

## CONHECIMENTOS PRÉVIOS SOBRE OS CONCEITOS DO ENSINO DE QUÍMICA VERDE EM TURMAS DO CURSO TÉCNICO- INTEGRADO EM MEIO AMBIENTE DO IFPB

Caline Vieira de Sena Tomé <sup>1</sup>

Luiz Henrique Batista de Almeida <sup>2</sup>

Gicelia Moreira <sup>3</sup>

### RESUMO

O universo e a sociedade vivem em constante mudança relacionadas ao meio ambiente. Diante desta realidade, as escolas precisam acompanhar, participar e formar cidadãos para enfrentar os novos desafios que surgem diariamente, principalmente na preservação ao meio ambiente. No contexto da área de Ciências e da Educação Ambiental, a Química Verde – QV vem se destacando como um tema de muita relevância que deve ser trabalhado nas escolas de forma permanente e ativa por professores e alunos. Desse modo, o presente trabalho tem por objetivo avaliar de uma forma geral o conhecimento prévio dos alunos do 1º semestre do 2º ano do Ensino Técnico-Integrado em Meio Ambiente do IFPB – Campus Sousa, onde, o conteúdo de Química Verde tem como função adaptar e desenvolver recursos didáticos que facilitem a compreensão por parte dos alunos do tema abordado e venha também agregar um conhecimento futuro no ensino de química e na preservação ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Química Verde, Ensino Médio, Meio Ambiente, Sustentabilidade, Alunos.

### INTRODUÇÃO

Desde meados da década de 90 a Indústria Química tem se preocupado com o meio ambiente e também tem procurado adotar um meio de redução, prevenção ou eliminação de contaminação ao meio ambiente, evidenciando mecanismos que busquem por alternativas de produção que não agridam tanto a natureza. Diante desta realidade, os químicos norte-americanos Paul Anastas e John Warner, em 1991 nos Estados Unidos, desenvolveram o estudo da Química Verde, definido por eles como “conjunto de princípios que reduzem ou eliminam o uso ou a geração de substâncias perigosas durante o planejamento, manufaturação e aplicação

---

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal da Paraíba - IFPB, [caline.sena@academico.ifpb.edu.br](mailto:caline.sena@academico.ifpb.edu.br);

<sup>2</sup> Graduando do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal da Paraíba - IFPB, [luiz.almeida@academico.ifpb.edu.br](mailto:luiz.almeida@academico.ifpb.edu.br);

<sup>3</sup> Professora Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal da Paraíba - IFPB, [gicelia.moreira@ifpb.edu.br](mailto:gicelia.moreira@ifpb.edu.br)

de produtos químicos”. No ano de 1993, a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), reconheceu e aprovou a criação da Química Verde.

Esse conceito, também associado ao conceito de produção limpa, encontra-se relativamente difundido em aplicações industriais, particularmente em países com indústria química bastante desenvolvida e que apresentam rigoroso controle na emissão de agentes poluentes. Os conceitos da Química Verde baseiam-se no pressuposto de que processos químicos com potencial de impactar negativamente o meio ambiente venham a ser substituídos por processos menos agressivos. Sem dúvida, um dos principais pontos positivos da Química Verde que surgiu para amenizar os impactos ambientais que a própria química causava, além de melhorar a imagem de poluidora que essa ciência apresentava na sociedade se concentra na busca pela substituição do petróleo e seus derivados nos diversos processos químicos, sendo também na intensificação do uso de combustíveis renováveis, extraídos da biomassa que são menos prejudiciais ao meio ambiente.

Grandes números de substâncias químicas podem ser encontrados no mercado global, seja para o estudo de soluções ou para substituir substâncias antigas já utilizadas. Muitas dessas substâncias são constituintes fundamentais de milhares de produtos e formulações que atuam nos locais de trabalho e na vida dos consumidores, onde, infelizmente, as substâncias químicas podem ser lançadas ao meio ambiente em todas as fases do ciclo de vida de um produto. Ao ser liberada no ambiente, uma substância química pode ser transformada em outra ou ser transportada como resultado de processos naturais causando contaminação local, regional ou global e podendo produzir em alguns casos, efeitos tóxicos ao homem e ao ecossistema. Desse modo, os benefícios sociais e econômicos do uso de produtos químicos devem ser acompanhados pela avaliação de riscos ambientais e à saúde da geração atual e futura, impondo responsabilidades a todos os que estão envolvidos com a Química em maior ou menor quantidade.

Analisando todo conceito de sustentabilidade e preocupação com o meio ambiente, o presente trabalho tem por objetivo verificar o conhecimento prévio dos alunos quanto à temática Química Verde, com aplicação de um questionário de maneira que possa desenvolver ferramentas didáticas, experimentais e estudos de casos da Química Verde no cotidiano do aluno, seguindo também com o objetivo de apresentar e analisar os 12 princípios da Química Verde através dos resultados obtidos através do instrumento de coleta de dados adotado.

## **METODOLOGIA**

O presente trabalho trata-se de um estudo quantitativo e qualitativo, onde, para alcançar os objetivos propostos, foi aplicado um questionário formado por 15 questões sendo 6 (seis) questões objetivas e 9 (nove) subjetivas para uma turma de trinta alunos do 2º ano do Ensino Técnico-Integrado em Meio Ambiente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Sousa. Foram apresentados os 12 tópicos principais da química verde, discutindo brevemente, através de exemplos, como técnicas que utilizam reagentes e solventes clássicos ou que consomem quantidades excessivas de energia para produção e tratamento de seus resíduos que podem ser substituídas de maneira rentável por técnicas limpas e benignas ao ambiente.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

No início da década de 90, os químicos Paul Anastas e John Warner, pesquisadores da Environmental Protection Agency - EPA através do programa “Rotas sintéticas alternativas para prevenção de poluição”, propuseram à utilização de tecnologias que visavam prevenir a contaminação ao meio ambiente por agentes químicos (CASULLO e SOUBIÓ, 2012).

A partir deste estudo, nasce a Química Verde, definida como planejamento, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos, tendo como objetivo reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas. Diante disto, muitos dos desafios da Química Verde estão pautados em reduzir a poluição e os problemas ambientais sobre os seres vivos, eliminando os processos químicos prejudiciais ao ambiente e substituí-los por outros menos agressivos, sustentáveis, recicláveis e não persistentes, implementando métodos sintéticos para substâncias de alta eficácia com redução de toxicidade a saúde humana e ao meio ambiente, minimizando também o uso de energia e reagentes preferencialmente em escala catalítica.

Em 1996, o governo americano instituiu o programa de premiação “*The Presidential Green Chemistry Challenge*” - PGCC, tal programa tem como objetivo premiar inovações tecnológicas que permitam reduzir o impacto ambiental dos processos químicos, focando em três áreas-temática: inovações vias sintéticas, condições de reação e desenvolvimento de



produtos ambientalmente mais aceitáveis. Anualmente, são premiados trabalhos em cinco categorias: acadêmico, pequenos negócios, rotas sintéticas alternativas, condições alternativas de reação e desenho de produtos químicos mais seguros. Prêmios similares foram instituídos em vários países, como Inglaterra, Itália, Austrália e Alemanha.

Em 1993, na Itália, foi estabelecido o Consórcio Universitário Química para o Ambiente (INCA), com o objetivo de reunir grupos acadêmicos envolvidos com química e ambiente, uma de suas áreas de atuação é a prevenção de poluição através da pesquisa em reações, produtos e processos mais limpos.

Anualmente, o INCA promove a Escola Internacional de Verão em Química Verde, que tem contado com a participação de químicos de 20 países. Em 1997 foi criado o "Green Chemistry Institute" - GCI, que desde janeiro de 2001, atua em parceria com a Sociedade Americana de Química (American Chemical Society - ACS). Em setembro do mesmo ano, a IUPAC ("International Union for Pure and Applied Chemistry") organizou sua Primeira Conferência Internacional em "Green Chemistry", em julho de 2001 em Veneza, essa conferência aprovou a criação do Sub-Comitê Interdivisional de "Green Chemistry" e em setembro do mesmo ano foi realizado o Workshop sobre Educação em "Green Chemistry" da IUPAC.

Em 2001, ocorreu também a Conferência CHEMRAWN XIV (The Chemical Research Applied To World Needs), realizada na Universidade do Colorado (EUA), que teve como tema a busca por produtos e processos benignos ao ambiente. Este evento, organizado pela IUPAC, ACS e GCI, contou com mais de 140 trabalhos relacionados ao tema.

Segundo a literatura, à Química Verde vem se expandindo vertiginosamente, através de livros, periódicos e publicação direta na Internet. Em 2000 e 2001 a IUPAC publicou números especiais da revista *Pure and Applied Chemistry* dedicados à química verde. O número de artigos abordando o assunto ou envolvendo tecnologias mais limpas vem crescendo e esta tendência levou a Sociedade Real de Química Britânica (UK Royal Society of Chemistry - RSC) a lançar o periódico bimestral "Green Chemistry", que publica artigos descrevendo aspectos químicos de tecnologias limpas. Estes fatos recentes, somados ao número crescente de países que estão implantando políticas de incentivo a tecnologias verdes, à realização de dezenas de eventos anuais abordando a química auto-sustentável, além da tendência mundial em reduzir as emissões industriais, levam a crer que o Brasil não pode ficar atrás nesta temática.



O conceito da Química Verde que pode também ser atribuído à tecnologia limpa é relativamente comum em aplicações industriais, especialmente em países com indústria química bastante desenvolvida e que apresentam rigoroso controle na emissão de poluentes e vem gradativamente, sendo incorporado ao meio acadêmico, no ensino e pesquisa. Esta ideia, ética e politicamente poderosa, representa a suposição de que processos químicos que geram problemas ambientais possam ser substituídos por alternativas menos poluentes ou não-poluentes. Tecnologia limpa, prevenção primária, redução na fonte de poluentes, química ambientalmente benigna ou ainda "green chemistry", são termos que surgiram para definir esta importante ideia. "Green chemistry", o termo mais utilizado atualmente, foi adotado pela IUPAC por ser o mais forte entre os demais, pois associa o desenvolvimento na química com o seguinte objetivo: desenvolvimento auto-sustentável.

No presente trabalho, será utilizado a tradução literal Química Verde, para o termo em inglês "Green Chemistry". Para promover e atingir os objetivos da Química Verde, por exemplo, a descoberta e o desenvolvimento de produtos e processos que eliminem a formação e à utilização de substâncias que prejudicam a saúde e o meio ambiente, foram criados os 12 (doze) princípios básicos da Química Verde.

Segundo Lenardão et al. (2003), Wardencki et al. (2005), Ramos (2009), Farias e Fávaro (2011), esses 12 princípios da Química Verde foram propostos pelos cientistas americanos Paul Anastas e Dr. John C. Warner no ano de 1998 e devem ser considerados e seguidos quando se pretende implementar esta área da química em uma indústria ou instituição de ensino e/ou pesquisa na área de Química. Sendo os doze princípios da Química verde citados como:

- 1º Prevenção:** É melhor prevenir a formação de resíduos do que tratá-los após a sua geração;
- 2º Economia de átomos:** Uma reação considerada ideal é aquela na qual seu rendimento é aproximadamente de 100% não havendo formação de resíduos;
- 3º Síntese de produtos menos perigosos:** É preferível reações químicas com substâncias de menor toxicidade;
- 4º Desenho de produtos seguros:** Determina o desenvolvimento de produtos seguros a partir de reagentes de baixa toxicidade;
- 5º Solventes e auxiliares mais seguros:** Reduzir o uso de substâncias auxiliares, preferindo as menos nocivas;

**6º Busca pela eficiência de energia:** É preciso diminuir o uso de energia provida de fontes não renováveis e aumentar a eficiência energética, ou seja, diminuir a energia gasta durante uma reação química;

**7º Uso de fontes renováveis de matéria-prima:** Utilizar matérias primas renováveis;

**8º Evitar a formação de derivados:** Evitar o uso de qualquer tipo de grupo protetor ou modificador em uma reação química com intuito de evitar a formação de derivados;

**9º Catálise:** Utilizar catalisadores em uma reação química, aumentando a velocidade da mesma;

**10º Desenho para a degradação:** Desenvolvimento de produtos biodegradáveis;

**11º Análise em tempo real para a prevenção da poluição:** As análises de produção de determinado produto devem ser realizadas em tempo real, para que qualquer desvio da ordem natural possa ser corrigido a tempo e evitar qualquer dano ou resíduo ao final do processo;

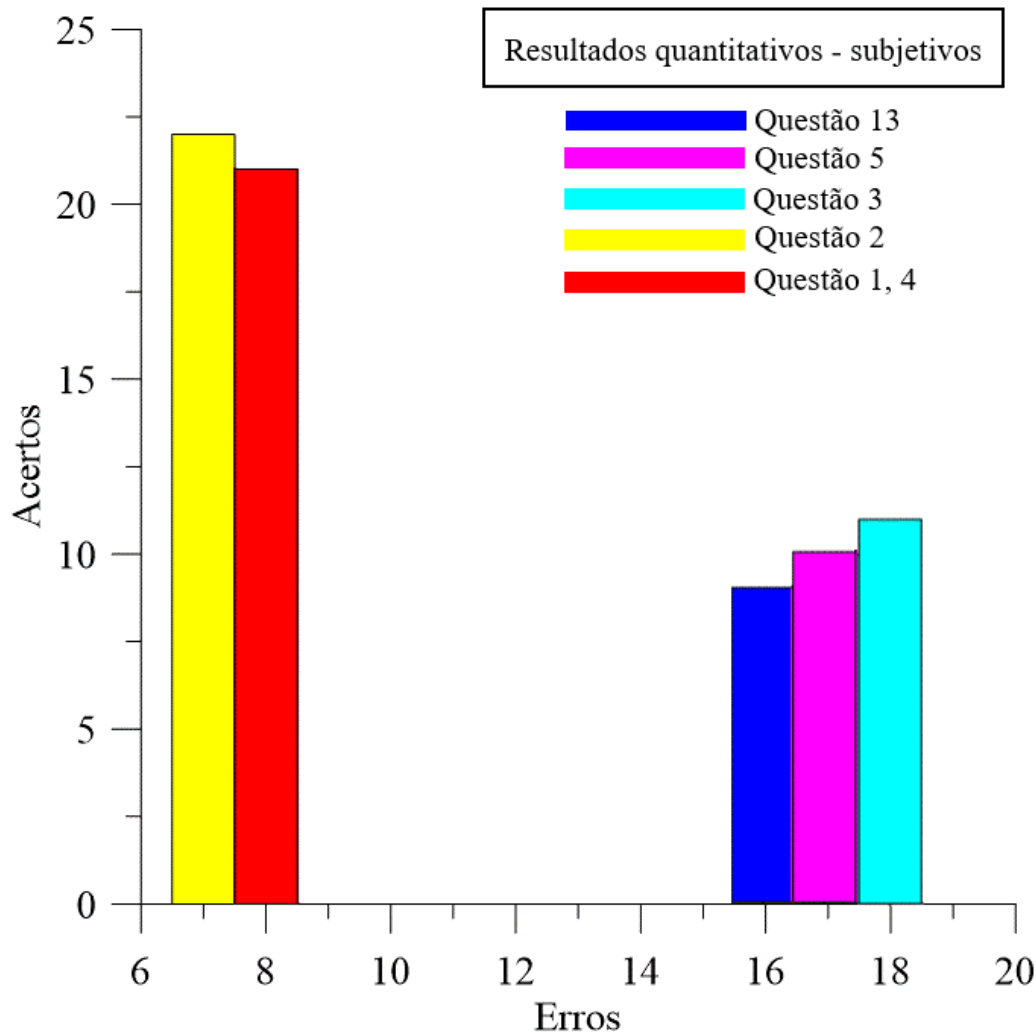
**12º Química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes:** É preciso prevenir acidentes em todo processo químico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do instrumento de coleta de dados proposto, percebe-se que ainda não se tem discutido sobre a temática Química Verde nas turmas de 2º ano do Ensino Técnico-Integrado em Meio Ambiente no 1º semestre de 2022 do IFPB - Campus Sousa. Espera-se, porém, que esse trabalho contribua para instigar aos alunos a busca pelo conhecimento sobre a temática trabalhada e aos professores o desenvolvimento de práticas sobre essa temática em suas atividades de ensino e pesquisa e extensão. Tendo em vista os resultados, a presente pesquisa não conseguiu alcançar por completo os objetivos esperados no planejamento deste trabalho, por outro lado, foi produtivo levar um tema que por muitos era desconhecido, a falta do conhecimento prévio dos alunos que desenvolveu neles, habilidades de observação, investigação, análise e resolução de problemas por meio do caráter discursivo do questionário.

Foi entregue um questionário contendo 15 questões composto de perguntas objetivas e subjetivas, que abordava, em geral, os seguintes tópicos: o conceito da Química Verde, a compreensão/visão da química e sua relação no cotidiano. Os resultados obtidos para as questões iniciais, que são objetivas, podem ser observados na Figura 1:

**Figura 1:** Resultados de acerto e erros das questões subjetivas



Como pode ser observado na Figura acima, questão 1, sabe-se que algumas fontes energéticas desenvolvidas pelo homem exercem, ou têm potencial para exercer, em algum nível, impactos ambientais negativos. Quando se questionou qual a principal fonte de energia que causa a poluição do ar, de 29 discentes que responderam ao questionário, 21 acertaram ao responder as usinas termelétricas como fonte de energia e 8 erraram.

Observando o questionamento 2, trata da definição da Química Verde como sendo a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de energia, logo, ao perguntar qual o recurso de geração de energia que obedece a esse princípio, 22 alunos acertam ao responder que é o Biocombustível e 7 erraram.



A questão número **3**, trata da problemática do lixo das grandes regiões metropolitanas do país, então, foi questionado que, entre as soluções mencionadas, qual seria a solução correta para reduzir o acúmulo desse material nos aterros sanitários, sendo que, dos 29 alunos avaliados, 18 erraram e apenas 11 acertaram que seria o reaproveitamento de resíduos com objetivo de requalificá-los e introduzi-los na economia.

Mesmo percentual da questão **1** foi constatado na questão **4**, quando se questionou sobre a poluição atmosférica, onde 21 afirmaram que o efeito estufa é causado principalmente pelo aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera, provocado pela queima de combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo, e também, que, à substituição dos CFCs (clorofluorcarbonos) por outros gases, como o propano e butano é uma medida para impedir a destruição da camada de ozônio.

Uma penúltima questão subjetiva, questão **5**, menciona que a queima de combustíveis fósseis nos veículos automotores e nas indústrias e também as grandes queimadas nas regiões de florestas tropicais são duas das principais causas do aumento da concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera, com um aumento de 11% nos últimos trinta anos. Sendo que o uso do álcool como combustível em automóveis torna-se interessante, uma vez que, não contribui de forma permanente para o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera. Então, quando se questionou qual seria a melhor vantagem do álcool etílico como combustível, uma grande margem de erro foi constatada, sendo que 17 erraram e apenas 10 acertaram que seria o replantio da cana-de-açúcar que consome o açúcar e 2 alunos não responderam. Essa questão esperava-se um índice de acerto maior, pois quando se fala de cana-de-açúcar é um assunto relacionado aos princípios da química verde, muito atual e muito comentado em vários setores.

O potencial brasileiro para transformar lixo em energia permanece subutilizado, ou seja, não é utilizado por completo, mas, apenas pequena parte dos resíduos brasileiros é utilizada para gerar energia. Uma última questão (**13**) abordada foi em relação a alguns aterros vendem créditos de carbono, ou seja, quantidade de carbono, com base no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Kyoto. Pode ser afirmado que, essa fonte de energia subutilizada, citada no texto, se refere a gás metano, obtido pela atividade de bactérias anaeróbias na decomposição da matéria orgânica, onde apenas 9 acertaram, 16 erraram e 4 não souberam responder, vide Figura 1.



As questões abertas, foi iniciado com o conceito da Química Verde por parte das palavras dos discentes, tendo em vista que, nas primeiras questões subjetivas já tinha sido exposto o conceito da temática abordada, sendo que, muitos dos alunos responderam baseada nas mesmas palavras, sendo que 61% dos alunos responderam à questão e 21% não responderam.

Posteriormente, questionou-se como a Química Verde está presente no nosso cotidiano, onde 55% dos alunos responderam citando a separação do lixo no dia a dia, a reciclagem e o desenvolvimento econômico e tecnológico da indústria química que transforma elementos presentes na natureza em produtos úteis ao homem e 35% não responderam.

Imaginando-se que o tema Química Verde já tinha sido abordado no Ensino Integrado e que era uma das questões mais importantes, foi constatado que 72% dos alunos nunca ouviram falar no tema trabalhado e 18% já ouviram falar sobre a Química Verde e 10% não responderam.

Observou-se que como a maioria não ouviram falar sobre o tema, seguiu-se a mesma porcentagem para as próximas duas questões que questionava se o discente sabia quantos princípios tem a Química Verde, onde foi pedido para citar pelo menos dois princípios.

Tal tipo de questão não apenas avalia a boa assimilação do conteúdo, requerendo conhecimento das alternativas por parte do aluno, mas vai além, permitindo, segundo Vargas (2013), menor possibilidade de erros, facilidade de aplicação, processo e análise, rapidez no ato de responder e redução à parcialidade do entrevistador na compilação das respostas, pois há um padrão claro de respostas possíveis.

Quando se questionou se eles consideravam que a Química Verde tem importância nos estudos atuais, dentre os resultados, 82% responderam que sim, enquanto 4% responderam que não e 14% não responderam.

Com o objetivo de verificar o grau de dificuldade sobre a Química Verde, foi questionado aos alunos, em forma de pergunta de múltipla escolha, citar o porquê a importância do estudo da Química Verde, os resultados foram surpreendidos, sendo que 31% responderam que têm dificuldades para entender, inclusive obtivemos as seguintes respostas:

- porque não entendo química;
- porque a química não entra na minha cabeça;
- porque nunca estudei sobre o assunto;

- 48% responderam que não têm dificuldades e 21% não responderam.

As últimas questões foram abertas, sendo: de que forma você acredita que o combustível e seus derivados podem afetar o meio ambiente, 59% responderam à pergunta, citando:

- poluindo o meio ambiente;
- emitindo gases poluentes;
- a queima do combustível fóssil prejudica a saúde do ser humano e prejudica o meio ambiente e 41% não responderam.

A última questão observa na concepção do aluno qual o propósito da Química Verde? Com um resultado de 60% responderam que:

- que era para dar equilíbrio ao meio ambiente;
- mostrar e ensinar que a química tem grande envolvimento com o meio ambiente;
- reduzir a quantidade de gases que causam efeitos negativos ao meio ambiente;
- ajudar a diminuir a poluição fazendo com que o meio ambiente seja um local melhor para viver e 40% não responderam.

Por fim, observa-se que a aprendizagem dos alunos sobre a Química Verde deve ser trabalhada de forma contextualizada. Com o objetivo de verificar e ajudar aos discentes a compreender melhor a Química Verde e que muitos alunos tem dificuldades para entender o conceito do tema e também citando a dificuldade de entender a própria química.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do tema abordado no presente trabalho, pode-se concluir que:

- Os resultados alcançados mostraram que o tema abordado e a metodologia empregada possuem um potencial de transcender esse trabalho, tornando-se relevante a possibilidade da abordagem dos 12 princípios da Química Verde em outros estudos de casos e aulas práticas, promovendo assim, um estudo e discussão sobre o tema de uma forma real;
- A utilização efetiva e cotidiana da Química Verde é o grande desafio a ser vencido por discentes e docentes de Química e áreas afins;
- É necessária a formação de pessoa com consciência para um desenvolvimento sustentável, a regulamentação de leis rígidas no âmbito ambiental e o desenvolvimento de processos



verdes mais econômicos, os quais são os pilares para o engajamento da filosofia científica tornando-se muito relevante em aulas práticas.

## REFERÊNCIAS

### ABSTRACTS - Green Chemistry.

revista: <http://www.rsc.org/is/journals/current/green/greenpub.htm>, acessada em junho 2022.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. **Green Chemistry: Theory and Practice**, Oxford University Press: Oxford, 1998.

CANN, M. C.; CONNELLY, M. E. **Real World Cases in Green Chemistry**, American Chemical Society: Washington, DC, 2000. Parte deste livro pode ser acessada em <http://chemistry.org/portal/Chemistry?PID=acsdisplay.html&DOC=education%5Cgreencem%5Ccases.html>.

CASULLO, M. M. **Evaluación psicológica e psicodiagnóstico**. Buenos Aires: Catálogos, 1996.

CASULLO, P.; SOUBIRÓN E. 2012. **Química Verde: Metas, Desafios y Formas de Contribuir a su Desarrollo desde La Enseñanza Media**. In: Moyna P, et al., Aportes de La Química al Mejoramiento de La Calidad de Vida, p. 15-45. Montevideu.

CGEE. **Química Verde no Brasil: 2010-2030**. Centro de Estudos e Gestão Estratégico. Brasília. 2010.

INSERÇÃO DA QUÍMICA VERDE NA UNIÃO DE QUÍMICA PURA E APLICADA – IUPAC.

[http://www.iupac.org/divisions/III/320\\_21\\_98/](http://www.iupac.org/divisions/III/320_21_98/), acessada em junho de 2022.

GOMES, R. N. Instituto SENAI de Inovação em Química Verde, Serviços tecnológicos. **Desenvolvimento da química verde no cenário industrial brasileiro**. R. Moraes e Silva, 53 - Bloco 9 030, Maracanã, CEP 20271-030, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, acessado em junho de 2022.

REALIZAÇÃO DE EVENTOS, QUÍMICA VERDE.

<http://www.chemsoc.org/networks/gcn/events.htm> e <http://chemistry.org/portal/Chemistry?PID=acsdisplay.html&DOC=greenchemistryinstitute\meetings.html>, acessadas em junho 2002.

LENARDÃO, E. J. Green chemistry – **Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de Ensino e Pesquisa**, *Química Nova*, v. 26, n.1, pp. 123-129, 2003.

Para uma matéria completa sobre o evento, veja: Ritter, S. K.; *Chem. Eng. News* 2001, 79, 27.



PITANGA, A. F. **CRISE DA MODERNIDADE, EDUCAÇÃO AMBIENTAL, EDUCAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E EDUCAÇÃO EM**

**QUÍMICA VERDE: (RE)PENSANDO PARADIGMAS**, Revista Ensaio em Belo Horizonte, v.18 n. 3, p.141-159, set-dez 2016.

PURE AND APPLIED CHEMISTRY TRAZ ALGUNS TRABALHOS SELECIONADOS APRESENTADOS NO CHEMRAWN XIV: **Pure Appl. Chem.** 2001, 73, 1243. A edição de agosto/2001.

RAMOS, M. A. F. C. **Química Verde – potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Química Para O Ensino, Faculdade de Ciência: Departamento de Química e Bioquímica, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.