazards and child health. **J. Pediatr**, v. 81, p. 205-211, 2005.

MELO, B.; PINTO, J. E. B. P.; LUZ, J. M. Q.; PEIXOTO, J. R.; JULIATTI, F. C. Diferentes antioxidantes no controle da oxidação, germinação e desenvolvimento das plântulas na cultura *in vitro* de embriões da guarirrobeira [*Syagrusoleracea* (Mart.) Becc.]. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1301-1306, 2001.

MINGHETTI, P. *et al.* Design of a new water-soluble pressure-sensitive adhesive for patch preparation. **AAPS PharmSciTech**, v. 4, n. 1, p. 53-61, 2003.

MIRANDA, P. H. O. de. **Efeito protetor do extrato hidroetanólico das folhas de *Caryocar coriaceum* Wittm. sobre a fitotoxicidade induzida pelo sulfato de níquel em plantas.** 2019. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2019.

MIYAZAWA, M.; KHATOUNIAN, C. A.; ODENATH-PENHA, L. A. Teor de nitrato nas folhas de alface produzida em cultivo convencional, orgânico e hidropônico. **Agroecologia Hoje**, n. 2, p. 23, 2001.

MIYOSHI, K.; MII, M. **Plant Tissue Culture Lett.**, v. 12, n. 3, p. 267-272, 1995.

MOLYNEUX Ph. Water-Soluble Synthetic Polymers: Properties and Behavior. **CRC Press Inc.**, New York, 1983.

MONACO, L. C.; SONDAHL, M. R.; CARVALHO, A. Application of tissue culture in the improvement of coffee. IN: REINERT, J.; BAJAY, Y.P.S. Applied and fundamental aspects of plant cell tissue and organ culture, Berlin: **Springer Verlag**, p. 109-129, 1977.

MOURA, M. P. **Quantificação de Compostos Fenólicos e Avaliação do Potencial Antioxidante do Extrato Hidroalcoólico de *Dalbergia monetaria* L (Fabaceae).** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Faculdade de Farmácia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

MUKIRI, C. *et al.* Immobilization of beneficial microbe *Methylobacterium aminovorans* in electrospun nanofibre as potential seed coatings for improving germination and growth of groundnut *Arachis hypogaea*. **Plant Growth Regulation**, v. 1, p. 1-9, 2021. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez19.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s10725-021-00737-1#citeas>>. Acesso em: 22 abr 2022.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. **Physiologia plantarum**, v. 15, n. 3, p. 473-497, 1962.

NAIR, B. Final report on the safety assessment of polyvinylpyrrolidone (PVP). **Int. J. Toxicol.**, p. 95-130, v. 17, 1998.

NASSIF, S. M. L.; VIEIRA, I. G.; FERNANDES, G. D. Fatores externos (ambientais) que influenciam a germinação de sementes. Informativo Sementes-IPEF, 1998. Disponível em: <<http://www.ipef.br/tecsementes/germinacao.asp>>. Acesso em: 13 fev. 2020.

NAVARRO, E.; BAUN, A.; BEHRA, R.; HARTMANN, N. B.; FILSER, J.; MIAO, A.-J.; QUIGG, A.; SANTOSCHI, P. H.; SIGG, L. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. **Ecotoxicology**, v. 17, p. 372-386, 2008.

NOH, H. Interfacial and rheological properties of selected hydrogel formulations for soft contact lens. **Polymer (Korea)**, v. 36, n. 2, p. 190–195, 2012.

O que é polivinilpirrolidona em cosméticos. **Hangzhou Rainbow Import & Export Co., Ltd**, 2020. Disponível em: <<http://m.pt.stdpovidone.com/news/what-is-polyvinylpyrrolidone-in-cosmetics-36083904.html>>. Acesso em: 3 maio 2022.

OLIVEIRA, A. K. De *et al.* Atividade alelopática de extratos de diferentes órgãos de *Caesalpinia ferrea* na germinação de alface. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1397–1403, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/qHYgVDVrjfkLy94Z98SFpS/?lang=pt#>>. Acesso em: 20 abr 2022.

OMS Technical Report Series 751, FAO/OMS Report No. 30, 1987.

OMS. Observatório Global da Saúde (GHO), 2015. Disponível em: <<http://www.who.int/gho/es/>>. Acesso em: 07 abr 2022.

OTT, J.; TAN, D.; LOVELESS, T.; GROVER, W. H.; BRISK, P. ChemStor: Using Formal Methods To Guarantee Safe Storage and Disposal of Chemicals. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 60, n. 7, p. 3416–3422, 2020. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/action/showCitFormats?doi=10.1021/acs.jcim.9b00951>>. Acesso em: 09 abr 2022.

PALERMO, L. T.; SANCHEZ, E. M. S.; FELISBERTI, M. I. Avaliação da miscibilidade de blendas pva/pvp em solução a partir de medidas viscosimétricas. Congresso brasileiro

de engenharia e ciência dos materiais, São Pedro, 2000. Disponível em: <gppol.iqm.unicamp.br>. Acesso em: 20 mar. 2020.

PALLET, K. et al. Performance of potential non-crop or wild species under OECD 208 testing guideline study conditions for terrestrial non-target plants. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 63, n. 2, p. 134-140, 2007.

PALMIERI, M. J.; LUBER, J.; ANDRADE-VIEIRA, L. F.; DAVIDE, L. C. Cytotoxic and phytotoxic effects of the main chemical components of spent pot-liner: A comparative approach. Mutation Research/Genetic. **Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 763, p. 30-35, 2014.

PANDA, H. Herbal Cosmetics Handbook , vol. 23, (3rd Revise). **Asia Pacific Business Press Inc.**, Nova Delhi, 2015.

PANDA, S. K.; BALUŠKA, F.; MATSUMOTO, H. Aluminum stress signaling in plants. **Plant signaling & behavior**, v. 4, n. 7, p. 592-597, 2009.

PASQUAL M.; HOFFMANN, A.; RAMOS J. D. Cultura de tecidos vegetais: tecnologia e aplicações - introdução: fundamentos básicos. Lavras: UFLA/FAEPE. p. 159, 1997.

PEREIRA, J. A. R. Geração de resíduos industriais e controle ambiental. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Pará. 2002.

PIERIK, R. L. M. Cultivo in vitro de las plantas superiores. Madrid: **Mundi-Prensa**, p. 326, 1990.

POUSSIER, S.; CHÉRON. J. J.; COUTEAU, A.; LUISETTI, J. Evaluation of procedures for reliable PCR detection of *Ralstonia solanacearum* in common natural substrates. **Journal of Microbiological Methods**, v. 51, p. 349-359, 2002.

PRINOS, A.; DOMPROS, A.; PANAYIOTOU. Thermoanalytical and spectroscopic study of poly(vinyl pyrrolidone)/polystyrene-co-vinyl phenol blends. **Polymer**. v. 39, n. 14, p. 3011-3014, 1997.

PROGRAMA Internacional de Segurança Química (IPCS), Organização Mundial da Saúde / Substâncias químicas perigosas à saúde e ao ambiente; tradução Janaína

Conrado Lyra da Fonseca, Mary Rosa Rodrigues de Marchi, Jassyara Conrado Lyra da Fonseca. -- São Paulo: Cultura Acadêmica, 2008. Disponível em: <https://www2.unesp.br/Home/costsa_ses/20110610_084213.PDF>. Acesso em 01 out 2021.

QIAO, J.; FU, J.; LIN, R.; MA, J.; LIU, J. Alkaline solid polymer electrolyte membranes based on structurally modified PVA/PVP with improved alkali stability. **Polymer**, v. 51, n. 21, p. 4850–4859, 2010.

QUÍMICA NOVA INTERATIVA (QNINT). **Publicações SBQ**. 2022. Disponível em: <http://qnint.s bq.org.br/qni/popup_visualizarMolecula.php?id=jSk7dFagsfhIxl mNiCwD BhbFrE2eVdwlzWIRjNS4OJDbghVowVt3p8G3OYZMhLwlzpMtkTUulZA5zNo9VH GWwQ==>>. Acesso em: 13 abr 2022.

RATTNER, H. Meio ambiente, saúde e desenvolvimento sustentável. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 1965-1971, 2009.

RENU, C.; ANSHULIKA, U. Control of browning during seed germination of *Meizotropis pellita*: A rare and na endangered plant. **Research Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 8, p. 118-120, 2021.

ROBINSON, B. V.; SULLIVAN, F. M.; BORZELLECA, J. F.; SCHWARTZ, S. L. PVP: a Critical Review of the Kinetics and Toxicology of Polyvinylprrolidone (Povidone), Lewis Publishers, 1990.

ROMERO, P. R.; CANTÚ, A. M. Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo: la experiencia en México. **Instituto Nacional de Ecología**, 2008.

SANDERMANN, J. R. H. Plant metabolism of xenobiotics. **Trends in biochemical sciences**, v. 17, n. 2, p. 82-84, 1992.

SANT'ANA, C. R. de O.; PAIVA, R.; REIS, M. V. dos; SILVA, P. D. C. da; SILVA, C. L. In vitro propagation of *Campomanesia rufa*: An endangered fruit species. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 4, p. 372–380, 2018.

SILVEIRA P. F.; MAIA, S. S. S.; COELHO, M. F. B. Allelopathy potential of *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. aqueous leaf extract of *Lactuca sativa* L. germination. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 472–477, 2017. Disponível em: <<https://www-cabdirect.ez19.periodicos.capes.gov.br/cabdirect/abstract/20123254035>>. Acesso em: 20 abr 2022.

SILVEIRA, B. I. da. **Hidrogéis de polivinilpirrolidona: Síntese, Caracterização e Difusão**. 1993. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1993.

SOARES, W. L.; PORTO, M. F. Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 131-143, 2007.

SOBRERO, M. C.; RONCO, A. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. In: ROMERO, P. R.; CANTÚ, A. M. (Eds). Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo: la experiencia en México. 1. ed. México: Instituto Nacional de Ecología, p. 414, 2008. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=wdJWUOj81isC&printsec=frontcover&source=gs_b_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 09 jan 2021.

SOUZA, I. R.; SILVA, L. R.; FERNANDES, L. S. P.; SALGADO, L. D.; SILVA DE ASSIS, H. C.; FIRAK, D. S.; BACH, L.; SANTOS-FILHO, R.; VOIGT, C. L.; BARROS, A. C.; PERALTA-ZAMORA, P.; MATTOSO, N.; FRANCO, C. R. C.; SOARES, L. C. M.; MARCON, B. H.; CESTARI, M. M.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; LEME, D. M. Visible-light reduced silver nanoparticles' toxicity in *Allium cepa* test system. **Environmental Pollution**, v. 257, 2020.

SRESTY, T. V. S.; RAO, K. V. M. Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cells of pigeonpea. **Environ. Exp. Bot.**, v. 41, p. 3-13, 1999.

STACH, M.; LACÍK, I.; DUSAN Jr., C.; BUBACK, M.; HESSE, P.; HUTCHINSON, R. A.; TANG, L. Propagation rate coefficient for radical polymerization of *n*-vinylpyrrolidone in aqueous solution obtained by PLP-SEC. **Macromolecules**, v. 41, n. 14, p. 5174 - 5185, 2008.

TANAKA, M.; NISHIBUCHI, N.; GOI, M. Studies on the clonal propagation of monopodial orchids through tissue culture. (9) Some factors affecting the formation of PLB from *in vitro* cultured leaf segments of *Phalaenopsis*. Jour. Japan. Soc. Hort. Sci., 58 (Suppl. 2), p. 548-549, 1989.

TEODORESCU, M. BERCEA, M.; MORARIU, S. Biomaterials of PVA and PVP in medical and pharmaceutical applications: perspectives and challenges. **Biotechnol. Adv.**, v. 37, p. 109–131, 2019.

TOKMAN, N.; AKMAN, S.; OZEROGLU, C. Determination of lead, copper and manganese by graphite furnace atomic absorption spectrometry after separation/concentration using a water-soluble polymer. **Talanta**, Istanbul, Turkey. v. 63, n. 3 p. 699–703, 2004.

TOMITA, M.; TOMITA, M. Polyvinylpyrrolidone enhances seed germination and development of *Cypripedium macranthos* Sw. *in vitro*. **Plant Biotechnology**, v. 15, n. 3, p. 145-146, 1998.

TOTH, K.; HAAPALA, T.; HOHTOLA, A. Alleviation of Browning in Oak Explants by Chemical Pretreatments, **Biol. Plant.**, v. 36, p. 511–517, 1994.

TRIMPIN, S.; EICHHHORN, P.; RADER, H. J.; MULLEN, K.; KNEPPER, T. P. Recalcitrance of Poly(vinylpyrrolidone); Evidence through matrix-assisted laser desorption-ionization time-of-flight mass spectrometry. **J. Chromat. A**. v. 938, n. 1-2, p. 67 - 77, 2001.

Universidade Federal de Minas Gerais. Ficha de informações de segurança de produtos químicos. 2012. Disponível em: <<https://www.farmacia.ufmg.br/wp-content/uploads/2019/04/FISPQ-Polivinilpirrolidona.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

VIEWER *et al.* Kunststoff-Handbuch XI, Carl - Hanser – Verlag, Munich, 1971.

WAGNER JUNIOR, A.; ALEXANDRE, R. S.; NEGREIROS, J. R. S.; PARIZZOTTO, A.; BRUCKNER, C. H. Influência da escarificação e do tempo de embebição das sementes sobre a germinação de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Flavicarpadegener). **Revista Ceres**, v. 52, n. 301, p. 369-378, 2005.

WALKER, C. H.; SIBLY, R. M.; HOPKIN, S. P.; PEAKALL, D. B. Princípios de ecotoxicologia. **Pressione CRC**, 2002.

WEI, L. Research on countermeasures and methods of disposing incidents of hazardous chemicals reacting with water. **Procedia Engineering**, v. 26, p. 2278–2286, 2011. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez19.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1877705811052787?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 abr 2022.

WHEI, O. L.; BRITO NETO, J. T. X. Agentes complexantes: podante, coronante e criptante classificação e nomenclatura. **Química Nova**, v. 21, n. 5, p. 630-634, 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40421998000500015>>. Acesso em: 02 out 2021.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações. 2. ed. São Carlos: **RiMa**,. p. 486, 2008.

ZHU, Z. J.; WANG, H.; YAN, B.; ZHENG, H.; JIANG, Y.; MIRANDA, O. R.; ROTELLO, V. M.; XING, B.; VACHET, R. W. Effect of Surface Charge on the Uptake and Distribution of Gold Nanoparticles in Four Plant Species. **Environ. Sci. Technol**, v. 46, p. 12391-12398, 2012.