



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Ciências
Departamento de Química

Nayane Nunes dos Santos

A implementação de Solventes Eutéticos Profundos (DES) e Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES) no ensino de química:
uma abordagem prática e sustentável

Bauru
2024

Nayane Nunes dos Santos

A implementação de Solventes Eutéticos Profundos (DES) e Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES) no ensino de química:
uma abordagem prática e sustentável

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Faculdade de Ciências da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Ma. Amanda Cosmo de Almeida

Bauru
2024

S2
37
i

Santos, Nayane Nunes dos
A implementação de Solventes Eutéticos Profundos
(DES) e Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES)
no ensino de química: : uma abordagem prática e
sustentável / Nayane Nunes dos Santos. -- Bauru, 2024
54 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura -
Química) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências, Bauru
Orientador: Amanda Cosmo de Almeida

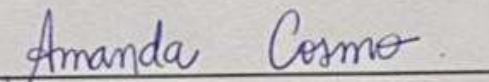
1. Solventes. 2. Química. 3. Sustentabilidade. I. Título.

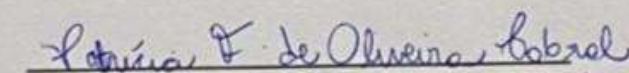
Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru. Dados
fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

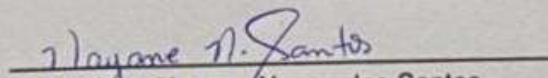
ATA DE DEFESA PÚBLICA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 21 dias do mês de junho de dois mil e vinte e quatro, às 19:00 horas, em sessão pública realizada presencialmente na sala de número dezoito deste campus da Unesp, a discente Nayane Nunes dos Santos apresentou a monografia intitulada "A Implementação de Solventes Eutéticos Profundos (DES) e Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES) no Ensino de Química: Uma Abordagem Prática e Sustentável" como um dos requisitos para a conclusão do curso de Licenciatura em Química. Em seguida, foi arguida pela banca examinadora presidida pela Orientadora Ma. Amanda Cosmo de Almeida e composta pelas examinadoras Profa. Dra. Patrícia Fernanda de Oliveira Cabral e Ma. Patrícia Osório Ferreira. Após reunião em sessão reservada, a banca examinadora deliberou pela aprovação do trabalho com nota 10,0, e eu, na qualidade de presidente, lavrei a presente ata, que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pela discente.


Ma. Amanda Cosmo de Almeida
Orientadora


Profa. Dra. Patrícia Fernanda de Oliveira Cabral
Examinadora 1


Ma. Patrícia Osório Ferreira
Examinadora 2


Sra. Nayane Nunes dos Santos
Discente

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e Nossa Senhora, por me permitirem trilhar esse caminho.

Aos meus pais, em especial minha mãe, por todo trabalho e dedicação para com a minha criação.

Às minhas irmãs e afilhada, por tornarem meus dias menos difíceis e me apoiarem.

Aos meus amigos de curso Laurene, Lucas, Mariana, Paulo e Victória por terem feito essa jornada acadêmica mais leve.

À minha amiga Ariane, que convive comigo há 20 anos e aguentou meus surtos e mau humor durante o processo de escrita deste trabalho.

Às minhas amigas Ludmyla e Kethlin, por sempre abraçarem minhas loucuras e me apoiarem.

A Naumteria e alguns ritmistas, por também deixar a minha jornada unespiana menos difícil, me fazendo ter um equilíbrio no meio de tantas coisas.

Ao Justin Bieber por todas as músicas cantadas que me ajudaram e me acalmaram durante as minhas crises de ansiedade.

Principalmente à minha orientadora, Amanda, por toda paciência e dedicação para a construção deste trabalho.

E aos que passaram pela minha vida durante esses anos e causaram alguma memória, e que participaram, direta ou indiretamente da construção deste trabalho.

*“Eu, um universo de átomos...
Um átomo no universo.”*

Richard P. Feynman

RESUMO

Atualmente, nas indústrias e também durante o ensino superior, são utilizados muitos solventes, como por exemplo o tolueno, o benzeno, o metanol, o clorofórmio, entre outros, que geram resíduos que apresentam consideráveis riscos ao meio ambiente e à saúde humana. Como uma alternativa mais segura e ecológica aos solventes convencionais, surgem os Solventes Eutéticos Profundos (DES), que são uma classe de solventes formados por mistura de sais de amônio, que funcionam como compostos aceptores de ligações de hidrogênio (HBA), interagindo com compostos doadores de ligações de hidrogênio (HBD). Quando provenientes de compostos naturais e formados por aminoácidos, açúcares e ácidos orgânicos, são chamados de Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES). É estimada a implementação de medidas de prevenção e remediação de resíduos, utilizando-se meios mais sustentáveis e tecnologias limpas para minimizar os impactos, através da diminuição do uso de solventes convencionais. Neste sentido, o trabalho objetivou propor a integração curricular desses novos solventes nas disciplinas de Química, através de uma proposta didática e um roteiro experimental, assim, alinhando a educação científica com as demandas ambientais, visando a sustentabilidade dos solventes eutéticos em comparação com os solventes tradicionais. Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica acerca dos Projetos Pedagógicos dos cursos de Química das universidades públicas do estado de São Paulo, a fim de analisar como a temática relacionada aos solventes verdes e sustentabilidade é aplicada nos cursos de graduação. Em seguida, foram elaboradas uma proposta didática e um roteiro experimental, ambos confeccionados visando a integração curricular dos DES e NADES no ensino superior de Química, principalmente como um material de suporte ao docente. A proposta visou enquadrar aspectos científicos que podem ser explorados tanto numa vertente prática quanto teórica, podendo, então, ser utilizada e adaptada pelo docente de acordo com os recursos disponíveis. Portanto, o presente trabalho demonstrou a escassa incidência quando do ensino sobre solventes verdes e sustentabilidade. Além disso, apresentou a possibilidade de abordar uma metodologia mais verde, explorando o emprego de DES e NADES em detrimento aos solventes convencionais, no ensino de Química.

Palavras-chave: Solventes Eutéticos Profundos (DES); Ensino superior de Química; Roteiro experimental; Química Verde; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Nowadays in industries and during undergraduate courses, there are many solvents such as toluene, benzene, methanol, chloroform and others, generating residues that show a considerable risk to the environment and human health. As a safer and environmentally friendly alternative to conventional solvents, the Deep Eutectic Solvent (DES) is a group of solvent which is made up of ammonium salts mixtures that will work as a hydrogen bond acceptor (HBAs) interacting with hydrogen bond donors (HBDs). When originated from natural compounds and made by amino acids, sugars, organic acids, it's called Natural Deep Eutectic Solvent (NADES). It is estimated that waste prevention and remediation measures, using more sustainable means and clean technologies to minimize impacts, by reducing the use of conventional solvents. In this sense, this study aimed to propose the curricular integration of this new solvents in chemistry classes, through a didactic proposal and an experimental script, aligning scientific education with environmental demands, looking forward the sustainability of eutectic solvents in comparison with traditional solvents. Firstly, a literature review was carried out on the Pedagogic Projects of the public universities in the state of São Paulo, in order to analyze how the theme related to green solvents and sustainability is applied in undergraduate Chemistry courses. Then, a didactic proposal and an experimental script were developed, both designed with a view to the curricular integration of DES and NADES in undergraduate Chemistry, especially as a support material for the Professor. This proposal addresses scientific aspects that can be explored from both a practical and theoretical perspective, and can be used and adapted by the Professor, accordingly to the available resources. Therefore, the present work demonstrated the scarce incidence when teaching about green solvents and sustainability. Furthermore, it presented the possibility of approaching a greener methodology, exploring the use of DES and NADES instead of the conventional solvents, in the Chemistry teaching.

Keywords: Deep Eutectic Solvents (**DES**); Higher education in chemistry; Experimental guideline; Green Chemistry; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Algumas moléculas comuns do tipo aceptoras de ligação de hidrogênio (HBA) e doadoras de ligação de hidrogênio (HBD).	16
Figura 2 – Diagrama de fase de um sistema binário.	17
Figura 3 – Diversas aplicações dos solventes eutéticos profundos.	19
Figura 4 – As 10 áreas mais relevantes de publicações nos anos de 2016-2021 para “Deep Eutectic Solvent” OR “Natural Deep Eutectic Solvent”, segundo o Web of Science.	21
Figura 5 – Alcalóides oxindólicos presentes na <i>Uncaria tomentosa</i> .	38
Figura 6 – Esquema para determinação da curva padrão de ácido gálico.	41
Figura 7 – Curva de calibração do Ácido gálico.	42
Figura 8 – Coloração esperada do PET.	43
Figura 9 – Polifenóis extraíveis totais da <i>U. tomentosa</i> extraídos com diferentes concentrações de DES.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Os dozes princípios da Química Verde.	15
Tabela 2 – Trabalhos realizados utilizando DES e NADES.	19
Tabela 3 – Relação entre as características dos NADES e os Princípios da Química Verde.	20
Tabela 4 – Planejamento da proposta didática de implementação dos DES.	34
Tabela 5 – Composição do DES betaína-uréia (1:6).	40
Tabela 6 – Preparo das soluções para curva-padrão do ácido gálico.	41
Tabela 7 – Média e Desvio Padrão das Extrações.	43
Tabela 8 – Valores de PET determinados para as extrações.	44

APÊNDICES

Tabela A. 1 – Disciplinas ofertadas no campus da UNICAMP.	51
Tabela A. 2 – Disciplinas ofertadas nos campus da USP.	52
Tabela A. 3 – Disciplinas ofertadas nos campus da UNESP.	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DES	do inglês <i>Deep Eutectic Solvents</i>
HBA	Aceptores de ligações de hidrogênio
HBD	Doadores de ligações de hidrogênio
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LIs	Líquidos iônicos
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NADES	do inglês <i>Natural Deep Eutectic Solvents</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PET	Polifenóis Extraíveis Totais
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POP	Procedimento Operacional Padrão
PPP	Projeto Político Pedagógico
QV	Química Verde
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNICAMP	Universidade de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. SOLVENTES EUTÉTICOS (NATURAIS) PROFUNDOS	15
2. OBJETIVO	22
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3. METODOLOGIA	23
3.1. PESQUISA DOCUMENTAL SOBRE OS PPP	23
3.2. PROPOSTA DIDÁTICA	23
3.3. ROTEIRO EXPERIMENTAL	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. ANÁLISE DOS PROJETOS POLÍTICOS PEDAGÓGICOS	26
4.1.1. UNICAMP	26
4.1.2. USP	27
4.1.3. UNESP	29
4.2. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO	32
4.2.1. <i>Planejamento da proposta didática</i>	34
4.2.2. <i>Roteiro experimental com diretrizes ao docente</i>	36
5. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICES	51

1. INTRODUÇÃO

Os processos industriais, que abrangem desde a obtenção da matéria-prima até toda a manufatura do produto final, referem-se à técnicas e procedimentos que transformam materiais de partida em produtos químicos acabados. Embora tais processos tenham capacidade de produção em larga escala, as consequências – ambientais – provenientes destes são, por vezes, negligenciadas (PEREIRA, 2010).

Solventes orgânicos ou solventes tradicionais são usados em quantidades expressivas, tanto na indústria quanto na pesquisa, para diversos propósitos como processos de separação, extração, catálise, síntese orgânica, entre outros. Esses solventes orgânicos convencionais são moléculas voláteis à base de carbono, predominantemente lipofílicas, inflamáveis, tóxicas e que podem, então, causar problemas relacionados à saúde humana – tal como doenças neurológicas – e ao ambiente (SINGH, *et al.* 2021).

Uma vez que podem conter substâncias perigosas, tóxicas e poluentes, o descarte incorreto dos resíduos gerados por meio dos processos de transformação da matéria-prima tem um impacto significativo ao meio ambiente e à saúde humana. Segundo Gusmão (2000), a produção em excesso e a má administração dos resíduos gerados pelas indústrias, provocam uma série de consequências, tais como inúmeras doenças, problemas de saneamento devido à poluição das fontes de água, o assoreamento dos rios e córregos, poluição do ar e outros. Nesse contexto, a Educação Ambiental emerge como um elemento crucial para uma melhor gestão desses resíduos, promovendo assim, a redução dos impactos ambientais negativos. (COSTA; BATISTA, 2016).

Existem normas ambientais federais que regulamentam o descarte dos dejetos industriais (MARTINS, 2004). Órgãos como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) encaminham alguns projetos de lei ao Poder Executivo Federal, que apontam normas para a finalidade correta dos resíduos, a fim de causar menos danos ambientais. O MMA foi o responsável pela implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei nº 12.305/2010, a qual prevê a redução de resíduos sólidos, tendo em vista hábitos de consumo mais sustentáveis e práticas que visam a reciclagem e a reutilização destes resíduos, além da destinação ambientalmente mais

adequada do que não pode ser reciclado ou reutilizado (BRASIL, 2010).

Apesar da existência de normas e leis ambientais acerca de resíduos industriais, ainda que os resíduos líquidos sejam citados dentro das instruções normativas da PNRS e na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), não foram encontradas diretrizes específicas voltadas aos resíduos líquidos e solventes provenientes de tais processos (BRASIL, 1997). Assim, faz-se urgente e necessária a implementação de medidas de prevenção e remediação desses resíduos, utilizando-se meios mais sustentáveis e tecnologias limpas para minimizar os seus impactos no ambiente e nas sociedades, como através de reciclagens de materiais, catálise, diminuição do uso de solventes convencionais e priorizando fontes de energia renováveis (PRADO, 2003). E é a partir desse ponto que entra a “Química Verde” (QV).

“As ideias base da QV (Química verde) foram o resultado de um longo processo de luta, por parte dos químicos industriais de processo e engenheiros químicos, para tornar a Indústria Química menos nociva para o ambiente – em particular, para lidar mais eficazmente com a produção de resíduos e minimizar a sua quantidade” (MACHADO, 2011, p. 539).

Ela surgiu como “resposta” aos crescentes problemas trazidos pela indústria, sendo uma abordagem sustentável para a aplicação e desenvolvimento de processos químicos, que diminuem os impactos ambientais através da utilização de recursos naturais (Machado, 2011). O termo “desenvolvimento sustentável” foi utilizado pela primeira vez em 1987, no Relatório “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como Relatório Brundtland em menção a primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland e publicado pela Organização das Nações Unidas (ONU) (MACHADO, 2011; TORRESI *et al*, 2010; MAGESTE, 2023). Tal relatório caracteriza o desenvolvimento sustentável como:

“desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades” (JAPIASSÚ, 2017).

A sustentabilidade, compete à busca de equilibrar ações e decisões que considerem paralelamente aspectos econômicos, sociais e ambientais, com objetivos

na preservação do meio ambiente, ao progresso econômico e à justiça social (MACHADO, 2011). Logo, uma abordagem sustentável, vai além dos ganhos e processos imediatos, mas reconhece as consequências futuras que virão a longo prazo.

Dentro da Química Verde é estimado o uso de fontes renováveis e matérias-primas que agredam minimamente o meio ambiente. Segundo da Silva *et al*, (2005):

"A Química Verde é, na realidade, uma filosofia. Há tempos atrás um desafio sintético consistia em chegar à molécula alvo. Quando se aplica a idéia da Química Verde, um desafio sintético trata-se de chegar à molécula alvo com uma metodologia que agrida o mínimo o meio ambiente" (Silva *et al*, 2005, p. 110).

A Química Verde, também conhecida como Química Limpa, tem como principal objetivo reduzir e substituir a utilização de substâncias tóxicas, solventes perigosos e processos que agredem o meio ambiente, por meios ambientalmente e economicamente mais seguros, utilizando matérias-primas renováveis e gerando menos resíduos. Um ótimo exemplo é a cana-de-açúcar, extensivamente cultivada no Brasil e altamente utilizada para produção de combustíveis (SILVA *et al*, 2005).

Uma vez que as indústrias são as maiores responsáveis por gerar resíduos que impactam diretamente o meio ambiente, a Química Verde se volta para elas, buscando promover a sustentabilidade e minimização dos danos sociais, econômicos e, principalmente, ambientais (SILVA *et al*, 2005; PRADO, 2003). Mediante a tais preocupações recorrentes, a Química Verde conta com doze princípios, apresentados na Tabela 1. De modo geral, eles visam a menor utilização de matérias-primas e geração de resíduos, ambientalmente menos agressivos, através de processos mais sustentáveis (PRADO, 2003).

Tabela 1 – Os dozes princípios da Química Verde.

1	Prevenção
2	Eficiência atômica
3	Sínteses com compostos de menor toxicidade
4	Desenvolvimento de compostos seguros
5	Uso de solventes e auxiliares mais seguros
6	Eficiência energética
7	Uso de matérias-primas renováveis
8	Redução de formação de derivados reacionais
9	Catálise
10	Desenvolvimento de compostos degradáveis
11	Análise em tempo real para a prevenção da poluição
12	Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes

Fonte: Prado, 2003. pág. 738-739; Anastas e Warner, 1998.

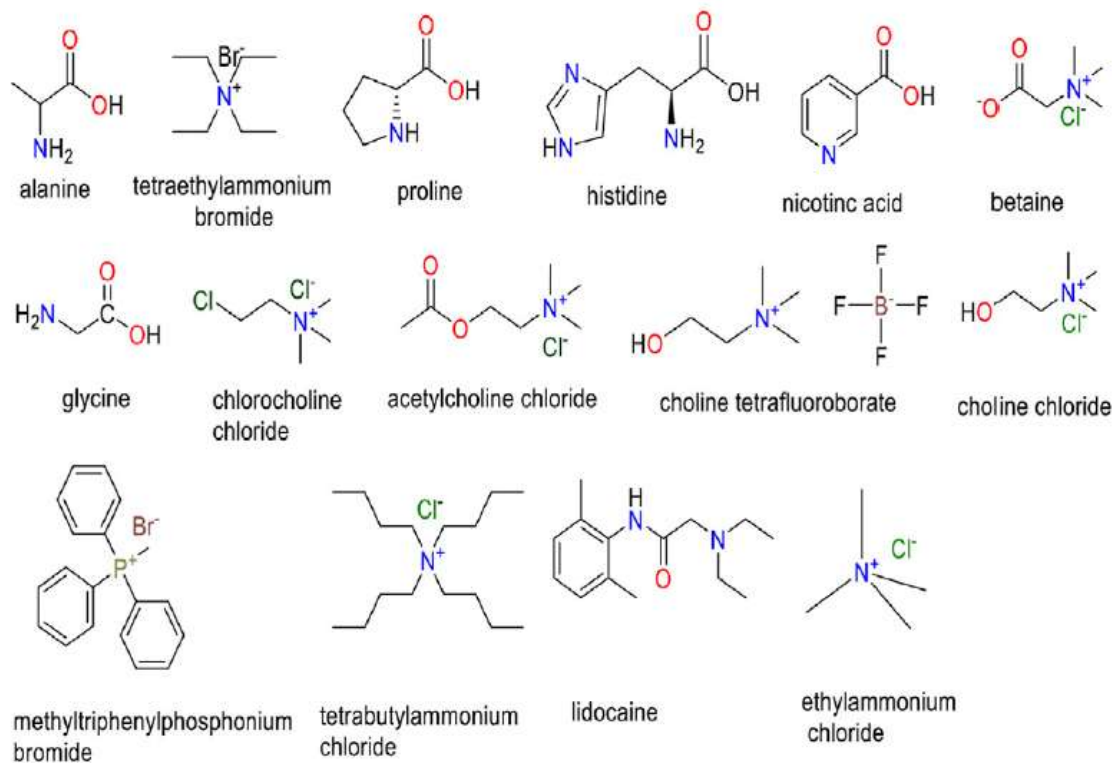
Por sua vez, no meio acadêmico, a Química é uma ciência fundamental que lida com a produção e o uso de produtos químicos, em média e larga escala, além de ser uma das portas de entrada para formação de profissionais que ingressarão no setor industrial (SILVA *et al.* 2005; PRADO, 2003). Nesse contexto, é importante que o setor acadêmico busque por englobar alternativas mais verdes no ensino de Química, visando a formação de profissionais mais preparados e preocupados com o meio ambiente.

1.1. SOLVENTES EUTÉTICOS (NATURAIS) PROFUNDOS

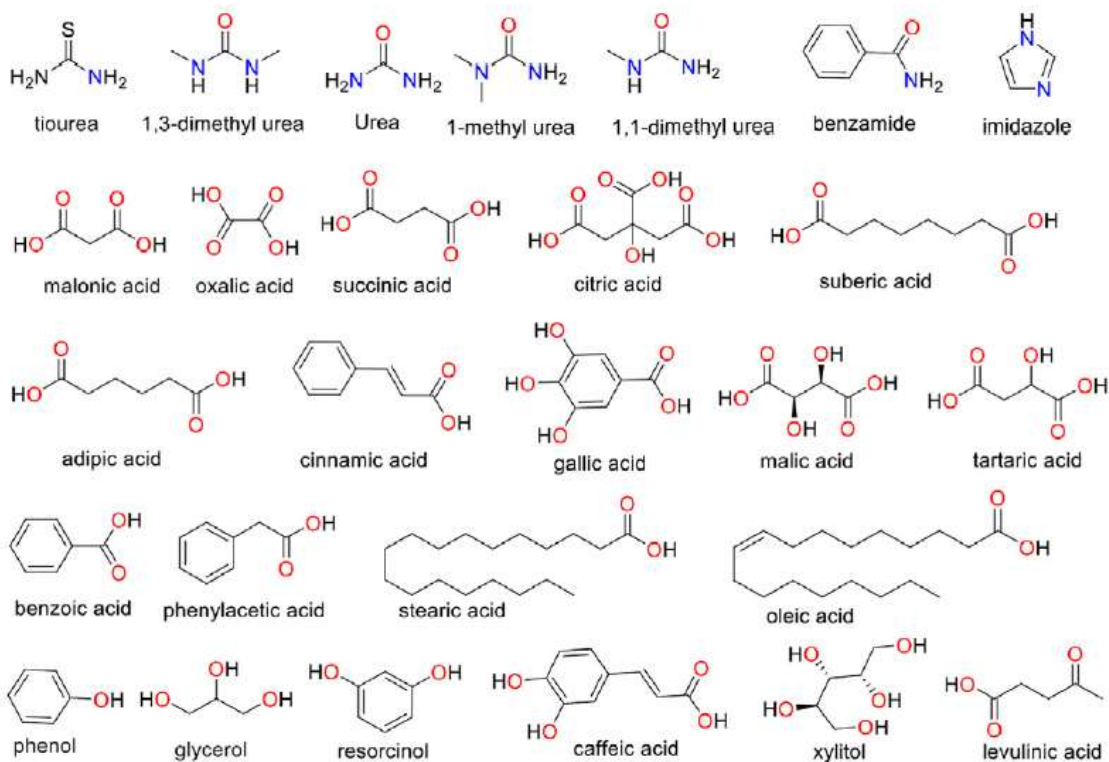
Os solventes eutéticos profundos (do inglês *Deep eutectic solvents*, DES), consistem em misturas de sais de amônio, que funcionam como compostos aceptores de ligações de hidrogênio (HBA), interagindo com compostos doadores de ligações de hidrogênio (HBD). Alguns exemplos de moléculas do tipo HBA e HBD são ilustradas na Figura 1 (SANTANA, 2021; SINGH *et al.*, 2021).

Figura 1 – Algumas moléculas comuns do tipo aceptoras de ligação de hidrogênio (HBA) e doadoras de ligação de hidrogênio (HBD).

Hydrogen Bond Acceptors



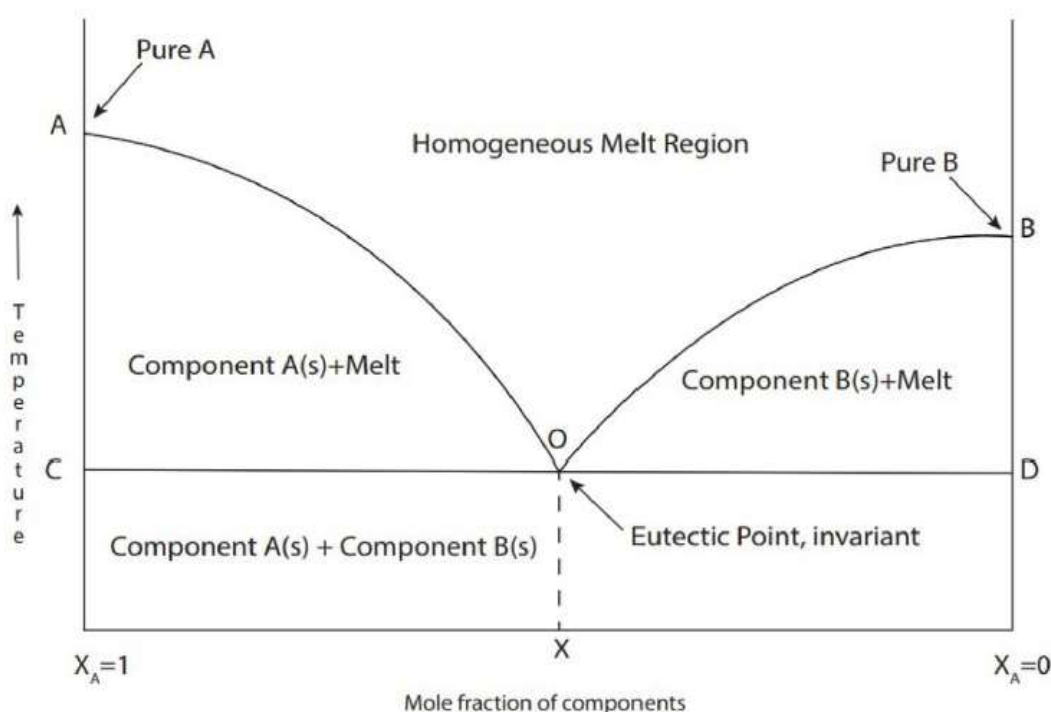
Hydrogen Bond Donors



Fonte: Singh *et al*, 2021. pág. 4

Uma mistura eutética é preparada pela combinação de dois (ou mais componentes) que dispõem de ponto de fusão mais baixo em comparação com os seus materiais de partida (Figura 2). Os DES, em particular, apresentam uma depressão ainda maior no ponto de fusão, geralmente abaixo da temperatura ambiente, devido à interação entre as espécies HBA e HBD, levando à formação de um líquido claro, viscoso, que pode ser hidrofílico ou hidrofóbico, dependendo da escolha dos precursores utilizados em sua preparação (SINGH *et al*, 2021).

Figura 2 – Diagrama de fase de um sistema binário.



Fonte: Singh *et al*, 2021. pág. 4

Os DES também são conhecidos como líquidos iônicos (LIs) de terceira geração. Eles surgiram para suprir algumas limitações propriamente ditas dos LIs, são obtidos facilmente em termos de pureza e baixo custo. Além disso, em comparação aos LIs, apresentam toxicidade baixa ou mesmo nula, o que os torna de grande importância (CRUZ, 2018).

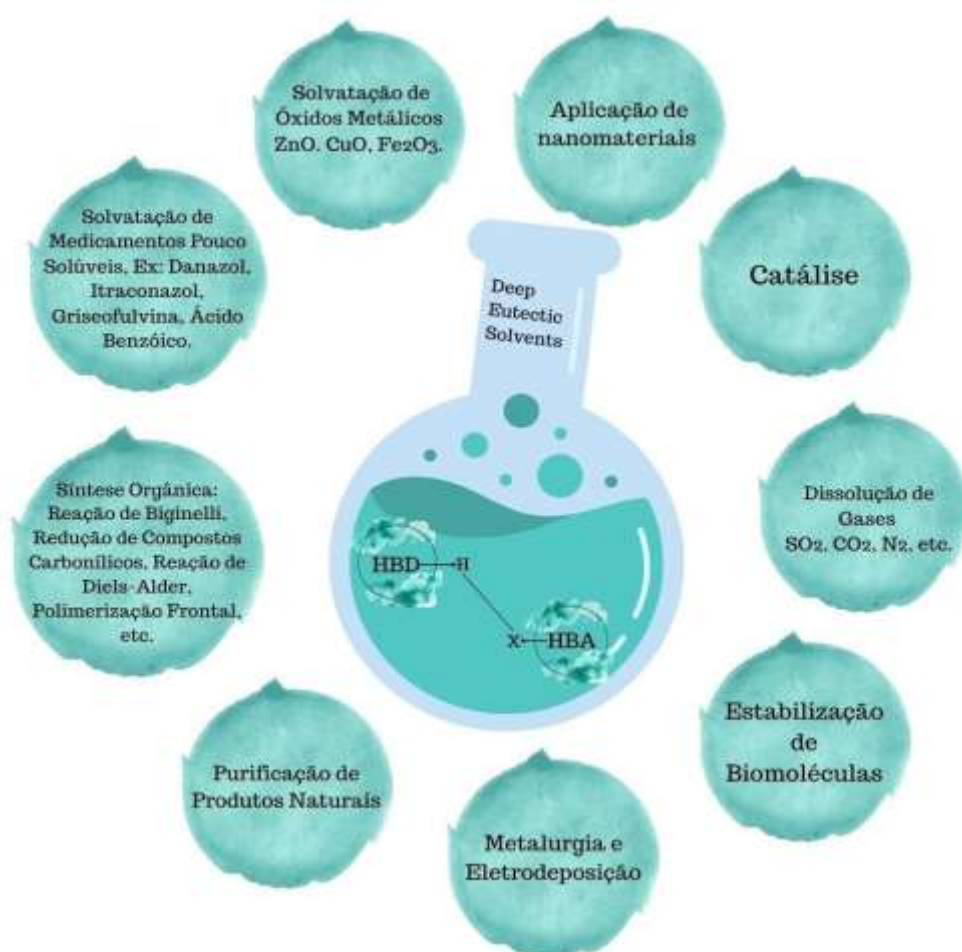
Atualmente, dentre as variadas possibilidades de aplicações, os DES vêm sendo utilizados como alternativa para a extração de compostos fenólicos, no lugar dos solventes orgânicos tradicionais. Esta ideia é aplicada à criação de solventes customizados que utilizam diferentes combinações de HBD e HBA, com propriedades

específicas, capazes de dissolver e extrair com eficácia metabólitos e compostos biologicamente ativos de plantas, por exemplo (VIEIRA *et al*, 2018 citado por CRUZ, 2018).

Os DES, quando formados por aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos, são chamados de solventes eutéticos naturais profundos (NADES), derivado do inglês “*Natural Deep Eutectic Solvents*”. Em outras palavras, NADES referem-se a solventes líquidos em temperatura ambiente e que partem da combinação de HBD e HBA provenientes de compostos naturais. Diferente dos demais solventes, eles são formados a partir de mistura de compostos de baixa toxicidade, derivados de fontes renováveis farmacologicamente aceitáveis e biodegradáveis (SANTANA *et al*, 2021; SINGH *et al*, 2021).

Esta nova classe de solventes, que passou a ser estudada e reconhecida a partir de 2011, vem sendo utilizada em diversas aplicações, como pode-se observar na Figura 3. Durante a revisão bibliográfica para realização do presente trabalho, foram encontrados alguns artigos e teses que utilizam os DES e os NADES como principal meio para extração e preparo de amostras, apresentados na Tabela 2.

Figura 3 – Diversas aplicações dos solventes eutéticos profundos.



Fonte: Adaptado de Singh *et al*, 2021. pág. 8

Tabela 2 – Trabalhos realizados utilizando DES e NADES.

Ano	Título do trabalho	Referências
2018	Utilização de solventes eutéticos na extração de compostos bioativos da uncaria tomentosa (Willd.) D.C.	CRUZ, 2018
2021	Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES) para o emprego em análise elementar por técnicas com fonte de plasma.	SANTANA, 2021
2021	Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES) no preparo de amostras de rocha fosfática e suplemento mineral para determinação elementar por técnicas de plasma	SANTANA <i>et al</i> , 2021
2022	Síntese, caracterização e aplicação de solventes eutéticos naturais profundos (NADES) para extração de compostos fenólicos de lúpulo	LEME, 2022
2022	Solventes Eutéticos Naturais Profundos como alternativa aos solventes orgânicos na extração de terpenos bioativos de Casearia sylvestris Swartz	UNGER, 2022

Fonte: Autora.

Os NADES possuem uma versatilidade que, alterando seus componentes, os permitem adaptar suas propriedades para que atendam a diferentes aplicações. Outro ponto interessante é a capacidade de solubilizar diversos compostos e serem utilizados em catálises, sem a formação de subprodutos, resultando em materiais biodegradáveis. Além disso, eles possuem características importantes que aderem aos Princípios da Química Verde, tais como mostrados na Tabela 3 (UNGER, 2022).

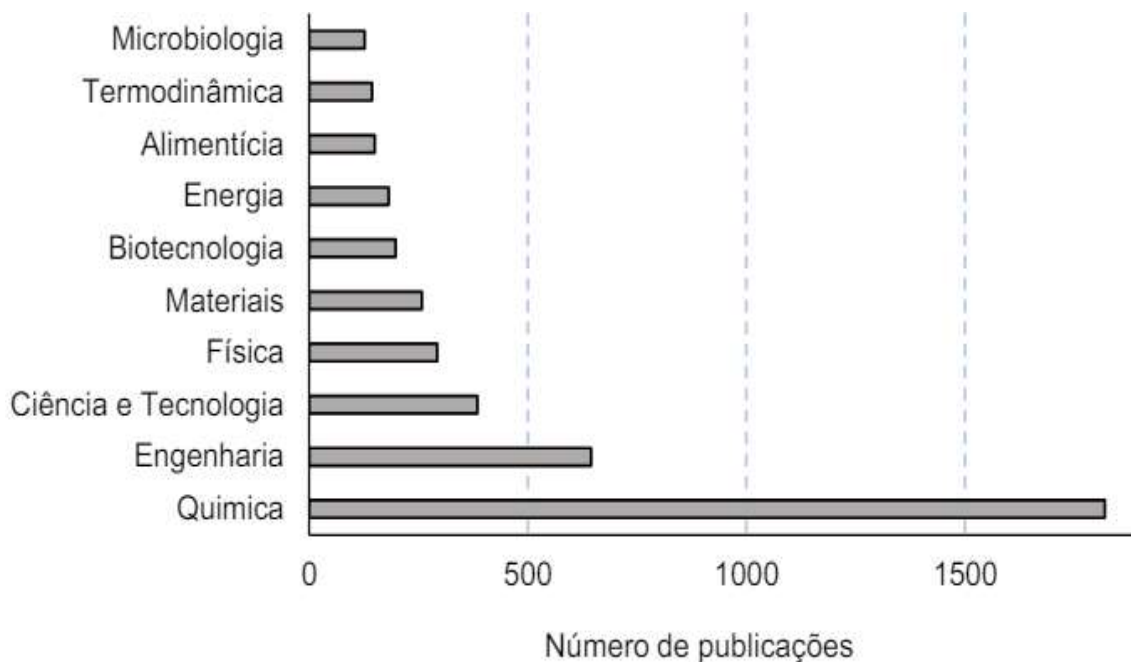
Tabela 3 – Relação entre as características dos NADES e os Princípios da Química Verde.

Alta biodegradabilidade	Sendo o 10º princípio da Química Verde , a biodegradabilidade significa que os produtos químicos se decomponham de forma mais inofensiva, diminuindo possíveis danos ao meio ambiente.
Baixa toxicidade	Faz referência ao 4º princípio da Química Verde , que se trata de produtos químicos mais seguros para o meio ambiente e a vida humana.
Baixa volatilidade em temperatura ambiente	O que condiz com o 5º princípio da Química Verde , onde ele se refere ao uso de substâncias que diminuem o risco de volatilidade e exposição de auxiliares perigosos.
Menor custo e baixo gasto energético	Se encaixam nos princípios 2 e 6 da Química Verde , que se referem a baixa produção de resíduos e custos, visando que todos os materiais devem ser utilizados no processo do produto final e que sua realização deve ser feita em temperatura e pressão ambiente, para que assim possa economizar energia.
Seletividade química	Tal característica abrange os princípios 1 e 9 da Química Verde , uma vez que pode reduzir subprodutos indesejados e pode ser relacionado a uso de catalisadores que reduzem resíduos.
Viscosidade ajustável	Esta característica segue aos princípios 3 e 5 da Química Verde , ao qual permite ajustar a viscosidade de reagentes para que assim forneça processos mais seguros e eficientes, e que não haja a necessidade de solventes perigosos.

Fonte: Adaptado de Unger, 2022. pág. 13-14

Como Santana (2021) menciona em seu trabalho, os DES e NADES despertam grande interesse na comunidade científica, dado suas propriedades e possibilidade de substituir outros tipos de solventes, sendo utilizados nas pesquisas e na indústria. A Figura 4 retrata, com base em pesquisa feita por Santana (2021) na *Web of Science*, as dez áreas de pesquisa nas quais os solventes eutéticos profundos vêm sendo explorados.

Figura 4 – As 10 áreas mais relevantes de publicações nos anos de 2016-2021 para “Deep Eutectic Solvent” OR “Natural Deep Eutectic Solvent”, segundo o Web of Science.



Fonte: Santana, 2021. pág. 13

Diante disso, compondo-se de uma proposta inovadora, este trabalho aspira propor a integração de novos solventes nas disciplinas dos cursos de ensino superior de Química na estrutura curricular, através de uma proposta didática e um roteiro experimental, assim, alinhando a educação científica com as demandas ambientais, visando a sustentabilidade dos solventes eutéticos em comparação com os solventes tradicionais. A implementação destes novos solventes nos currículos do ensino superior pode proporcionar um forte impacto na compreensão dos alunos sobre a importância da utilização destes como uma alternativa sustentável aos solventes tradicionais, além de, efetivamente, contribuir para a diminuição do uso dos solventes tradicionais em aulas realizadas em laboratórios didáticos. Assim, levando consigo conhecimentos que agregam meios mais sustentáveis e futuramente, expandindo para indústrias e pesquisas a serem desenvolvidas, visando meios mais seguros ao meio ambiente e a saúde humana.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi elaborar uma proposta de implementação de Solventes Eutéticos Profundos (DES) e Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES) no ensino superior de Química. O trabalho aspirou propor a integração curricular desses novos solventes nas disciplinas de Química, através de uma pesquisa documental, elaborar uma proposta didática e um roteiro experimental, assim, alinhando a educação científica com as demandas ambientais, visando a sustentabilidade dos solventes eutéticos em comparação com os solventes tradicionais.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever a relevância da abordagem da temática “Solventes eutéticos profundos como uma alternativa aos solventes tradicionais”;
- Analisar os Projetos Pedagógicos das principais Universidades Públicas do Estado de São Paulo que contêm curso de Química, visando levantar disciplinas que englobam as palavras-chaves: Química Verde; Ambiental; Solventes;
- Sugerir possíveis integrações curriculares com as disciplinas atuais ministradas nos cursos de Química das Universidades Estaduais;
- Propor um planejamento didático para desenvolvimento da temática “Solventes eutéticos profundos como uma alternativa aos solventes tradicionais”;
- Propor um roteiro experimental com instruções norteadoras para o docente, visando a execução e implementação da presente temática.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa traz um estudo de revisão documental e visou propor a implementação de Solventes Eutéticos Profundos (DES) e Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES) no ensino de Química em nível superior. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, de cunho teórico e prático com base em análise de dados documental.

3.1. PESQUISA DOCUMENTAL SOBRE OS PPP

Primeiramente, foram selecionados os Projetos Políticos Pedagógicos (PPPs) dos cursos de graduação em Química das três universidades públicas do estado de São Paulo: Universidade Estadual Paulista (UNESP), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Universidade de São Paulo (USP). Depois, os PPPs das três universidades foram analisados qualitativamente, empregando a busca pelas palavras-chaves: “Ambiental”, “Solventes” e “Química Verde”. Através desta análise exploratória, foram montadas as tabelas apresentadas no Apêndice A, onde foram separadas todas as disciplinas encontradas nas respectivas palavras-chave citadas acima, dentro das estruturas curriculares, dentro das disciplinas encontradas foram filtradas e elencadas possíveis disciplinas, em cada uma das universidades, as quais possam implementar a presente proposta.

Também foram analisados outros trabalhos que englobam os DES e NADES, já citados anteriormente, para utilizar como base na próxima etapa deste trabalho, que se trata do planejamento da proposta didática e do roteiro experimental. Após a escolha de um trabalho que se apresenta o conteúdo e os aspectos que faziam sentido para o intuito final deste trabalho, finalmente, foi realizada a confecção de um planejamento de proposta didática, bem como um roteiro experimental com instruções norteadoras ao docente, que são ambas ferramentas práticas de docência, que visam a implementação do conteúdo de solventes eutéticos profundos como uma alternativa aos solventes orgânicos convencionais.

3.2. PROPOSTA DIDÁTICA

Inicialmente foi montada a proposta didática, onde teve como pilar principal a metodologia dos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1992), na qual consiste em problematização inicial que se refere ao primeiro momento, organização do conhecimento, sendo o segundo momento e aplicação do conhecimento, como

terceiro momento.

O primeiro momento, tem como principal objetivo, envolver o conteúdo com situações reais, vivenciadas pelos alunos ou que ao menos tenham conhecimento, onde eles não dispõem de conhecimentos científicos claros para algum tipo de interpretação adequada, ou seja, esse primeiro momento serve para provocar discussões com os alunos sobre a temática apresentada, o docente tem como foco, lançar questionamentos e dúvidas nos alunos, para instigar o pensamento crítico e fazer com que os alunos se disponham a pensar e ir atrás de explicações solucionadoras.

O segundo momento, de organização do conhecimento, é a etapa de desenvolvimento de definições e conceitos, na qual os alunos irão sistematizar todas as informações recebidas, com os conhecimentos prévios que podem ter e os que serão passados pelo docente, o momento onde os alunos serão instruídos e preparados para ter outros pontos de vista e comparar com seus próprios conhecimentos, e assim interpretar as situações apresentadas na problemática inicial.

Já o terceiro momento, o qual destina-se à aplicação do conhecimento, se desprende em ter a percepção que o conhecimento vai além de uma construção histórica determinada, ele está disposto para que qualquer cidadão o use. Este momento tem como perspectiva, deixar claro aos alunos que os conhecimentos que foram construídos ao decorrer do estudo, não são os mesmos que possuíam inicialmente, porém, são aprofundamentos do mesmo conhecimento. Basicamente sendo um ciclo, onde toda aplicação do conhecimento se volta para a problematização inicial, buscando e adquirindo conhecimentos que levam a soluções da discussão proposta inicialmente.

A partir das concepções dessa metodologia, deu-se início a proposta didática, que visa apresentar a problematização inicial, que se refere ao uso dos solventes convencionais nas indústrias e no ensino de química, especificamente no ensino superior. A proposta traz a contextualização dos solventes convencionais, tais como suas propriedades, definições, características, relevância e aplicações, apresenta seus impactos causados tanto no meio ambiente, quanto na saúde humana. Após isso, entra o segundo momento pedagógico, a aplicação do conhecimento, onde tem como intuito apresentar outras alternativas para esses solventes, mais sustentáveis, abrangendo a Química Verde e os solventes verdes, assim dando introdução aos DES

e NADES, apresentando também suas definições, importância, aplicação, características, propriedades e suas vantagens quanto aos solventes tradicionais. Por fim, entrando no terceiro momento, a proposta traz a síntese desses solventes verdes, como também a sustentabilidade e a comparação dessa nova classe com os solventes convencionais. Liga-se, então, a organização do conhecimento e a sua aplicação a problematização inicial, fazendo com que os discentes tenham pensamentos críticos, adquirindo novos conhecimentos e pontos de vista, em situações nas quais serão inseridos futuramente, assim apresentando possíveis alternativas mais sustentáveis para tal.

3.3. ROTEIRO EXPERIMENTAL

Finalmente, partindo para a elaboração do roteiro experimental, ele segue como uma articulação do segundo momento pedagógico, a síntese do DES sendo utilizada como aplicação do conhecimento. O roteiro seguiu como referência o trabalho de Silva, *et al*, (2023), onde também foi proposto um roteiro experimental para os docentes, e o trabalho de Cruz, (2018), que utilizou DES para extração de bioativos da *Uncaria Tomentosa*.

Foi analisado o roteiro experimental feito por Silva, *et al*, (2023), e baseando-se nos tópicos apresentados por ela, o roteiro deste trabalho foi construído, para norteamento do docente no planejamento da aula prática. Todos os conteúdos de elaboração dos procedimentos deste trabalho foram estruturados de acordo com o trabalho de Cruz, (2018) no qual ela realizou o experimento utilizando DES na extração de compostos bioativos da *uncaria tomentosa*, com os mesmos recursos, materiais e técnicas. Também foram descritos os resultados obtidos por ela, para que o docente saiba o que esperar do experimento proposto.

Todas as metodologias utilizadas foram estudadas a implementação da temática na estrutura curricular dos cursos de Química e com o intuito de facilitar a trajetória do docente no seu planejamento didático, para que ele possa escolher dentre o que foi proposto neste trabalho, meios para aplicar a utilização dos DES e NADES na grade curricular, seja de forma teórica ou prática, visando abordagens mais sustentável e menos impactos ao meio ambiente e à saúde humana.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DOS PROJETOS POLÍTICOS PEDAGÓGICOS

Em seu primeiro estágio, o presente trabalho englobou uma revisão bibliográfica dos Projetos Políticos Pedagógicos (PPPs) mais recentes das três Universidades públicas do Estado de São Paulo: UNESP, UNICAMP e USP. Foram utilizadas as palavras-chaves “Ambiental”, “Química Verde” e “Solventes” para uma busca avançada dentro das estruturas curriculares, e assim analisar como a Química Verde e os solventes são abordados nos cursos de Química, em todas as modalidades oferecidas. O Apêndice A contempla as Tabelas A.1, A.2 e A.3 que organizam e ilustram a análise qualitativa realizada sobre cada um dos PPPs. Na sequência, foram sugeridas possíveis disciplinas das quais o conteúdo relacionado aos DES e NADES pode ser ministrado.

4.1.1. UNICAMP

Na UNICAMP são oferecidos os cursos de Bacharelado em Química, Bacharelado em Química Tecnológica (Integral e noturno) e Licenciatura em Química e em Ciências (MAZALI, 2023).

Nas estruturas curriculares, dentro do PPP dos cursos de graduação do Instituto de Química da UNICAMP, Catálogo 2023, foram encontradas cinco disciplinas no núcleo comum e três oferecidas em forma de eletivas que podem vir a abordar os temas de interesse desta pesquisa, sendo essas disciplinas: “Química do Meio Ambiente”, “Laboratório Integrado”, “Aplicação de Tecnologias em Química Sintética”, “Química Inorgânica”, “Química Orgânica I”, “Fundamentos em Espectroscopia e Ressonância Magnética Nuclear”, “Introdução à Química Verde” e “Combustíveis Fósseis e Novas Formas de Energia”.

Dentre as oito disciplinas encontradas na estrutura curricular da UNICAMP, a disciplina de “Laboratório Integrado” seria a indicada para a implementação de Solventes Eutéticos Profundos (DES) e Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES), propondo roteiros experimentais práticos e sustentáveis, enquanto as demais disciplinas podem apresentar a fundamentação teórica para a utilização destes solventes.

4.1.2. USP

A USP oferece o curso de Química em três diferentes campi, sendo eles em Ribeirão Preto, São Carlos e São Paulo (ARRUDA *et al*, 2024)

4.1.2.1. Campus Ribeirão Preto

As modalidades de Bacharelado e Licenciatura em Química são fornecidas na unidade de Ribeirão Preto, além de apresentar outras habilitações, como Química Forense, Química Tecnológica, Biotecnologia e Agroindústria, dispersas entre os períodos integral e noturno (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2023a).

De acordo com as buscas feitas nos PPPs do Bacharelado e da Licenciatura considerando-se as palavras-chaves “Solvente”, “Química Verde” e “Ambiental”, encontram-se cerca de dez disciplinas de núcleo comum, sendo “Química dos Solos: Fundamentos, Contaminantes e Remediação”, “Fundamentos de Química Experimental”, “Biotecnologia Industrial I”, “Introdução a Polímeros”, “Toxicologia”, “Microbiologia Geral”, “Química do Meio Ambiente” e “Articulação dos conteúdos Químico-pedagógicos II”.

Além disso, a estrutura curricular conta com quatro estágios na área de ambiental e quatro disciplinas optativas que puderam ser selecionadas através das palavras-chave. Dentre as disciplinas optativas estão o “Ensino de Química sob a perspectiva do movimento CTS e da Educação Ambiental”, “Tratamento de Resíduos de Laboratórios de Ensino e Pesquisa”, “Química Ambiental”, “Eletroquímica Ambiental” e “Educação Ambiental”, todas objetivando complementar a formação dos ingressantes com vista aos impactos ambientais.

Dentre as disciplinas de núcleo comum ofertadas neste campus, “Química dos Solos: Fundamentos, Contaminantes e Remediação” e “Toxicologia” são opções viáveis para fundamentação teórica para os DES e NADES. E para as disciplinas optativas, dentro de “Tratamento de Resíduos de Laboratórios de Ensino e Pesquisa” e “Química Ambiental”, podem abranger a temática tanto de forma teórica, quanto uma implementação prática.

4.1.2.2. Campus São Carlos

Quanto ao campus situado na cidade de São Carlos, dispõe-se da modalidade de Bacharelado em Química, além do curso de Licenciatura em Ciências Exatas, no qual têm habilitações de Química, Física e Biologia, e é apenas no terceiro ano da graduação onde o ingressante deve optar por uma especialização dentre as três. No Bacharelado existem as habilitações fundamentais e as habilitações tecnológicas, que são separadas em quatro categorias: I. Alimentos, II. Ambiental, III. Materiais e IV. Gestão de qualidade (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2023b; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2022).

Referente a análise do PPP do Bacharelado, não se obteve retorno sobre as palavras “Solvente” e “Química Verde”, porém sobre o termo “Ambiental” foram elencadas as disciplinas oferecidas na habilitação desta temática, como “Química Ambiental I, II e III”, “Laboratório de Química ambiental” e a optativa “Sistema de Gestão Aplicados à Área de Saúde e Meio Ambiente”, sendo elas aplicadas entre o sexto e oitavo semestre da graduação (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2023b).

No projeto pedagógico do curso de Licenciatura em Ciências Exatas não foram encontrados resultados de acordo com as palavras utilizadas para busca, sendo uma habilitação distinguida somente no terceiro ano do curso. As disciplinas ministradas após esse período são mais específicas para Química, como por exemplo “Química Inorgânica”, “Química Analítica”, “Bioquímica”, “Análise instrumental”, “Química Orgânica”, além das disciplinas laboratoriais e estágios (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2022).

De acordo com as disciplinas encontradas, para o Bacharelado tanto as disciplinas de Química Ambiental quanto a disciplina de Laboratório podem ser utilizadas para implementação da proposta deste trabalho, tanto de forma prática, quanto para fundamentação teórica, enquanto para a Licenciatura, pode ser desenvolvido o conteúdo, a partir das disciplinas de Química Analítica e Química Orgânica.

4.1.2.3. Campus São Paulo

No campus da capital São Paulo, o curso é aplicado no período integral e noturno, e ambos têm modalidades distintas para os ingressantes. O curso integral

dispõe das modalidades: Bacharelado em Química, Bacharelado em Química com Ênfase em Bioquímica e Biologia Molecular, Bacharelado em Química com Ênfase em Química Tecnológica, Bacharelado em Química com Ênfase em Biotecnologia e Licenciatura em Química. Por outro lado, o noturno se capacita de Bacharelado em Química, Bacharelado em Química com Ênfase em Química Ambiental e Licenciatura em Química (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2022).

Por possuir uma especialização na área Ambiental, assim como para outras universidades já mencionadas anteriormente, esse campus dispõe de disciplinas específicas voltadas à essa temática. Embora seja a única palavra-chave a qual trouxe resultados acerca do PPP desse campus, as disciplinas apresentadas em núcleo comum para ambas as modalidades são: “Química Ambiental I, II e III”, “Química Ambiental Experimental”, “Toxicologia Ambiental”, “Direito Ambiental”, e também possui as disciplinas obrigatórias para o Bacharelado em Química com especificação em Química Ambiental, tais como “Química da Águas”, “Química da Atmosfera”, “Química Ambiental I, II e III”, “Química Ambiental Experimental”, “Ecologia”, “Toxicologia Ambiental”, “Geoquímica de Ambientes Superficiais”, “Geologia Geral”, “Microbiologia Básica e Direito Ambiental”.

Por possuir uma formação específica na área de Ambiental, às disciplinas apresentadas têm um alto potencial para implementação do estudo deste trabalho, sendo as disciplinas “Química da Águas”, “Química da Atmosfera”, “Química Ambiental I, II e III”, “Química Ambiental Experimental” e “Toxicologia Ambiental” grandes detentoras da possibilidade de aplicação de uma proposta didática e um roteiro experimental sobre os DES e NADES, onde algumas dessas disciplinas também são utilizadas em núcleo comum para as outras habilitações de Química neste campus.

4.1.3. UNESP

A UNESP dispõe de 24 campi pelo estado e 4 unidades oferecem o curso de Química, sendo eles na cidade de Araraquara, Bauru, Presidente Prudente e São José do Rio Preto (MUNIZ *et al*, 2023).

Nestas cidades o curso de Química é oferecido em distintas modalidades e especialidades. No caso do campus de Araraquara, o qual possui um Instituto de

Química, é apresentado o Bacharelado em Química, Bacharelado em Química Tecnológica e Licenciatura em Química. O campus de Bauru é provido do Bacharelado em Química e Licenciatura em Química. Em Presidente Prudente, o curso é voltado para Licenciatura em Química. Enquanto o campus de São José do Rio Preto, fornece as modalidades de Bacharelado em Química Ambiental e Licenciatura em Química (MUNIZ *et al*, 2023).

4.1.3.1. Campus Araraquara

Como mencionado, em Araraquara há modalidades de Licenciatura e Bacharelado. Nas buscas pelas palavras-chaves presentes no PPPs foi encontrada uma disciplina voltada para a Química Verde e Ambiental, sendo ela “Análise Instrumental, Educação Ambiental e Química Verde”, ministrada apenas na grade curricular de Licenciatura. Para as modalidades de Bacharelado em Química e Bacharelado em Química Tecnológica, é lecionada a disciplina de “Química Ambiental”, “Introdução ao Estudo de Química” e o projeto de extensão “Consciência ambiental para e com a comunidade” (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2022).

Em ambos os PPPs é mencionado sobre um projeto envolvendo a Química Verde, o qual foi assinado "*Green Chemistry Commitment*", junto com o *Beyond Benign Green Chemistry Education*, onde traz atividades relacionadas ao ensino de Química Verde. No entanto, para as modalidades de Bacharelado foi introduzida na estrutura curricular a disciplina de Introdução ao Estudo de Química, a qual aborda temáticas como desastres químicos e consequências indesejadas, Química Verde, os 12 princípios da Química Verde e sustentabilidade. Nada se fala sobre solventes dentro do projeto pedagógico desta modalidade (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2022).

Assim pensando nas disciplinas de núcleo comum que todo curso de Química possui, como “Química Orgânica”, “Química Analítica”, os laboratórios e também a disciplina mencionada aqui como “Química Ambiental”, podem ser utilizadas para uma base teórica sobre os DES e NADES com a proposta didática, e os laboratórios podem explorar o roteiro experimental proposto, ainda mais sendo um campus no qual possui um instituto de Química, com algumas formativas mais específicas.

4.1.3.2. Campus Bauru

No campus da UNESP de Bauru, as modalidades de Licenciatura e Bacharelado possuem uma estrutura curricular igual no primeiro ano e a partir do segundo ano de curso, mesmo com algumas disciplinas em comum, existe a separação para que as modalidades sigam com suas disciplinas específicas da área.

Com base nas buscas do PPP não foi encontrado nada que se refira diretamente a Química Verde. Já em relação à “Ambiental” e “Solventes” foram encontradas oito disciplinas, sendo algumas aplicadas para ambas as modalidades como “Inorgânica II”, “Laboratório de Orgânica I” e “Química ambiental I”, e outras disciplinas que se referem apenas a estrutura curricular do curso de Bacharelado como “Análise Instrumental I”, “Microbiologia Industrial”, “Higiene e Segurança Industrial e Resíduos Químicos”, “Química Ambiental II” e “Gestão Ambiental e Normatização” (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2015a).

Dentro da estrutura curricular, as disciplinas de “Laboratório de Orgânica I”, “Química ambiental I”, “Análise Instrumental I”, “Higiene e Segurança Industrial e Resíduos Químicos” e “Química Ambiental II” são as mais propensas a abordar a temática para implementação dos DES e NADES, sendo possível seguir a proposta didática e o roteiro experimental nas aulas.

4.1.3.3. Campus Presidente Prudente

Presidente Prudente é provido apenas da modalidade de Licenciatura em Química. Ao analisar o projeto pedagógico do curso, não foram encontradas disciplinas ou menções às palavras “Solventes” e “Química verde”, enquanto a busca por “Ambiental” mostrou a disciplina de “Educação ambiental” e o “Laboratório de Química Analítica Ambiental e Pesquisa em Eletroanalítica e Sensores” (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2015b).

Embora tenha uma estrutura curricular com disciplinas experimentais e de núcleo comum, se comparada com as estruturas dos demais campus da UNESP, ainda assim tem uma grade curricular bem mais voltada a disciplinas na área de ensino de Química, focando em disciplinas teóricas e metodológicas. Assim, a implementação proposta neste trabalho, pode ser focada em apresentar alguma fundamentação teórica nas disciplinas de núcleo comum, como Analítica ou Orgânica.

4.1.3.4. Campus São José do Rio Preto

Por fim, o campus de São José do Rio Preto oferece a modalidade de Bacharelado em Química Ambiental e Licenciatura em Química. Como a modalidade de Bacharelado possui especialização em ambiental, foram encontradas algumas disciplinas que abordam esta temática, tais como “Química geral experimental”, “Bioquímica experimental”, “Química Ambiental I, II, III e IV”, “Toxicologia ambiental”, “Segurança Química” e “Química e Sociedade: Ciência e Meio Ambiente” (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2022).

Neste contexto, pode-se aproveitar o fato de ter uma especialização na área de Química Ambiental e disciplinas de Licenciatura, tais como as disciplinas mencionadas acima, como “Química Ambiental I, II, III e IV”, “Toxicologia ambiental”, “Segurança Química” e “Química e Sociedade: Ciência e Meio Ambiente”, para propor a implementação do estudo dos DES e NADES durante o ensino superior.

4.2. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO

De acordo com a revisão bibliográfica realizada acerca dos PPPs, ao longo de todo o curso de graduação que varia entre 4–5 anos de duração, pouco se fala sobre redução de resíduos ou utilização de solventes que apresentam menor toxicidade e danos ao meio ambiente. Os campi com especializações em Química Ambiental trazem uma bagagem maior sobre as temáticas envolvidas nesta pesquisa. Entretanto, isso não limita as demais unidades das Universidades de apresentarem conteúdos voltados para a implementação de solventes ambientalmente mais sustentáveis, como os DES e os NADES.

Com a análise feita nos PPPs das três universidades públicas de São Paulo, onde o curso Química é oferecido, foi possível entender a disposição da estrutura curricular do curso de Química de forma geral e de suas distinções no decorrer das modalidades oferecidas em cada campus. Assim, de uma forma mais genérica e analisando superficialmente, pode-se propor a implementação de novos tipos de solventes em todos os campi das Universidades aqui citadas, seja de forma experimental em aulas laboratoriais, ou por meio da abordagem teórica do conteúdo.

Dentre as disciplinas apresentadas nos projetos pedagógicos, é possível

sugerir que a “Química Orgânica”, “Química Analítica” e a “Análise Instrumental” seriam ideais para propor tal aplicação dos DES e NADES, visando que são disciplinas de núcleo comum e são lecionadas tanto para Licenciatura, quanto para o Bacharelado. Por outro lado, se o enfoque for o setor industrial, essa proposta de aplicação pode ser dada nas disciplinas de “Química Ambiental” e “Química de Biomateriais”, por exemplo, com sua grande parte sendo lecionada apenas para o bacharelado e para as especializações desse meio.

O pontapé inicial para propor a implementação dos DES e dos NADES foi a integração curricular da presente temática dentro das disciplinas de ensino superior de Química. No caso da “Química Orgânica”, é possível explorar a síntese dos solventes e as aplicações em reações, enquanto na “Química Analítica”, pode-se abordar os métodos de extração usando DES e NADES e em “Análise Instrumental” pode se explorar todas essas sínteses, análises, aplicações e métodos mencionados nas outras duas disciplinas propostas. Em ambos os casos, é possível retratar como esses solventes podem ser utilizados em análises químicas e na preparação de amostras, além de realizar uma implementação de forma mais teórica, desenvolvendo estudos de caso.

Uma outra possibilidade seria envolver o lado prático e experimental, abordando, por exemplo, a síntese e a caracterização de um DES, a extração de compostos bioativos de plantas utilizando NADES, e a avaliação de suas propriedades. Através dessa metodologia mais prática, é possível realizar uma comparação da aplicação dos solventes convencionais com os solventes ambientalmente amigáveis, DES e NADES. E quem sabe até, através disso, seja possível estabelecer parcerias e criar projetos de extensão entre Universidade e Indústria, visando investigar a viabilidade dessas trocas.

Embora tenham sido apresentadas algumas possibilidades de utilização dos DES e NADES dentro das disciplinas mencionadas acima, este trabalho trouxe, de fato, uma proposta de implementação para os cursos de Química, por meio da preparação de um planejamento de proposta didática e um roteiro experimental, que serão detalhadas nas seções seguintes.

4.2.1. Planejamento da proposta didática

O planejamento da proposta didática, Tabela 4, consiste na elaboração de uma ferramenta de mediação no processo de ensino e aprendizagem.

Tem como intuito apresentar as informações essenciais para a implementação de uma determinada temática, incluindo aspectos como público-alvo, objetivos da proposta didática, principais conteúdos a serem abordados, metodologias de ensino, atividades e avaliações, recursos necessários, etc. Portanto, o planejamento da proposta didática atua como um direcionamento primário de como desenvolver certos conceitos dentro da sala de aula, de forma clara e orgânica.

Vale ressaltar ainda que a presente proposta foi elaborada de modo que os conteúdos podem ser ministrados em aulas teóricas e/ou experimentais, ao longo de um semestre em quaisquer das disciplinas sugeridas no tópico anterior.

Tabela 4 – Planejamento da proposta didática de implementação dos DES.

Proposta didática para implementação dos DES	
Tema:	Solventes eutéticos profundos (DES) e Solventes eutéticos naturais profundos (NADES).
Público-alvo:	Ensino Superior - Curso de Química
Objetivos:	Introduzir os conceitos, características e propriedades dos solventes convencionais em detrimento aos ambientalmente mais amigáveis, como os DES e NADES, buscando compreender seus impactos, relevância e aplicações.
Conteúdos:	• Introdução a solventes, suas propriedades, características, definições e relevância; • Aplicações, cuidados e seguranças necessárias com sua manipulação/manuseio; • Impactos ambientais e riscos à saúde humana; • Alternativas mais sustentáveis, Química Verde, solventes verdes; • Introdução aos DES e NADES, definição, propriedades, importância; • Síntese dos DES ou NADES; • Aplicação dos DES e NADES; • Sustentabilidade e comparação dos DES e NADES com os solventes tradicionais, comparando os riscos à saúde e os impactos ambientais.

Metodologias de Ensino:	Aplicando a metodologia dos três momentos pedagógicos, a qual consiste em seu primeiro momento , apresentar a problemática, ou seja, contextualizar e introduzir os solventes, seus impactos causados ao meio ambiente e a saúde humana. Depois parte-se para o segundo momento , que se refere a organizar o conhecimento, assim podendo-se introduzir os DES e os NADES, suas definições, propriedades, características e importância, e por fim, o terceiro momento , que é a aplicação do conhecimento, assim trabalhando a síntese e aplicação desses solventes verdes, e já abrangendo a sustentabilidade, comparando a utilização desses solventes com os convencionais, ligando esse momento ao primeiro e atribuindo o conhecimento a problemática inicial.
Atividades:	● Aulas expositivas: Introdução e desenvolvimento do conteúdo teórico; ● Avaliação contínua: Discussões sobre a temática e problemática em questão; ● Estudos de caso: Análise de artigos e desenvolvimento de pensamento crítico; ● Práticas experimentais: Síntese e aplicação dos DES e NADES.
Avaliação:	● Prova teórica: Conceitos, características, propriedades e utilização sobre os solventes convencionais, DES e NADES; ● Seminários: Estimular a investigação, compreensão e estudo de casos que utilizam os DES e NADES como alternativa aos solventes tradicionais; ● Prova prática: Métodos utilizados para extração e síntese dos DES e NADES; ● Relatórios: Análise do desenvolvimento e compreensão da prática realizada e da temática abordada.
Recursos:	Artigos científicos; Canetão ou giz; Laboratórios equipados; Lousa; Recursos de multimídia.
Bibliografia:	CRUZ, Ellen Shirmene de Souza., 2018; DELIZOICOV, D & ANGOTTI, J. A., 1992; SINGH, Madhur Babu et al. 2021;

4.2.2. Roteiro experimental com diretrizes ao docente

Roteiro baseado no Trabalho de Conclusão de Curso de graduação realizado por Ellen Shirmene de Souza Cruz, apresentado à Universidade Federal da Paraíba, no qual utiliza os DES na extração de compostos bioativos da planta *Uncaria Tomentosa*, popularmente conhecida como unha-de-gato (CRUZ, 2018).

4.2.2.1. Planejamento da sessão

Nas universidades, os solventes orgânicos convencionais são utilizados e abordados tanto para execução de procedimentos experimentais, como para as fundamentações teóricas. Diante disso, vê-se a necessidade de introduzir uma alternativa mais segura para a saúde humana e para o meio ambiente, visando que os estudantes podem ingressar nas indústrias ou nas pesquisas futuramente.

Se tratando de um estudo recente e inovador, os DES e os NADES são uma classe de solventes menos tóxicos que podem ser utilizados como alternativa para os solventes convencionais como o benzeno, tolueno, metanol, clorofórmio, entre outros. Sendo assim, o intuito deste roteiro experimental é propor ao docente meios de implementar os DES no plano de ensino, onde a partir deste material, poderá buscar uma alternativa de envolver os DES no seu planejamento.

Este experimento se destina para alunos de graduação química no geral, visando propor consciência por meios mais sustentáveis e mais seguros. Sendo de cunho experimental, todos os procedimentos aqui apresentados devem ser realizados no Laboratório de Química devidamente equipado.

Desenvolvido principalmente para nortear o docente a implementar os DES e NADES de forma prática, é importante ressaltar a importância de seguir todos os procedimentos de boas práticas e segurança no laboratório, tais como o uso de luvas, óculos de proteção e jaleco. O docente pode escolher a melhor forma de distribuir os alunos nas bancadas, atentando-se para que sejam grupos em que todos possam colaborar para a realização dos procedimentos.

O objetivo do experimento é a extração de compostos bioativos da *Uncaria Tomentosa* utilizando o DES betaína-uréia (1:6). Por se tratar de um procedimento de síntese de um solvente eutético e a extração de compostos bioativos de plantas,

demanda um certo tempo em relação a carga horária de aula, assim, deve-se levar em consideração a divisão dos procedimentos por bancada ou a divisão do experimento para além de uma aula experimental (04 horas-aula).

O ideal é que o roteiro aqui proposto envolva uma única aula de 4 horas, porém, como mencionado acima, de acordo com a complexidade do tema, é possível que seja aplicado em mais aulas, sejam elas teóricas ou experimentais. Neste caso, fica a critério do docente avaliar os recursos, equipamentos e tempo disponível, além dos objetivos de ensino respectivos às aulas.

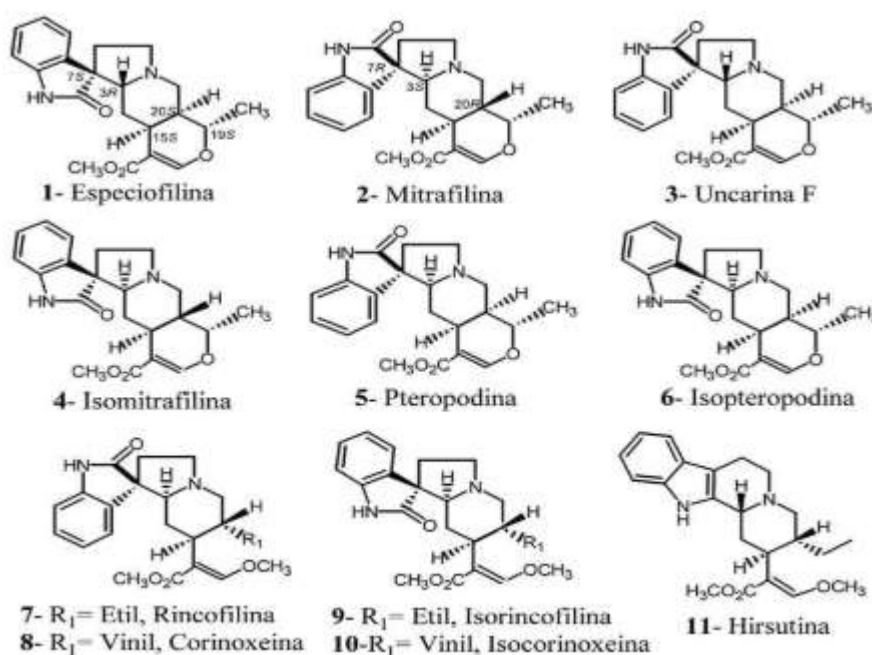
4.2.2.2. Referencial teórico

O principal material utilizado para o estudo foi a planta trepadeira *Uncaria Tomentosa*, também conhecida como Unha-de-gato, que faz parte da família Rubiaceae. Elas têm naturalidade nas florestas tropicais, tais como Amazônia, em áreas como Belize, Bolívia, Brasil, Colômbia, Costa Rica, Equador, Guatemala, Guiana, Honduras, Nicarágua, Panamá, Peru e Venezuela e está distribuída principalmente nos estados do Acre, Amapá, Amazonas e Pará (HONÓRIO, 2016; TAYLOR, 2002 citados por CRUZ, 2018).

Sendo vista como uma planta com aspectos terapêuticos, alguns estudos apontam que são utilizada para tratamento de doenças como artrite, asma, feridas profundas, inflamações em geral e reumatismo. Outros estudos, especificamente farmacológicos, confirmam que a *U. tomentosa* apresenta propriedades antioxidantes, antidiabética, antimicrobiana, anti-inflamatória, imunoestimulante, anti-câncer, e efeitos contra a doença de Parkinson. Ela é uma planta que possui alto valor comercial, vendida *in natura*, em cápsulas ou comprimidos para uso fitoterápico (DUAN *et al.*, 2016; HONÓRIO, 2016).

A *U. tomentosa* pertence a um dos grupos mais importantes dos alcalóides, denominados metabólitos secundários, que possuem algumas divisões, como alcalóides tetracíclicos, pentacíclicos, glico indólicos e os oxindólicos, este último subgrupo presente na *Uncaria*, como mostrado na Figura 5. Esses alcalóides aumentam a capacidade celular em fazer fagocitose, ou seja, de ingerir organismos estranhos, eles tendem a agir na defesa contra alguns organismos e raios UV (VALENTE *et al.*, 2006a; HONÓRIO, 2016).

Figura 5 – Alcalóides oxindólicos presentes na *Uncaria tomentosa*.



Fonte: VALENTE *et al.*, 2006a. pág. 51

Outro composto importante, na qual faz parte da classe dos metabólitos secundários, são os compostos fenólicos. Os flavonóides fazem parte da maior classe dentre os compostos fenólicos e sua estrutura molecular é composta por dois anéis aromáticos que são ligados por uma cadeia contendo três carbonos. Para as plantas, os flavonóides têm ação de proteção contra raios-UV, organismos patogênicos e herbívoros, atração de polinizadores e alelopatia (ARCHELA, 2013). Para o experimento sugerido, é preciso dar ênfase nos polifenóis, mais especificamente, pois eles englobam os compostos que possuem múltiplos anéis, compostos fenólicos, e podem ser divididos a partir dos seus números de anéis e os demais elementos que se ligam a eles (ARCHELA, 2013).

Os DES têm se expandido nos últimos anos, se tratando de solventes que apresentam menos riscos ao meio ambiente e à saúde. Neste sentido, para a extração dos compostos bioativos da *U. tomentosa* será utilizado um DES, mais especificamente o sistema betaína-uréia (1:6), empregado como uma alternativa verde para solventes convencionais.

4.2.2.3. Materiais

- ✓ Agitador (aquecedor) Magnético;
- ✓ Balança analítica;
- ✓ Balão de fundo redondo;
- ✓ Bastão de vidro;
- ✓ Béqueres;
- ✓ Centrífuga;
- ✓ Espectrofotômetro;
- ✓ Extrator Soxhlet;
- ✓ Filtro com porosidade de 0,45 μ m;
- ✓ Parafilm;
- ✓ Peixinho (barra magnética para agitador);
- ✓ Pinça (Garras) para vidrarias;
- ✓ Pipeta graduada;
- ✓ Suporte Universal;
- ✓ Termômetro;
- ✓ Tubo Falcon;
- ✓ Tubos de ensaio.

Solventes e reagentes:

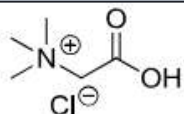
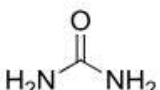
- ✓ Ácido gálico;
- ✓ Água destilada;
- ✓ Betaína;
- ✓ Carbonato de sódio;
- ✓ Etanol;

- ✓ Folin Ciocalteu;
- ✓ Material vegetal;
- ✓ Óleo;
- ✓ Ureia.

4.2.2.4. Procedimentos experimentais

O procedimento pode ser iniciado com a preparação do DES, no qual é obtido a partir da mistura da betaína e ureia, como apresenta a Tabela 5, sendo aquecidos sob constante agitação, por 2 horas a 100°C.

Tabela 5 – Composição do DES betaína-uréia (1:6).

Reagentes	Estrutura	Mmol	PM (g/mol)	Massa Pesada
Betaína		1	153,31	0,1557
Ureia		6	60,06	0,3490

Fonte: CRUZ, 2018. pág. 26

Para dar início a extração de polifenóis do material vegetal, deverá ser utilizado um balão de reação de 50 mL, com aproximadamente 0,540 g do material vegetal e 5 mL de etanol, assim levando a aquecimento em banho de óleo, sob agitação por 2 horas a 100°C, lembrando de usar um condensador, para evitar perda de etanol e promover o refluxo do mesmo. Ao finalizar, a amostra deverá ser passada para um tubo falcon e inserida na centrífuga a 2000 rpm, por cerca de 20 minutos. Em seguida, usando um filtro com porosidade de 0,45µm, a suspensão será filtrada. Utilizando as concentrações de 0,5 mmol, 1,0 mmol e 1,5 mmol de DES, devem ser refeitos todos os passos do procedimento anterior para as extrações.

O próximo passo é obter a curva padrão de ácido gálico. Para isso, com a solução padrão desse ácido, de concentração 50 µg/mL⁻¹, as demais soluções deverão ser preparadas conforme a Tabela 6.

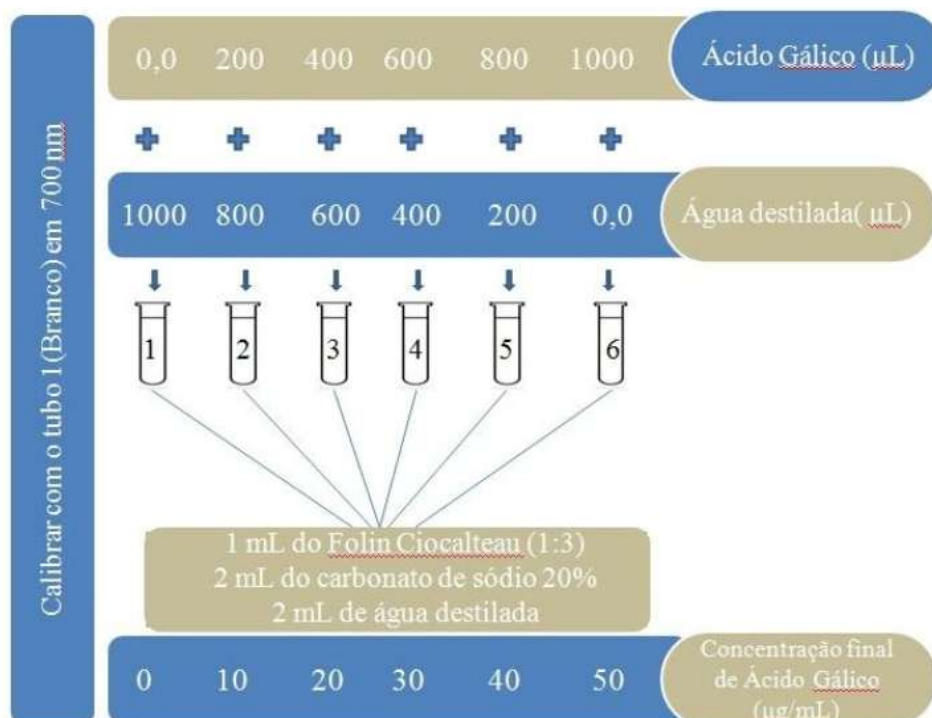
Tabela 6 – Preparo das soluções para curva-padrão do ácido gálico.

Solução	Conc. Ác. Gálico ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)	Volume da solução padrão (μL)	Água Destilada (μL)
6	0	0	1000
5	10	200	800
4	20	400	600
3	30	600	400
2	40	800	200
1	50	1000	0

Fonte: (RODRIGUES, 2014). pág. 28

Em seguida, para determinar o conteúdo total de fenóis, adiciona-se 1 mL de Folin Ciocalteau (na proporção 1:3), 2 mL de carbonato de sódio a 20% e 2 mL de água destilada, como apresentado na Figura 6. As amostras deverão ser homogeneizadas e permanecer por 30 min em repouso, à temperatura ambiente e protegidas da luz.

Figura 6 – Esquema para determinação da curva padrão de ácido gálico.



Fonte: (RODRIGUES, 2014) pág. 29

Utilizando um espectrofotômetro, com o comprimento de onda de 700 nm, deverá ser realizada a leitura da absorbância das amostras. O procedimento será

repetido com os extratos, em um ambiente escuro, as amostras serão inseridas nas cubetas e passarão pelo espectrofotômetro. De acordo com os dados de absorbância obtidos, será calculado o teor de Polifenóis Extraíveis Totais (PET).

Para ser calculado o teor de PET, utiliza-se a Eq. 1, onde x é a concentração obtida pela equação da curva padrão do ácido gálico ($\mu\text{g. ml}^{-1}$), de acordo com a absorbância da amostra, FD1 (g. ml^{-1}) refere-se ao volume final do extrato dividido pela massa do material vegetal (g), e FD2 é o volume final da mistura no tubo de reação, ou seja, extrato com água destilada, dividido pelo volume da alíquota do extrato que foi utilizado.

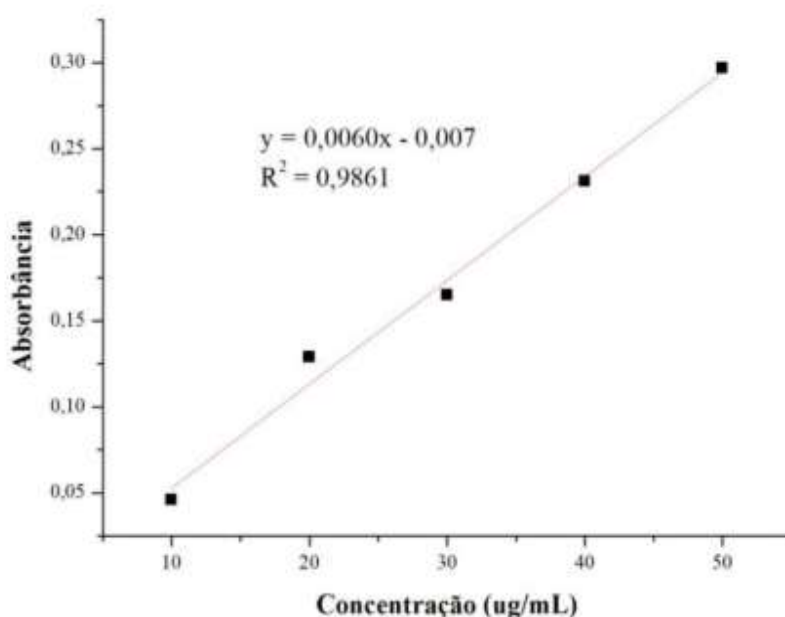
$$PET(g * 100g - 1) = \left(\frac{x * FD1 * FD2}{1000} \right) * 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Por fim, será construído o gráfico da curva de calibração, sendo a concentração de ácido gálico (μg) x as absorbâncias, gerando a equação da reta e o coeficiente de correlação. Para evitar possíveis erros, pode ser realizado em triplicata.

4.2.2.5. Resultados esperados

A Figura 7 mostra o gráfico esperado a partir das absorbâncias obtidas com as soluções de ácido gálico cujas concentrações eram de 10 a 50 $\mu\text{g/mL}$.

Figura 7 – Curva de calibração do Ácido gálico.

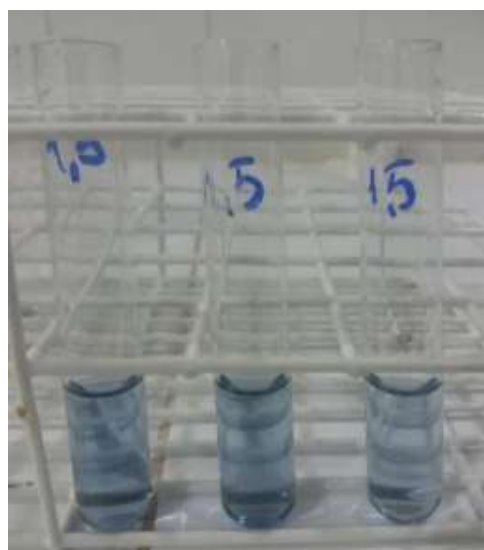


Fonte: CRUZ, 2018. pág. 31

Apresentando uma boa linearidade, de acordo com os dados obtidos por Cruz (2018), o valor referente a relação dos valores de absorbância, com a concentração de fenóis totais e o coeficiente de correlação (R^2), o valor obtido foi de 0,9861. A fim de ajustar as medidas na faixa da curva de calibração, a autora usou alíquotas de 5 μ L de cada amostra, para realizar as medidas de absorbância na determinação dos fenólicos totais dos extratos.

Utilizando apenas etanol, realizou-se leituras de 5 μ L para todas as concentrações do DES, sendo elas de 0,5 mmol, 0,1 mmol e 1,5 mmol, obteve-se os mesmos valores, com a média de 0,0015. Repetindo a leitura, porém utilizando 10 μ L, apenas etanol para que não ocorresse alguma interferência, chegou-se ao valor de 0,00031, no qual foi subtraído das médias das extrações dos polifenóis. A Figura 8 mostra a coloração obtida do PET, referente a cada concentração do DES e a Tabela 7 apresenta os valores de polifenóis extraíveis totais obtidos dos extratos da *U. tomentosa*.

Figura 8 – Coloração esperada do PET.



Fonte: CRUZ, 2018. pág. 32

Tabela 7 – Média e Desvio Padrão das Extrações.

Média			
0 mmol	0,5 mmol	1 mmol	1,5 mmol
3965,90	2647,15	2766,06	3183,76
Desvio			
154,44	53,66	190,98	17,21

Fonte: CRUZ, 2018. pág. 32

A partir das concentrações de 0 mmol, 0,5 mmol, 1,0 mmol e 1,5 mmol, determinou-se o conteúdo de PET das extrações utilizando etanol e material vegetal, como pode-se observar na Tabela 8.

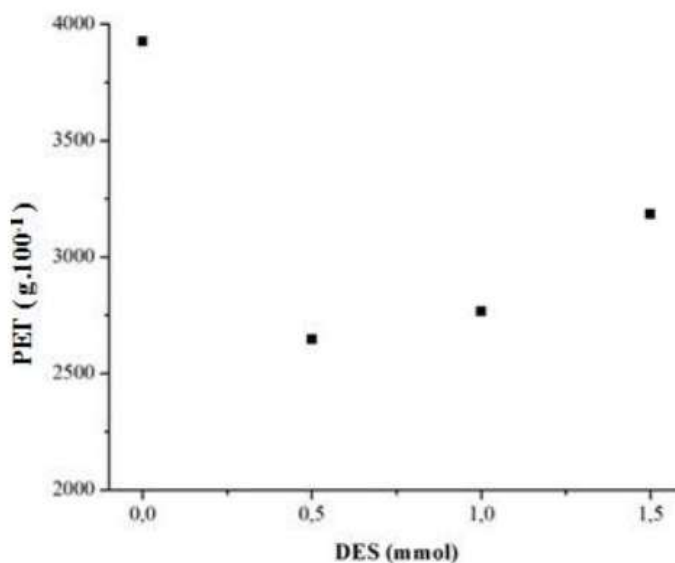
Tabela 8 – Valores de PET determinados para as extrações.

Concentração de DES (mmol)	Conteúdo PET
0	3965,90 ± 154,44g.100 ⁻¹
0,5	2647,15 ± 53,66g.100 ⁻¹
1,0	2766,06 ± 190,98g.100 ⁻¹
1,5	3183,15 ± 17,21g.100 ⁻¹

Fonte: Adaptado de CRUZ, 2018. pág. 32-33

Os resultados obtidos indicam que o reagente os polifenóis possuem uma maior propensão à oxidação, ou seja, que têm mais facilidade para ser oxidado, devido a oxidação dos álcoois. No gráfico apresentado na Figura 9, observa-se que o extrato do material vegetal com etanol, obteve um valor alto, se comparado com as demais extrações contendo DES, enquanto os valores de extração com diferentes quantidades de DES e etanol, foi aumentando exponencialmente. Também é possível observar que onde se tem o menor valor de mmol de DES, também foi se tem o menor valor de PET e quanto mais aumentar a quantidade de mmol, consequentemente aumentará o valor do PET.

Figura 9 – Polifenóis extraíveis totais da *U. tomentosa* extraídos com diferentes concentrações de DES.



Fonte: CRUZ, 2018. pág. 33

Os resultados mostram o quanto pode ser explorado esses novos solventes como os DES e NADES, dentro das aulas práticas no ensino superior, como alternativa a outros solventes, embora também mostre que é necessário realizar mais estudos com diferentes concentrações e quantidade de DES. O Docente pode vir a explorar várias vertentes dispostas durante esse roteiro, como a ênfase na síntese do DES, a extração dos polifenóis, entre outros, e instigando o pensamento crítico dentre os discentes sobre os resultados obtidos.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como intuito propor a integração curricular solventes DES nas disciplinas de Química, através de uma proposta didática e um roteiro experimental, assim, alinhando a educação científica com as demandas ambientais, visando a sustentabilidade dos solventes eutéticos em comparação com os solventes tradicionais. De acordo com a análise realizada dos PPPs das principais Universidades do estado de São Paulo, diferentes disciplinas podem ser selecionadas como candidatas à implementação desta proposta, nas quais a temática acerca dos solventes eutéticos (naturais) profundos poderá ser abordada.

Através do planejamento da proposta didática e do roteiro experimental com diretrizes ao docente, conclui-se que o material sintetizado neste estudo possibilita correlacionar diversos conteúdos de Química, em diferentes estágios do curso de graduação. Cabe ao próprio docente, então, selecionar quais conceitos deseja abordar e quais diretrizes tomar com o material proposto, levando em conta aspectos como recursos e equipamentos disponíveis, número de aulas, ano letivo do curso de graduação, disciplina à qual a temática será envolvida, também havendo possibilidades de adaptar experimentos tradicionais, a partir da substituição dos solventes, entre outros.

Portanto, conclui-se que este estudo se caracteriza como uma proposta inovadora, ainda não implementada no ensino superior de Química, mas que apresenta uma importante e real possibilidade de execução, em ambos os segmentos teóricos e práticos. Sendo uma contribuição para o Ensino de Química e que novas pesquisas podem e devem ser realizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANASTAS, Paul T; WARNER, John C. Green Chemistry: Teoria e Prática, **Oxford University Press: Nova York**, 1998, p.30. Disponível em: <<https://www.acs.org/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>>

ARCHELA, E. et al., Determinação de Compostos Fenólicos em Vinho: Uma revisão Determination of Phenolic Compounds in Wine: A Review, **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 193-210, 2013.

ARRUDA, M. A. N. RANIERI, N. B. S. et al. Guia do vestibular 2024: Carreiras e cursos. **FUVEST**. São Paulo, 2024. p. 17, 67-69. Disponível em: fuvest.br

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Presidência da República, casal civil**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Presidência da República, casa civil**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>

CONAMA Resolução. No 313, De 29 De Outubro De 2002. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=263>>.

COSTA, V. M.; BATISTA, N. J. C. Gerenciamento de resíduos de serviço de saúde: uma revisão integrativa. **Rev Saúde em Foco** [Internet]. 2016 janeiro-junho [citado 05 de dezembro de 2016]; 3 (1):[aprox. 21 p.].

CRUZ, Ellen Shirmene de Souza. Utilização de solventes eutéticos na extração de compostos bioativos da uncaria tomentosa (Willd.) D.C. **Universidade Federal da Paraíba**. 2018.

DELIZOICOV, D, ANGOTTI, J. A. Metodologia do Ensino de Ciências. São Paulo: **Editora Cortez**, 1992. Ed. 2. p 52-73

DUAN, L. et al., Comprehensive Evaluation of Deep Eutectic Solvents in Extraction of Bioactive Natural Products, **ACS Sustainable Chem. Eng.**, China Pharmaceutical University, People's Republic of China, n.4, p. 2405–2411, 2016.

FEYNMAN, R. P. The Value of science. **Engineering and science**. Volume XIX. p. 13-15. December, 1955.

HONÓRIO.I. C. G., *Uncaria tomentosa* and *Uncaria guianensis* an agronomic history to be written, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 8, p.1401-1410, 2016.

JAPIASSÚ, Carlos Eduardo; GUERRA, Isabella Franco. 30 anos do relatório Brundtland: nosso futuro comum e o desenvolvimento sustentável como diretriz constitucional brasileira / 30 years of the Brundtland report: our common future and sustainable development as a brazilian constitutional directive. **Revista de Direito da Cidade**, [S.l.], v. 9, n. 4, p. 1884-1901, out. 2017. ISSN 2317-7721. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/rdc/article/view/30287/23220>>

LEME, Rafael; BOGUSZ JUNIOR, Stanislaw. Síntese, caracterização e aplicação de solventes eutéticos naturais profundos (nades) para extração de compostos fenólicos de lúpulo. **Resumos**, 2022.

MACHADO, Adélio A. S. C. DA GÊNESE AO ENSINO DA QUÍMICA VERDE. **Química Nova**, Portugal, v. 34, ed. 3, p. 535-543, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/3fjBw9XHr3jfyqnnZhZt9kh/>.

MAGESTE, Ana Elisa Silva. et al. Uma análise do conceito de desenvolvimento sustentável apresentada no relatório Brundtland (1987) a partir da perspectiva decolonial. 2023.

MARTINS, Fátima Leone. Gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde análise comparativa das legislações federais. 2004. 135 f. **Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão pela Qualidade Total)- Universidade Federal Fluminense**, Niterói - RJ, 2004.

MARTINS, M.A.R., PINHO, S.P., COUTINHO, J.A.P. Insights into the Nature of Eutectic and Deep Eutectic Mixtures. **J Solution Chem** 48, 962–982 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10953-018-0793-1>

MAZALI, I. O.. **Projeto Pedagógico dos Cursos de Graduação do Instituto de Química da UNICAMP: Catálogo 2023**. Assinado em 27 de janeiro de 2023. Disponível em: IQ Unicamp - Projeto Pedagógico

MUNIZ, Ricardo. WHITEMAN, Vivian. et al. Guia de profissões UNESP 2024. **Fundação Vunesp**. São Paulo, 2023. p. 9, 114-117. Disponível em: www.unesp.br/guiadeprofissoes

PEREIRA, Francisco Sávio Gomes. Processos químicos industriais. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)**, Recife, p. 291, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/311950492_INDUSTRIAL_CHEMICAL_PROCESSES_in_portuguese_PROCESSOS_QUIMICOS_INDUSTRIAIS>

PRADO, Alexandre G. S. QUÍMICA VERDE, OS DESAFIOS DA QUÍMICA DO NOVO MILÊNIO. **Química Nova**, Brasília, v. 26, ed. 5, p. 738-744, 2003. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/Lr7DQT8pwNDfDPYJ53DwH6J/>.

RODRIGUES, T. L. et al., Determinação de polifenóis extraíveis totais, POP, Universidade Federal da Paraíba, 2014

SANTANA, Ana Paula Reis. Solventes Eutéticos Naturais Profundos (NADES) para o emprego em análise elementar por técnicas com fonte de plasma. 2021.

SANTANA, Ana Paula Reis et al. Solventes eutéticos naturais profundos (NADES) no preparo de amostras de rocha fosfática e suplemento mineral para determinação elementar por técnicas de plasma. **Química Nova**, v. 44, p. 689-695, 2021.

SILVA, Flávia Martins et al. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E QUÍMICA VERDE. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 28, ed. 1, p. 103-110, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/gS7t9QZV77mjSt4qLwwYCLf/>

SILVA, Joana FC et al. Introduction to Pharmaceutical Co-amorphous Systems Using a Green Co-milling Technique. **Journal of chemical education**, v. 100, n. 4, p. 1627-1632, 2023.

SINGH, Madhur Babu et al. A mini review on synthesis, properties and applications of deep eutectic solvents. **Journal of the Indian Chemical Society**, v. 98, n. 11, p. 100210, 2021.

TAYLOR, L., Technical data report for Cat's Claw (Uncaria tomentosa). **Sage Press Inc.**, p.38, 2002

TORRESI, Susana I.; PARDINI, Vera L.; FERREIRA, Vitor F. O que é sustentabilidade?. **Química nova**, v. 33, p. 1-1, 2010.

UNGER, Janaina Chagas. Solventes Eutéticos Naturais Profundos como alternativa aos solventes orgânicos na extração de terpenos bioativos de *Casearia sylvestris* Swartz. **Faculdade de ciências farmacêuticas**. Araraquara. 2022.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Educação. Projeto Político Pedagógico: Licenciatura em Ciências Exatas, Curso Noturno, Interunidades (IFSC-IQSC-ICMC). São Paulo, 2022.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto. Departamento de Química. Projeto Político Pedagógico do Curso 59071/4 - Licenciatura e Bacharelado em Química, 2023

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Química de São Carlos (IQSC). Projeto Político Pedagógico dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura em Química – Integral e Noturno 2023.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Projeto Pedagógico dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura em Química – Integral e Noturno. São Paulo, 2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Curso de Licenciatura em Química. Projeto Político-Pedagógico do Curso de Licenciatura em Química para atender às deliberações CEE 111/2012 e 126/2014 e à Resolução CNE 2/2015. Presidente Prudente, 2015b

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Projeto de Reestruturação do Curso de Licenciatura em Química para atender às deliberações CEE 111/2012 e 126/2014 e à Resolução CNE 2/2015. Bauru. 2015a

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Instituto de Química de Araraquara. Projeto Político Pedagógico: Curso de Licenciatura em Química. Araraquara, 2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Instituto de Química de Araraquara. Projeto Político Pedagógico: Cursos de Bacharelado em Química e Bacharelado em Química Tecnológica. Araraquara, 2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Projeto Político-Pedagógico do Curso de Graduação em Química IBILCE/UNESP Modalidade Licenciatura. São José do Rio Preto, 2022.

VALENTE, L. M. M., et al., Unha-de-gato [*Uncaria tomentosa* (Willd.) DC. e *Uncaria guianensis* (Aubl.) Gmel.]: Um Panorama Sobre seus Aspectos mais Relevantes, **Revista Fitos**, João Pessoa, v. 2, n.1., p. 48-58, 2006.

APÊNDICES

Apêndice A. Tabelas com base nas análises dos projetos pedagógicos das três universidades públicas do estado de São Paulo, de acordo com as palavras-chaves “Ambiental”, “Química verde” e “Solventes”.

Tabela A. 1 – Disciplinas ofertadas no campus da UNICAMP.

Universidade de Campinas (UNICAMP)				
Habilitações	AA - Bacharelado em Química;	AD - Bacharelado em Química Tecnológica;	AE - Licenciatura em Química e em Ciências;	Bacharelado em Química Tecnológica.
Núcleo comum	- Química do Meio Ambiente; - Química Inorgânica; - Química Orgânica I; - Fundamentos em Espectroscopia e Ressonância Magnética Nuclear; - Laboratório Integrado.			
Optativas/Eletivas	- Aplicação de Tecnologias em Química Sintética; - Introdução à Química Verde; - Combustíveis Fósseis e Novas Formas de Energia.			
Estágios	- Estágio Supervisionado em Ciências;			

Tabela A. 2 – Disciplinas ofertadas nos campus da USP.

Universidade de São Paulo (USP)					
Ribeirão Preto					
Habilitações	Bacharelado em Química com Ênfase em Química Forense;	Bacharelado em Química com Ênfase em Química Ambiental;	Bacharelado em Química com Ênfase em Biotecnologia e Agroindústria;	Bacharelado em Química;	Licenciatura em Química.
Núcleo comum	- Química dos Solos: Fundamentos, Contaminantes e Remediação; - Fundamentos de Química Experimental; - Biotecnologia Industrial I; - Introdução a Polímeros; - Toxicologia; - Microbiologia Geral; - Química do Meio Ambiente; - Articulação dos conteúdos químico-pedagógicos II.				
Optativas/Eletivas	- Ensino de Química sob a perspectiva do movimento CTS e da Educação Ambiental; - Tratamento de Resíduos de Laboratórios de Ensino e Pesquisa; - Química Ambiental; - Eletroquímica Ambiental; - Educação Ambiental.				
Estágios	- I Química Ambiental; - II Química Ambiental; - III Química Ambiental; - IV Química Ambiental.				
São Carlos					
Habilitações	Bacharelado em Química (I. Alimentos, II. Ambiental, III. Materiais, IV. Gestão de qualidade);	Bacharelado em Química;	Licenciatura em Ciências Exatas.		
Núcleo comum	- Química Ambiental I; - Química Ambiental II; - Química Ambiental III; - Laboratório de química ambiental; - Sistema de Gestão Aplicados à Área de Saúde e Meio Ambiente.				
São Paulo					
Habilitações	Bacharelado em Química;	Bacharelado em Química: - Ênfase em Bioquímica e Biologia Molecular; - Ênfase em Química Tecnológica; - Ênfase em Biotecnologia; - Ênfase em Química Ambiental;	Licenciatura em Química;		

Núcleo comum

- Química ambiental;
 - Química ambiental II;
 - Química ambiental III;
 - Química Ambiental Experimental;
 - Toxicologia Ambiental;
 - Direito Ambiental;
 - Química da Águas;
 - Química da Atmosfera;
 - Ecologia;
 - Geoquímica de Ambientes Superficiais;
 - Geologia Geral;
 - Microbiologia Básica.
-

Tabela A. 3 – Disciplinas ofertadas no campus da UNESP.

Universidade Estadual Paulista (UNESP)			
Araraquara			
Habilitações	Bacharelado em Química;	Bacharelado em Química Tecnológica;	Licenciatura em Química.
Núcleo comum	- Análise Instrumental, Educação Ambiental e Química Verde; - Química ambiental; - Introdução ao Estudo de Química.		
Projeto de extensão	- Consciência ambiental para e com a comunidade;		
Bauru			
Habilitações	Bacharelado em Química Tecnológica;		Licenciatura em Química.
Núcleo comum	- Inorgânica II; - Laboratório de Orgânica I; - Química ambiental I; - Análise Instrumental I; - Microbiologia Industrial; - Higiene e Segurança Industrial e Resíduos Químicos; - Química Ambiental II; - Gestão Ambiental e Normatização.		
Presidente Prudente			
Habilitações	Licenciatura em Química.		
Núcleo comum	- Educação ambiental.		
Laboratório de pesquisa	- Laboratório de Química Analítica Ambiental e Pesquisa em Eletroanalítica e Sensores		
São José do Rio Preto			
Habilitações	Bacharelado em Química Ambiental;	Licenciatura em Química.	
Núcleo comum	- Química Geral Experimental; - Bioquímica Experimental; - Química ambiental I; - Química ambiental II; - Química ambiental III; - Química ambiental IV; - Toxicologia ambiental; - Segurança Química; - Química e Sociedade: Ciências e Meio Ambiente.		