

Aqui tem Química XI. Rede de Saúde e Química Verde

Here is Chemistry XI. Health Network and Green Chemistry

Alcione Silva de Carvalho,^{a,*}  Patricia Garcia Ferreira,^a  Cristina Moll Hüther,^b 
Wilson C. Santos,^c  Luana da Silva Magalhães Forezi,^d  Fernando de Carvalho da Silva,^d 
Vitor Francisco Ferreira^{a,e,*} 

^a Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Programa de Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, Rua Dr. Mario Vianna 523, CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brasil

^b Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, CEP 24210-240, Niterói-RJ, Brasil

^c Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Programa de Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, Rua Dr. Mario Vianna 523, CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brasil

^d Universidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Departamento de Química Orgânica, CEP 24020 -141, Niterói-RJ, Brasil

^e Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Departamento de Tecnologia Farmacêutica, Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, R. Dr. Mario Vianna 523, CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brasil

*E-mail: vitorferreira@id.uff.br

Recebido: 17 de Agosto de 2023

Aceito: 9 de Maio de 2024

Publicado online: 16 de Maio de 2024

A health network is an important system for any country. It is a complex made up of several interconnected components that work together to provide comprehensive health services to a population. The main components of a health network are: primary health centers, hospitals, professionals, medicines and supplies, etc. Green Chemistry and the Green Health Network are two concepts that are correlated in the search for ecological and sustainable practices. Although they are distinct fields, there are connections and possible correlations that are highlighted in this text, in which various themes are explored, such as management aimed at minimizing the environmental impact, reduction in the use of hazardous substances, minimization of non-recyclable or biodegradable polymeric waste, waste treatment biological products, conscious use of disposable materials, reduction of energy consumption with efficient constructions, etc. Aspects of energy efficiency are pillars both of green chemistry in its chemical processes and of green health with the use of renewable energy sources. Green Chemistry collaborates immensely with health networks, creating healthier environments.

Keywords: Medicines; sustainability; SDGs; sustainable development.

1. Introdução

Com o crescimento da população mundial cresceram nas mesmas proporções as preocupações com os danos ambientais que disparam os eventos climáticos extremos. Os gases do efeito estufa são preocupantes e precisam ser reduzidos, pois não dá para continuar fazendo tudo igual e esperar um resultado diferente. Mesmo com as leis ambientais, o código de floresta e recomendações da Organização das Nações Unidas (ONU), Organização Mundial da Saúde (OMS) dentre outras, continuamos expostos ao poder destrutivo do capitalismo.¹ Por exemplo, a quantidade de dióxido de carbono no ar vem crescendo continuamente há milênios, mas que se intensificou depois da Revolução Industrial. No entanto, somente em meados do século 20 é que se entendeu que o dióxido de carbono é um dos gases que promovem o aquecimento global. No entanto, metade de todo o dióxido de carbono emitido no mundo em todos os tempos ocorreu conscientemente nos últimos 30 anos, mesmo os humanos sabendo do seu efeito deletério para o meio ambiente.² O crescimento da economia, da população mundial e o modo de vida moderno também elevaram as várias necessidades humanas, como por exemplo energia, alimentos, novas substâncias para a preparação fármacos e de medicamentos, sistema de saúde pública sustentável em diversas dimensões, roupas, cosméticos, combustíveis e água potável. Consequentemente, a produção desses itens tende a aumentar as preocupações com seus possíveis danos ambientais, pois suas produções levaram a geração de muitos resíduos tóxicos que ajudam a degradar a qualidade do meio ambiente. No entanto, esses produtos essenciais são necessários para a manutenção da vida e a forma como as instituições funcionam, mais especificamente, os sistemas de cuidados a saúde. Esses itens são desafios que estão intrinsecamente ligados e precisam ser considerados simultaneamente, pois são elementos multifatoriais. Outro viés dessa problemática é o aumento excessivo de solicitação de exames desnecessários ou meramente rotineiros solicitados pelos médicos ou agentes da área da saúde. Essa ação tem um alto impacto ambiental negativo pelo uso de suprimentos, embalagens, equipamentos etc. que contribuem para o aumento das emissões de carbono. Assim, essas emissões resultam em maior combustão atmosférica, criando um ciclo prejudicial de dano, diagnóstico/tratamento, dano.³

Esse artigo tem como objetivo discutir os principais aspectos relativos ao sistema de cuidados da saúde verde e em que pontos eles cruzam com a Química Verde (Figura 1) e como podem mitigar os diversos impactos ambientais. É importante discutir como a integração

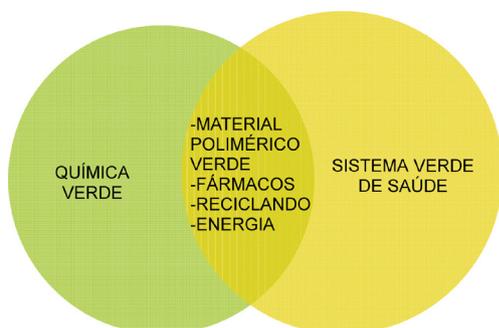


Figura 1. Interseção do sistema de saúde com a Química Verde

da sustentabilidade ambiental se enquadra no sistema de cuidados a saúde que devem ter instalações que vão além de um ambiente terapêutico e que deve aumentar a sensação de um ambiente de cura, mas que seja uma instalação que contribua para um ambiente sustentável, pois um sistema de cuidados verde melhora a saúde das pessoas e reduz os impactos ambientais em termos de eficiência energética, eficiência hídrica e padrões de gestão de resíduos. Há conscientização crescente de que em geral qualquer residência e instalação pública devem incorporar princípios de construção e operação, como funcionamento e uso de materiais verdes. Isso inclui o uso de luz natural, ventilação, recuperação de água, separação de resíduos para reciclagem e reagente não tóxicos de limpeza e materiais poliméricos verdes e isentos de toxicidade. Todos são importantes, mas os sistemas de saúde precisam muito do planejamento e maximização para a separação dos resíduos na produção e o consumo, embora os elementos dos projetos de construção possam

contribuir para a redução das despesas operacionais das instalações, a gestão desses espaços é tão importante quanto ter instalações sustentáveis.⁴ O mais importante é compreender que todos e todas podem fazer sua parte para mitigar os diversos impactos ambientais. Indivíduos, comunidades, sociedade, podem usar suas ações para ocorrer a mudança cultural. Porém, tem que ter uma visibilidade maior dessa conscientização para todas as camadas e esferas da sociedade (Figura 2).

O Objetivo do Desenvolvimento Sustentável N° 3 (ODS) da ONU já estabelece que é preciso “Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades”.^{5,6} Este ODS está explicitado em 8 metas que visam garantir que todas as pessoas tenham acesso a serviços de saúde de qualidade, incluindo prevenção, tratamento e cuidados para doenças físicas e mentais, e que sejam capazes de viver vidas saudáveis e produtivas. Especificamente a Meta 3.9 estabelece que: “Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água e do solo”. Nesse destaque dessa meta se estabelece que os sistemas de saúde devem atuar em conjunto com todos os outros ODSs e suas metas do desenvolvimento sustentável. No entanto, estamos enfrentando desafios significativos para alcançar as metas estabelecidas pela Agenda 2030 das Nações Unidas. Os impactos socioeconômicos persistentes da pandemia da COVID-19 e a guerra na Ucrânia impactou diretamente no cumprimento dessas metas, no qual se faz urgente e necessário que a ONU tome medidas fortes, integradas e especializadas para recuperar o caminho e alcançar as metas das ODSs.



Figura 2. Caminho para a consolidação do desenvolvimento sustentável pela interseção do sistema de saúde com a Química Verde

2. Verde nas Atividades Humanas

A melhor definição para as atividades verdes é em que há promoções de práticas sustentáveis para o meio ambiente, isto é, ações e comportamentos que visam minimizar o impacto negativo no meio ambiente, garantindo a conservação dos recursos naturais e a preservação do planeta para as futuras gerações. O termo verde foi introduzido nas décadas de 1960 e 1970 pelos ativistas ambientais para amplificar e chamar a atenção para as questões que estavam devastando o meio ambiente e a falta de sustentabilidade do planeta que estava crescendo rapidamente. Posteriormente, esse termo foi usado para descrever produtos e práticas ambientalmente conscientes e as empresas passaram a usá-lo em seus produtos como convencimento para os consumidores com o nome ESG. Desde então, o termo tornou-se amplamente utilizado em discussões sobre sustentabilidade e ambientalismo, e agora é usado para descrever práticas, políticas e produtos que promovem a sustentabilidade ambiental. A sociedade passou a se referir como não verdes as atitudes opostas que promovem diversos tipos de poluições da água, ar e solo, desmatamento, mineração e ao esgotamento de recursos naturais. As atividades humanas verdes são variadas e aqui estão alguns exemplos: energia renovável eficiente, transporte verde, agricultura sustentável, tratamento adequado de resíduos, cuidados com oceanos, rios e lagos, construções verdes, educação voltada para a disseminação das dimensões da sustentabilidade, conservação da biodiversidade ameaçadas, impacto das escolhas de consumo, saneamento básico, acabar com a fome e a pobreza, dentre outros. Portanto, esses desafios atuais das estratégias verdes são urgentes, pois é preciso dar continuidade ao desenvolvimento a vida dos povos, diminuindo os danos causados ao meio ambiente. Nesse sentido, se requer uma nova conduta da humanidade e seus governantes e gestores para aprimorar as ações sustentáveis como, menor produção de gases indesejáveis ao ambiente.

3. Estratégias de Química Verde

O conceito da química verde ou química sustentável ganhou mais importância nos laboratórios de pesquisa, nas indústrias químicas e farmoquímicas que investiram tempo e recursos para melhorar as reações individualmente, e também as sínteses complexas, com técnicas mais modernas e uso de materiais de fontes renováveis. A química verde se tornou mais popular na comunidade científica e líderes da indústria a partir dos 12 princípios publicados nos Estados Unidos na década de 1990 por Paul Anastas e John Warner.⁷ De acordo com esses princípios os produtos devem ser produzidos em processos químicos que reduzam ou eliminem o uso e a geração de substâncias perigosas, que sejam economicamente viáveis, socialmente responsáveis

e ambientalmente sustentáveis. Os seus princípios estavam relacionados com as reações químicas que produziam muito rejeitos perigosos para o meio ambiente em sínteses longas. Então, a química verde tradicional começou a desenvolver novas reações em um pote, reações multicomponentes, sínteses com economia de etapas, reações com solvente mais verdes, reações em fluxo e processos mais eficientes. Paralelamente, foi se desenvolvendo outras ideias como a produção eficiente de produtos químicos de baixas massas moleculares a partir de fontes renováveis da natureza.

A adoção dos princípios da química verde nos laboratórios de química e nas indústrias farmoquímicas levou a necessidade de muitos produtos de químicos a partir de biomassas renováveis para a produção de outros produtos químicos de segunda geração e a produção materiais poliméricos verdes.⁸ A biomassa terrestre é um conjunto de materiais de peso molecular variáveis que ocupam as fontes de matéria-prima para a produção de compostos químicos, combustível e materiais biodegradáveis. Muitas políticas e incentivos foram implementados em diversos países visando o uso da enorme quantidade de biomassas das mais diversificadas fontes.⁹ As biomassas disponíveis em base renováveis da natureza são grandes oportunidades de negócios. Estimar a quantidade global de biomassa no planeta não é uma tarefa muito simples devido à diversidade de organismos vivos, mudanças climáticas, as taxas de crescimento, mortalidade por desastres naturais e mortalidade por devastação causada pela atividade humanas. Yinon M. Bar-On e colaboradores estimaram que a composição geral da biomassa da biosfera é de ~550 gigatoneladas de carbono de biomassas distribuídas entre todos as espécies dos reinos vegetais e animais, sendo as plantas as espécies que mais produzem biomassas.¹⁰ Os setores industriais que fornecem as mais importantes matérias-primas renováveis são: setor açucareiro que produz carboidratos como açúcar, glicose, amido e melão de planta matérias-primas, como beterraba, cana-de-açúcar, trigo, milho, batata, mandioca doce, arroz, etc.; setor de processamento de óleos e gorduras que produz inúmeras intermediários oleoquímicos, como triglicerídeos, gordurosos ácidos, álcoois graxos e glicerol de matérias-primas vegetais como sementes de colza, soja, óleo de palma, coco e gorduras animais e o setor de processamento de madeira, em especial a celulose e papel que produz principalmente celulose, papel e ligninas de madeira.

A partir das biomassas pode-se obter produtos químicos para serem utilizados na produção de fármacos, materiais especiais, especialmente polímeros biodegradáveis, produção de diversos tipos de biocombustível¹¹ ou serem modificadas para serem usados materiais verdes, como por exemplo as substâncias destacadas na Figura 3. As biomassas são em princípio materiais energéticos e fontes atraentes e diversificadas de energia renovável, como cana de açúcar para a obtenção de celuloses e etanol, óleos vegetais para produção de biodiesel, resíduos agrícolas, resíduos florestais, e resíduos urbanos, macroalgas verdes^{12,13} (*Chlorophyta*) e marrom (*Phaeophyta*) para produção de

biodiesel, bioetanol de terceira geração e ácido lático. Na Figura 3 estão destacadas algumas substâncias químicas que podem ser obtidas diretamente das biomassas e que servem de plataforma como uma das 12 plataformas¹⁴ para a obtenção de outras substâncias ou que podem servir como monômeros para preparação de polímeros biodegradáveis com múltiplas aplicações. Essa plataforma para o desenvolvimento de fontes sustentáveis e renováveis de produtos químicos e materiais tem uma lista bem maior de produtos químicos orgânicos viáveis em grande quantidade que podem ser obtidos a partir de biomassas renováveis por biocatálise industrial. Essas substâncias foram escolhidas baseadas em diversos critérios para o desenvolvimento de novas tecnologias e para a preparação de materiais renováveis que sejam mais seguros, eficientes, degradáveis, menos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente.

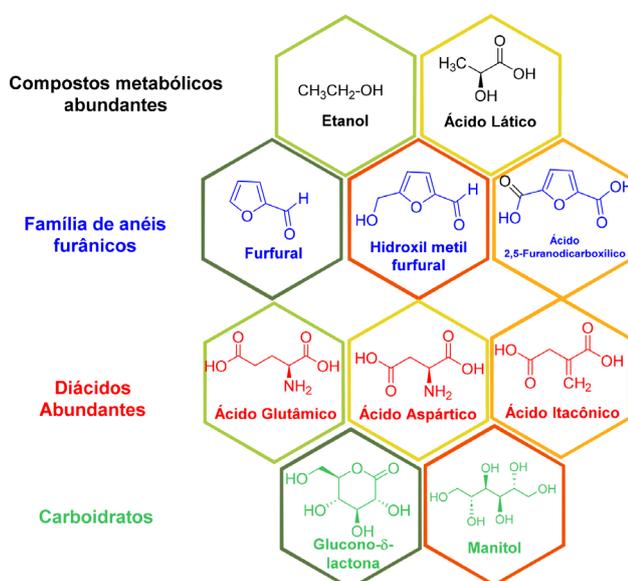


Figura 3. Alguns produtos químicos que podem ser obtidos diretamente da biomassa

O etanol e o ácido lático são duas substâncias de fonte renováveis produzidas em grande escala e usadas para diversos. São substâncias naturais consideradas plataformas para a produção de outras substâncias. Ambas são metabolizadas pelo corpo durante certos processos metabólicos. Industrialmente são produzidas por alguns micro-organismos a partir da sacarose e amido, e mais recentemente a partir de celulose.^{15,16} O etanol é uma commodity que foi produzido na quantidade de 109,4 bilhões de litros em 2022, principalmente de primeira geração a partir do milho e da cana de açúcar, nos EUA e no Brasil.¹⁷ É uma substância que tem muitas aplicações como, combustível, bebidas alcoólicas, higiene pessoal, medicamentos, produtos de limpeza, intermediários químicos, indústria alimentícia, armazenamento de energia, etc. O ácido lático é um ácido orgânico versátil com muitas aplicações em diversas indústrias. Ele pode ser usado como conservante, regulador de pH e intensificador de sabor na indústria de alimentos e

bebidas. Também é usado na produção de produtos lácteos, como queijo, iogurte, cosméticos, excipiente na indústria farmacêutica e na preparação do polímero biodegradável ácido polilático (PLA). O mercado do ácido lático foi de aproximadamente 1,39 milhão de toneladas métricas e deve crescer para cerca de 2,65 milhões de toneladas até 2029. Valor de mercado do ácido lático atingiu cerca de US\$ 1,3 bilhão em 2021.¹⁸ É importante ressaltar que a quantidade de biomassa global está em constante mudança devido a fatores como mudanças climáticas, atividades humanas e desastres naturais.

A família dos compostos contendo anel furânicos é única e tem três compostos chamados de plataformas que são muito importantes para a produção de outros produtos da química fina e materiais poliméricos. O furfural é possui anel furânico e um grupo aldeído usado como ou solvente ou em resinas.¹⁹ Ele é industrialmente obtido da desidratação de xilose encontrada em grandes quantidades na fração de biomassa lignocelulósicas de subprodutos agrícolas, como sabugo de milho, casca de aveia e casca de arroz. arabinose e xilose pode servir como um matéria-prima para a sua produção de fonte sustentável. Atualmente o furfural produzido em todo o mundo vem da China. É usado principalmente como solvente, bem como na produção de outros produtos químicos, e farmacêuticos, resinas e tintas, agricultura, refinarias, setor automotivo, construção, etc.²⁰ O tamanho do mercado global de furfural foi avaliado em 2022 em US\$ 556,74 milhões e espera-se uma expansão uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 7,0% entre 2023-2030. Esse aumento da demanda é impulsionado pelas crescentes preocupações com produtos renováveis O furfural é usado principalmente como solvente ou intermediário em várias indústrias de uso final, incluindo fundições, produtos farmacêuticos, tintas e revestimentos, agricultura, produtos químicos, refinarias, automotivo, construção e outros. Espera-se que a demanda por furfural cresça para usos em vários materiais refratários, como tijolos, fibra de vidro e compósitos cerâmicos, aumente durante o período previsto devido ao crescimento da indústria da construção. Outra família de derivados furânicos importante é o 5-hidroximetilfurfural (HMF) obtido de frutose, glicose e sacarose pela desidratação em condições ácidas ou de alta temperatura.²¹ Esse composto é muito versátil com diversas aplicações em diversas áreas como agente aromatizante em produtos alimentícios, como panificação, confeitaria e bebidas, indústria química é usado como matéria-prima para a síntese de vários produtos químicos, incluindo o ácido furano-2,5-dicarboxílico (FDCA).²² O FDCA é um produto químico de base biológica que tem usos nas indústrias farmacêutica, monômero para materiais poliméricos com alta estabilidade térmica, indústria alimentar, intermediário para a síntese de pesticidas e herbicidas, bloco de construção para a preparação de moléculas mais complexas. A FDCA ganhou grande importância nos últimos anos devido a possibilidade de substituir plásticos convencionais à base de tereftalato de polietileno por FDCA.²³

Vários aminoácidos são produzidos em grande escala. Além das suas finalidades principais, podem servir de plataformas para preparação de novos produtos químicos e materiais poliméricos verdes. Na Figura 3 estão destacados dois aminoácidos extremamente importante e um diácido. São os ácidos glutâmico, aspárticos e itacônico.

O ácido glutâmico é um aminoácido importante que desempenha uma diversidade de funções críticas no corpo humano como, neurotransmissor, síntese de proteínas. Ele é um dos aminoácidos não essenciais nas estruturas das proteínas, o sistema imunológico, promove o transporte de íons, produz energia, regula o pH do sangue, etc.²⁴ O ácido glutâmico é um precursor da glutamina, que é um aminoácido importante na produção de energia celular. Um dos produtos mais importante derivados do ácido glutâmico é glutamato monossódico, um aditivo alimentar que é usado para realçar o sabor dos alimentos que reduz a necessidade de açúcar e sal. As principais matérias-primas usadas para produzir ácido glutâmico são melação de cana-de-açúcar, bactérias corineformes e glicose. O mercado de ácido glutâmico foi avaliado em \$ 9,9 bilhões em 2020 (800.000 toneladas/ano) está projetado para atingir \$ 16,6 bilhões até 2030, crescendo a um CAGR de 5,4% de 2021 a 2030.²⁵ Um dos produtos mais importantes derivados do ácido glutâmico é o polímero verde gamma-poly-glutamic acid (γ -PGA) que tem excelente biodegradabilidade, solubilidade em água e biocompatibilidade. γ -PGA é um biopolímero 100% natural com uma extraordinária capacidade de hidratação da pele e, portanto, diminui a aparência de linhas finas e rugas. Foi originalmente descoberto em águas-vivas marinha e pode ser obtida da soja. Ele é produzido por certas cepas de bactérias do gênero *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus anthracis* e *Bacillus megaterium*.^{26,27} Outras propriedades do γ -PGA na pele são: facilita a esfoliação da pele da queratina velha, penetra nas camadas mais profundas, transporta umidade e os nutrientes à medida que penetra, forma um filme suave e hidratante fina, aumenta a produção do fator de hidratação natural e propriedades antimicrobianas.²⁸ No geral, o γ -PGA é um biopolímero versátil com aplicações potenciais em vários campos, e pesquisas e novas aplicações ainda estão a serem desenvolvidas.

O ácido aspártico é um aminoácido natural e essencial para os mamíferos, tendo diversas funções como neurotransmissor excitatório no cérebro. Ele é também encontrado em muitos alimentos. Ele é produzido naturalmente no corpo como parte do ciclo da ureia e que aumenta a testosterona, a força e a massa muscular e, também, a capacidade de resposta do sistema imunológico. Em algumas plantas ele funciona como transportador de dióxido de carbono. Pode ser produzido por diversos métodos,²⁹ mas a fermentação de melação ou outras fontes de carboidratos usando micro-organismos como *Corynebacterium glutamicum*, *Escherichia coli* e *Brevibacterium flavum*. Seu uso é muito diversificado como, síntese de outros aminoácidos, como metionina e treonina, aditivo alimentar, intensificador de

sabor, cosméticos e produtos de cuidados pessoais, síntese do antiviral aciclovir, do anti-hipertensivo lisinopril e o adoçante artificial aspartame, produção de polímeros biodegradáveis, etc. O mercado de ácido aspártico foi avaliado em US\$ 93,15 milhões em 2021 e deve chegar a US\$ 150,72 milhões em 2029, registrando um CAGR de 6,20% durante o período de previsão de 2022 a 2029.³⁰

Os carboidratos são importantes produtos naturais envolvidos em todos os processos bioquímicos das espécies. Podem ser estruturas simples, como monossacarídeos e dissacarídeos, ou complexas, como polissacarídeos heterogêneos e glicoproteínas. É a classe de produto naturais mais diversificadas e nos organismos fornecem energia sustentada ao corpo e são as bases moleculares para todas as outras substâncias.³¹ Em termo aproveitamento na química verde são as plataformas para produção de produtos químicos e materiais verdes.³² A produção industrial dos carboidratos fica apenas atrás dos óleos vegetais. 95% da biomassa produzida na natureza é formada de carboidratos, cerca de 200 bilhões de toneladas, e 5% é utilizada pelo homem. A sacarose é o dissacarídeo mais abundante e a celulose é o polissacarídeo mais abundantes. Na Figura 3 foram selecionados dois carboidratos abundante que tem importância para a Química verde e para o sistema de saúde verde.

O ácido itacônico é um composto orgânico cristalino branco, possuindo um grupo vinilideno, que ocorre naturalmente, não-tóxico, e rapidamente biodegradável. Ele pode ser produzido pela fermentação com vários micro-organismos, como bactérias, fungos e leveduras. Porém, desde a década de 1960 é produzido industrialmente por fermentação de hidratos de carbono tais como glucose, utilizando *Aspergillus terreus*.³³ É utilizado principalmente como um co-monomero na produção de acrilonitrilo-butadieno-estireno e acrilato de látex com aplicações na indústria de papel e revestimento arquitetônico. Ácido itacônico tem atividade in vitro contra bactérias que expressam a enzima isocitrato liase, tais como *Salmonella enterica* e *Mycobacterium tuberculosis*. O ácido itacônico tem várias aplicações industriais, inclusive como precursor para a síntese de vários polímeros e copolímeros, como o ácido poli-itacônico e o ácido metacrílico na produção de fibras sintéticas, resinas e revestimentos. Devido a sua ligação dupla, pode reagir com resina epóxi produzindo materiais poliméricos de baixa viscosidade, elevado valor de epóxi, baixo custo e com grande potencial de utilização.^{34,35} Além de suas aplicações industriais, o ácido itacônico também possui enorme potencial como uma plataforma química de base renovável e como um substituto potencial para produtos químicos à base de petróleo em uma variedade de aplicações.³⁶⁻³⁸ Também foi investigado por suas propriedades antimicrobianas³⁹ e anti-inflamatórias e como um tratamento potencial para várias doenças, incluindo câncer e diabetes. O mercado do ácido itacônico deve crescer até 2028 em CGAR de 4,20% e estima-se que atinja US\$ 176,55 milhões.⁴⁰

A Glucono-delta-lactone (GDL) (Figura 3) é um carboidrato derivado da D-glicose em que o carbono C-1 está oxidado em ácido carboxílico sendo comumente aplicado nas áreas alimentícias, cosméticas, farmacêutica e industrial. Esse carboidrato é encontrado naturalmente na nossa pele participando como nutriente na via metabólica do açúcar em nível celular.⁴¹ É substância que penetra na pele de forma lenta e gradual, sem causar reações indesejáveis e, portanto, bastante desejável para aplicações em tratamento de água e incrustação inorgânica,⁴² cosméticos e medicamentos para a pele. As pessoas que possuem peles sensíveis podem utilizar as formulações sem experimentar quaisquer tipos de irritação os grupos hidroxila podem atrair e fixar água. Ela é um antioxidante muito eficaz; essa propriedade é evidente em alimentos e medicamentos nos quais ela inibe a oxidação e ajuda a manter a integridade dos produtos. Uma aplicação especial a ser destacada da GDL e sua capacidade de prevenir o fotoenvelhecimento prematuro da pele causado pela radiação ultravioleta e os radicais livres gerados que geram o estresse oxidativo. O mercado global de GDL teve uma receita de US\$ 1,79 bilhão em 2019 e deve crescer até 2030 com um CAGR de 5,1%. O crescimento desse mercado é atribuído principalmente à crescente demanda pelo uso como acidificantes em diversas indústrias como, alimentícia, indústria de laticínios, dentre outras.⁴³

O D-manitol (Figura 3) é o poliálcool natural mais abundante na natureza com mesma configuração estereoquímica da D-manose. Ele é um composto químico cristalino branco, comumente utilizado como diurético e agente osmótico para reduzir a pressão intracraniana em pacientes com edema cerebral em um acidente vascular cerebral agudo. É um carboidrato linear poli-hidroxilado que pode ser preparado por hidrogenação catalítica da D-frutose ou açúcar invertido sob alta pressão e por processo fermentativos utilizando diversas fontes como D-glicose, açúcar invertido e glicerol.⁴⁴ O manitol é um poliálcool de açúcar que é usado comumente em aplicações alimentícias e farmacêuticas. Várias bactérias são capazes de biossintetizar o D-manitol através da fermentação de outros açúcares usando bactérias dos gêneros *Leuconostoc* ou *Lactobacillus*, por exemplo, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus intermedius*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus paracasei*.⁴⁵ Como agente osmótico, ele atua osmótica nos tecidos e fluidos corporais, levando à redução do edema cerebral e à diurese. Ele é rapidamente absorvido pelo trato gastrointestinal e é excretado pelos rins sem ser metabolizado. Além de seu uso médico, o D-manitol também é utilizado em diversos outros setores, como fabricação de condensadores eletrolíticos secos, plastificantes, indústria de alimentos dietéticos, como adoçante (que é 50% tão doce quanto a sacarose), estabilizador de sabor, produção de tecido ósseo associado com hidroxiapatita/colágeno⁴⁶ e na indústria farmacêutica, como excipiente em formulações de medicamentos.⁴⁷ Na colonoscopia é usado no preparo do exame misturado com quatro a cinco copos de manitol diluído em suco de

laranja. Por ser uma matéria-prima de baixo custo, é um reagente bastante utilizado para diversos fins comerciais e também em síntese orgânica, na obtenção de análogos de produtos naturais complexos.⁴⁸ O mercado global do D-manitol atingiu quase US \$ 420 milhões em 2022. Entre 2023-2028, o mercado deverá crescer em um ritmo constante, crescendo a um CAGR de 4,5%. A expectativa é chegar a US\$ 546 milhões em 2028.

4. Estratégias Verdes de Saúde

Nem todas as ações que envolvem estratégias verdes envolvem a ações diretas da química verde, mas certamente há algum material que foi produzido por processos químicos. A popularização da química verde desencadeou uma grande conscientização em muitas áreas sobre a necessidade de desenvolver abordagens que contribui para um desenvolvimento sustentável e que possa mitigar o aquecimento global e os eventos climáticos extremos.

As estratégias verdes estão disseminadas em todas as áreas das ciências com o objetivo de produzirem produtos e serviços sustentáveis que sejam benéficos para o meio ambiente. Essas práticas individuais quando somadas podem reduzir em muito os impactos negativos na natureza e, com isso, diminuir os eventos climáticos extremos que o mundo está enfrentando. Alguns exemplos de estratégias verdes e sustentáveis incluem: eficiência energética, como uso e geração de energia renovável, transporte sustentável, edifício verde, química verde, redução de resíduos, agricultura sustentável, indústria química verde, produtos verdes e biodegradáveis, matérias-primas renováveis, captura e utilização de carbono, reciclagem e redução de resíduos conservação da água, materiais eletrônicos verdes, etc. As estratégias verdes para várias áreas estão resumidas na Figura 4. O destaque que deve ser ressaltado é que seja qual for a área, as estratégias devem planejadas, materiais sustentáveis fabricados com processos verdes, uso de materiais reutilizáveis, recicláveis ou biodegradáveis. As empresas que atuam com a logística de distribuição e armazenamento devem atender critérios ESG diminuam seus impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana.

Todas as áreas mostradas na Figura 4 são muito importantes, como por exemplo, energia obtidas de fontes renováveis, como energia eólica, solar, hidrogênio verde, hidrotérmica e hidrelétrica, além da se ampliar a eficiência energética com melhores cabos de transmissão, uso de iluminação LED e a otimização dos sistemas aquecimento, ventilação e ar-condicionado. No entanto, todos dependem dos processos e materiais desenvolvidos pela Química Verde como destacados na Figura 1,⁴⁹ ou seja, uma interseção entre a Química Verde, que produzam produtos e materiais sem geração de rejeitos, sem agressões ao meio ambiente e sem a produção de materiais persistentes. Neste aspecto, apesar da imagem da Química tem sido relacionada a

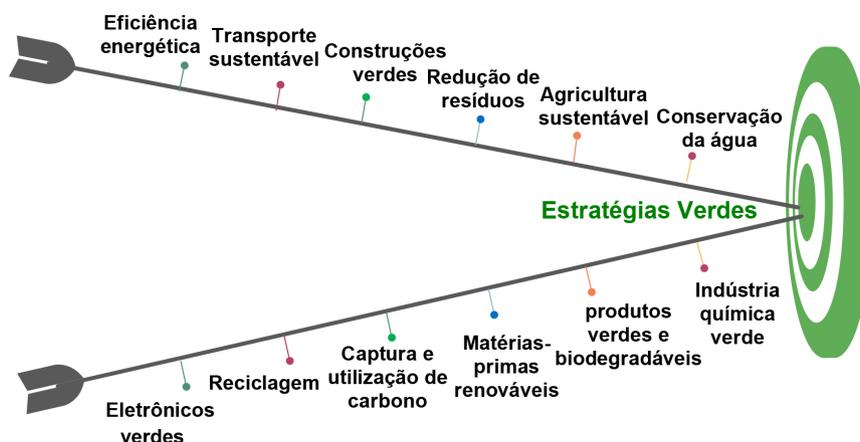


Figura 4. As áreas verdes estratégicas da ciência

problemas oriundos de atividades industriais desde o início do século XX, a química verde se disseminou no mundo⁵⁰ e tem ajudado a reduzir os impactos negativos da produção das substâncias e os seus processos químicos de produção. Esses materiais são desenhados para reciclagem mais fácil, compostagem e plástico biodegradáveis.

A relação entre o Green Healthcare System (Sistema de Saúde Verde) e o meio ambiente é conflitante, pois da mesma forma que prestam atendimento saúde eles deixam para trás muitas pegadas ambientais, como poluição da água, produção de lixo, serviços alimentares insustentáveis.

Os sistemas de saúde envolvem muitas instalações antigas e, algumas recentes, que incluem hospitais, clínica, postos de saúde, laboratórios de análises clínicas e radiológicas, consultórios médicos, etc. Esses sistemas são complexos e que não podem parar para fazer adaptações e, portanto, as mudanças não são lentas para se alcançar um sistema de saúde verde.^{51,52} No entanto, essas instalações produzem materiais orgânicos e inorgânicos dos procedimentos médicos, resíduos biológicos e resíduos em geral que podem impactar o meio ambiente se não tiverem práticas e operações sustentáveis. Se as instalações e os serviços não forem adequadamente planejados não terão sustentabilidade ambiental e deixarão pegada de carbono da saúde. A promoção de práticas sustentáveis beneficia a saúde e o bem-estar de pacientes, profissionais de saúde e da comunidade em geral. É preciso conscientizar os gestores de que a saúde verde reconhece a interdependência entre a saúde dos indivíduos, das comunidades e do meio ambiente. Os modelos existentes de prestação de cuidados de saúde são fragmentação e com baixa coerência que indicam ser as principais dos problemas que influenciam a qualidade dos resultados de saúde.⁵³

Quais são os aspectos mais importantes que envolvem os sistemas de cuidados da saúde verde: a) reduzir o desperdício de energia, reduzir a quantidade de resíduos gerados, minimizar o uso de produtos químicos e materiais inofensivos em ambientes de saúde, práticas saudáveis e sustentáveis, alimentação saudável, edifícios com eficiência energética maximizando a luz natural e ambientalmente sustentáveis, uso de materiais sustentáveis. Para que os

sistemas de saúde verdes atuem eficientemente no cuidado a saúde e não causarem impactos ambientais, devem adaptar suas logísticas para melhorar os resultados das suas atividades em saúde pública e ao mesmo tempo promover a sustentabilidade para as gerações futuras. Na Figura 5 estão resumidas algumas ações importantes que deveriam ser consideradas pelos gestores dos sistemas de saúde para que realmente possam ser considerados sustentáveis.

Como pode ser observado na Figura 5, para se alcançar um Sistema de Saúde Verde muitas ações devem ser observadas simultaneamente e algumas devem estar em concordância com os princípios que norteiam uma química verde e materiais verdes. Mesmo considerando a infraestrutura onde se encontram instalações que tratam de saúde é preciso bastante atenção e, isso inclui projetar e construir instalações de saúde com eficiência energética, usar materiais sustentáveis e incorporar tecnologias verdes, como energia solar, conservação de energia, luminárias de baixo fluxo, telhados verdes, paisagismo com eficiência hídrica, janelas inteligentes, captação de água da chuva e uso de água de reuso. Não é apenas otimizar as instalações para se alcançar a sustentabilidade. É preciso ter pessoal qualificado para realizar as operações sustentáveis que envolvem reduzir o desperdício, melhorar a eficiência energética e usar práticas ecologicamente corretas, como reciclagem e redução do consumo de água. Na questão dos suprimentos utilizados e a cadeia precisa de fornecedores que priorizam a sustentabilidade com as práticas de ESG tanto na produção, logística, distribuição de suprimentos médicos, equipamentos e produtos farmacêuticos.

Do ponto de vista educacional uma instituição que considera seu “Sistema de Saúde Verde” precisa desenvolver práticas de saúde sustentáveis na comunidade. Inicialmente é preciso levar educação e conscientização sobre sustentabilidade para o seu corpo de profissionais de saúde e isso inclui a promoção de estilos de vida saudáveis. Para a comunidade as instituições têm que promover cursos que envolvam a prevenção de doenças, a redução do uso de produtos químicos tóxicos em ambientes nas residências e campanhas educacionais para promover uma saudável. Esse

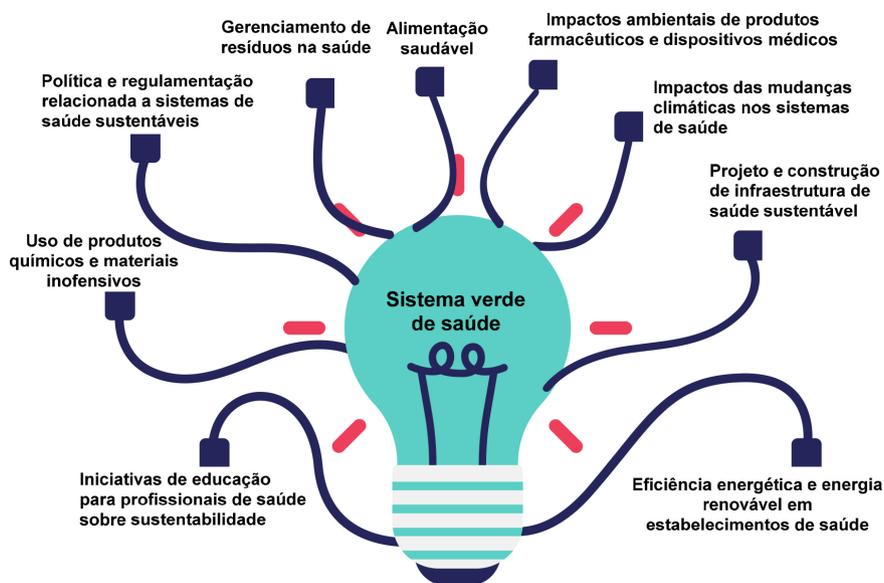


Figura 5. Ações que devem ser observadas em sistemas de saúde verde

mecanismo pode também ocorrer através do envolvimento com a comunidade, com os pacientes e famílias.

5. Intersecção da Química Verde com a Saúde Verde

É bastante comum estudos que mostram a intersecção dos Sistemas de Saúde Verde com as áreas de administração, educação e justiça,^{54,55} mas não há estudos que discutam a intersecção entre Química Verde e Saúde Verde.⁵⁶ O campo da Química Verde tem algumas semelhanças interessantes com Sistemas de Saúde Verde, pois procuram a integridade e autopreservação do meio ambiente paralelamente a minimização do risco de exposição a materiais perigosos aos pacientes e profissionais. Mesmo que os profissionais da área médica nunca tenham ouvido falar do conceito de Química Verde a busca por sustentabilidade deve ser uma prática constante. A intersecção da Química Verde com o Sistema de Saúde Verde envolve muitas alternativas de práticas sustentáveis e ambientalmente do setor de saúde. Apesar da Química Verde estar focada no desenvolvimento de processos e produtos químicos utilizando 12 princípios que visam otimização, minimização de substâncias perigosas, economia de energia, geração de produtos tóxicos e reduzir o desperdício. Todos esses princípios voltados para promover a sustentabilidade. O mesmo é esperado para um Green Healthcare System que deve reduzir o impacto ambiental das instalações de saúde, promover estilos de vida saudáveis e minimizar o uso de substâncias nocivas nas práticas de saúde, métodos de limpeza e esterilização não tóxicos e ecológicos. A prática de saúde sustentáveis para o meio ambiente e tão importante como os cuidados com a saúde humana.

Na Figura 6 ilustra alguns exemplos de como a Química Verde e Saúde Verde podem se relacionarem e trazer um maior benefício global. A intersecção dessas áreas busca

melhorar a saúde e o bem-estar das pessoas, ao mesmo tempo em que reduz o impacto ambiental negativo e promove práticas sustentáveis no setor da saúde.

A utilização de ferramentas para mensurar a eficácia e assertividade dos processos de química verde alinhados com Sistema de Saúde Verde é uma estratégia para garantir a otimização efetiva dessa interface. A criação de métricas para aspectos específicos de Sistema de Saúde Verde que conecte com os 12 princípios da química verde é uma abordagem promissora a ser explorada. Como Mulvihill e colaboradores exploraram na sua revisão, as colaborações interdisciplinares e oportunidades de aprendizado através da melhoria contínua podem estimular e envolver ainda mais pessoas sobre o potencial da química verde para atender às necessidades de desafios das ODS's.⁵⁷

De pequenas em pequenas ações podem surgir grandes mudanças globais com um impacto significativo ao longo do tempo. Pequenas ações como reciclar uma única garrafa plástica, apagar as luzes ao sair de uma sala, dieta mais verdes e saudável podem inspirar outras pessoas a fazerem o mesmo, criando um efeito dominó que leva a mudanças maiores e mais significativas. Na Figura 7 estão destacadas algumas pequenas ações que foram selecionadas e que podem ser implantadas em pequenas ou grandes instituições do Sistema de Saúde Verde.

O PLA é um polímero biodegradável feito a partir de fontes renováveis, é uma grande alternativa para substituição aos plásticos convencionais feitos a partir de petróleo. Esses pratos, talheres e copos são seguros para uso alimentar e resistente a temperaturas moderadas. Os produtos feitos de PLA se decompõem completamente em condições específicas de compostagem.

O uso de luvas descartáveis de látex natural e vestimentas de algodão em substituição ao TNT traz grandes benefícios para o meio ambiente e reduz os resíduos que vão para o lixo. O látex natural é biodegradável e podem ser facilmente

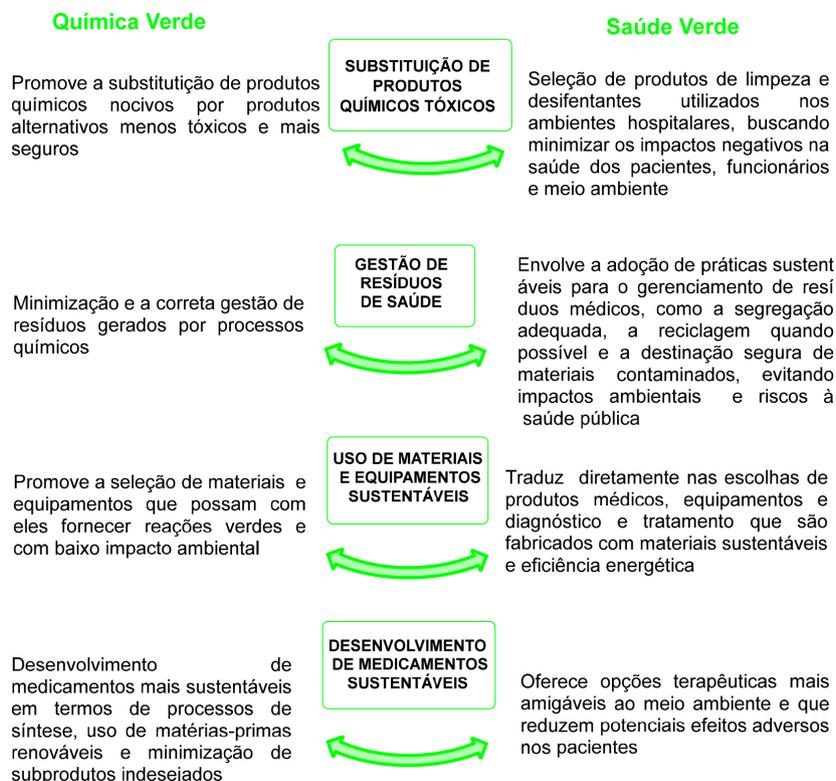


Figura 6. Exemplos de como a Química Verde e a Saúde Verde podem se relacionar e trazer maior benefício global

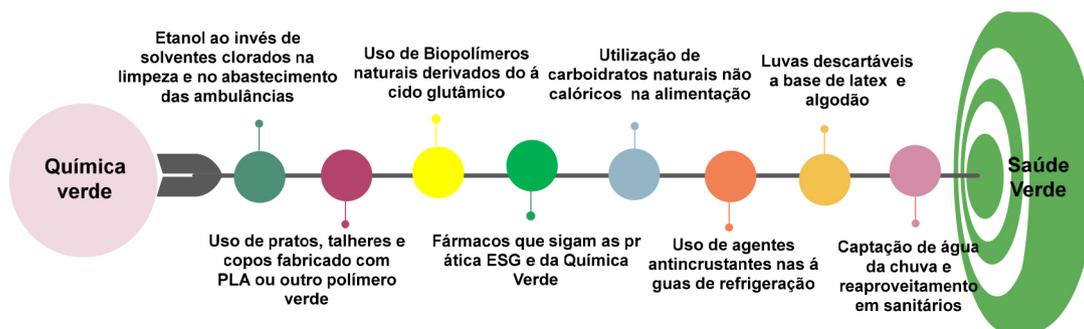


Figura 7. Ações verdes selecionadas para instituições do Sistema Verde de Saúde

decompostas na natureza, ao contrário das luvas descartáveis de plástico, que levam centenas de anos para se decompor. O uso de luvas de látex natural também é mais seguro para a saúde humana, pois o látex é um material natural e menos propenso a causar reações alérgicas do que o plástico. As vestimentas de algodão são as mais adequadas e sustentável do que as feitas de TNT que são produzidos a partir de fibras sintéticas não são biodegradáveis.

Acompanhar a produção dos fármacos que seguem as práticas ESG e da Química Verde é uma tarefa complexa, mas que pode ser realizada com auxílio dos farmacêuticos. Mas a escolha do medicamento depende exclusivamente dos médicos. Os fármacos que atendem a Química Verde é uma abordagem sustentável para a produção de produtos químicos, incluindo fármacos, que utiliza processos com minimização do uso de solventes tóxicos, reduzem o consumo de energia e água, e geram menos resíduos e

emissões tóxicas.⁵⁸ Os fármacos que seguem as práticas ESG devem consideração não apenas o impacto ambiental associado à sua produção, mas também a responsabilidade social e de governança da empresa produtora.

A utilização de carboidratos naturais não calóricos na alimentação é uma alternativa atraente para pessoas que buscam reduzir a ingestão de açúcares e calorias, mas ainda desejam desfrutar do sabor doce em suas refeições. Alguns exemplos de carboidratos naturais não calóricos são o eritritol, o xilitol, o sorbitol e o manitol.

Dentre os biopolímeros naturais, os derivados do ácido glutâmico são polímeros biodegradáveis, solúvel em água e produzidos a partir de matérias-primas renováveis, como açúcares e amidos. Eles apresentam propriedades interessantes para aplicações em diversas áreas, como embalagens, alimentos, cosméticos, medicamentos e agricultura. A poliglutamida é versátil para aplicações como

a fabricação de filmes, membranas, fios e suturas cirúrgicas.

Os agentes anti-incrustantes são compostos utilizados para prevenir a formação de incrustações em sistemas de água de refrigeração, como torres de resfriamento e sistemas de ar condicionado. A utilização de agentes anti-incrustantes não tóxicos e de fontes naturais, como o glucono-delta-lactone, pode ser uma alternativa mais segura e sustentável para a manutenção desses sistemas, pois esta substância é capaz de se ligar a metais e minerais, prevenindo a formação de depósitos e incrustações. O importante é que os anti-incrustantes naturais é uma alternativa mais segura e sustentável para a manutenção de sistemas de água de refrigeração e que contribuem para a preservação do meio ambiente.

A captação de água da chuva e o seu reaproveitamento nas instalações sanitárias traz benefícios significativos ao meio ambiente e para a economia de recursos naturais. A água é um recurso finito e precioso, e o seu uso excessivo pode levar à escassez e à degradação ambiental. As instituições ao captarem a água da chuva como descarga de sanitários, rega de jardins e limpeza de pisos, reduzem a demanda por água potável e previnem inundações e, conseqüentemente, ajudam as fontes de água doce.

Um método simples e eficaz usado para purificar água suja ou contaminada, tornando-a segura para consumo humano é a utilização de comprimidos químicos que contenha o dicloroisocianurato de sódio, um agente desinfetante que mata bactérias, vírus e outros organismos presentes na água. Eles são eficazes contra uma ampla gama de patógenos, incluindo *E. coli*, salmonela, cólera e hepatite A. Esses comprimidos são amplamente utilizados em situações de emergência, acampamentos, viagens e em áreas onde a água potável não está disponível. Cada pastilha transforma 5 litros de água suja em limpa estando pronta para ser usada para beber, cozinhar e fazer higiene.⁵⁹

6. Considerações Finais

Embora ainda se tenha um longo caminho a percorrer, muito já se sabe que existem muitas ferramentas disponíveis para ajudar os Green Healthcare Systems a prevenir os impactos negativos na saúde, segurança humana e para o meio ambiente, que são aceleradas pelas descobertas da Química Verde. Portanto, a interseção entre os sistemas verdes de saúde e a química verde é positiva, pois ambos os campos de estudos se preocupam com a promoção da saúde humana e a redução dos impactos ambientais adversos com a escolha de materiais mais sustentáveis e a redução da emissão de gases de efeito estufa. O desenvolvimento sustentável não é opcional, é o único caminho a seguir.

Referências

- Zubof, S.; *A Era do Capitalismo de Vigilância*, Editora Intrínseca: Rio de Janeiro, 2019.
- Gopel, M.; *Repensando o nosso futuro – Dez temas essenciais para o futuro da humanidade*, Editora Record: São Paulo, 2022.
- Sítio Yale News. Disponível em: <https://news.yale.edu/2019/08/02/healthcare-industry-major-source-harmful-emissions>. Acesso em: 15 agosto 2023.
- Wood, L. C.; Wang, C.; Abdul-Rahman, H.; Abdul-Nasir, N. S. J. Green hospital design: integrating quality function deployment and end-user demands. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *112*, 903. [CrossRef]
- Sítio IPEA. ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável Proposta de adequação. Disponível em: < https://www.ipea.gov.br/porta/images/stories/PDFs/livros/livros/180801_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf> Acesso em: 15 agosto 2023.
- Relatório de Atividades 2017-2018. Comissão Nacional ODS. Disponível em: <https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2019/05/relatorio-cnods-2017-18.pdf> Acesso em: 15 agosto 2023.
- Anastas, P. T.; Warner, J.; *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: Oxford, 1998.
- Kover, A.; Kraljić, D.; Marinario, R.; Rene, E. R. Processes for the valorization of food and agricultural wastes to value-added products: recent practices and perspectives. *Systems Microbiology and Biomanufacturing* **2022**, *2*, 50. [CrossRef]
- Perlatti, B., Forim, M. R., Zuin, V. G. Green chemistry, sustainable agriculture and processing systems: a Brazilian overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* **2014**, *1*, 5. [CrossRef]
- Bar-On, Y. M.; Phillips, R.; Milo, R. The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2018**, *115*, 6506. [CrossRef] [PubMed]
- Singh, A.; Prajapati, P.; Vyas, S.; Gaur, V. K.; Sindhu, R.; Binod, P.; Kumar, V.; Singhanian, R. R.; Awasthi, M. K.; Zhang, Z.; Varjani, S. A Comprehensive Review of Feedstocks as Sustainable Substrates for Next-Generation Biofuels. *Bioenergy Research* **2023**, *16*, 105. [CrossRef]
- Tong, K. T. X.; Tan, I. S.; Foo, H. C. Y.; Lam, M. K.; Lim, S.; Lee, K. T. Advancement of biorefinery-derived platform chemicals from macroalgae: a perspective for bioethanol and lactic acid. *Biomass Conversion and Biorefinery* **2024**, *14*, 1443. [CrossRef] [PubMed]
- Ahmed, N.; Dhar, B. R.; Pramanik, B. K.; Forehead, H.; Price, W. E.; Hai, F. I. A Cookbook for Bioethanol from Macroalgae: Review of Selecting and Combining Processes to Enhance Bioethanol Production. *Current Pollution Reports* **2021**, *7*, 476. [CrossRef]
- Tomishige, K.; Yabushita, M.; Cao, J.; Nakagawa, Y. Hydrodeoxygenation of potential platform chemicals derived from biomass to fuels and chemicals. *Green Chemistry* **2022**, *24*, 5652. [CrossRef]
- Raj, T.; Chandrasekhar, K.; Kumar, A. N.; Banu, J. R.; Yoon, J.-J.; Bhatia, S. K.; Yang, Y.-H.; Varjani, S.; Kim, S.-H. Recent advances in commercial biorefineries for lignocellulosic ethanol production: Current status, challenges and future perspectives. *Bioresource Technology* **2022**, *344*, 126292. [CrossRef]

16. Li, Y.; Xu, Y.; Xue, Y.; Yang, S.; Cheng, Y.; Zhu, W. Ethanol production from lignocellulosic biomass by co-fermentation with *Pecoramyces* sp. F1 and *Zymomonas mobilis* ATCC 31821 in an integrated process. *Biomass and Bioenergy* **2022**, *161*, 106454. [CrossRef]
17. Sítio União Nacional da Bioenergia. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2023/02/27/etanol-oia-mantem-perspectiva-de-producao-global-a-111-8-bilhoes-de-litros-2-19-ante-2022.html#:~:text=A%20Organiza%C3%A7%C3%A3o%20Internacional%20do%20A%C3%A7%C3%BAcar.bilh%C3%B5es%20de%20litros%20de%202021>. Acesso em: 15 agosto 2023.
18. Global lactic acid market volume 2015-2029. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1310495/lactic-acid-market-volume-worldwide/#:~:text=In%202021%2C%20the%20market%20volume,billion%20U.S.%20dollars%20in%202021>. Acesso em: 15 agosto 2023.
19. Corma, A.; Iborra, S.; Velty, A. Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals. *Chemical Reviews* **2007**, *107*, 2411. [CrossRef] [PubMed]
20. Cai, C. M.; Zhang, T.; Kumar, R.; Wyman, C. E. Integrated furfural production as a renewable fuel and chemical platform from lignocellulosic Biomass. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* **2014**, *89*, 2. [CrossRef]
21. Rosenfeld, C.; Konnerth, J.; Sailer-Kronlachner, W.; Solt, P.; Rosenau, T.; van Herwijnen, H. W. G. Current Situation of the Challenging Scale-Up Development of Hydroxymethylfurfural Production. *ChemSusChem* **2020**, *13*, 3544. [CrossRef]
22. Su, Y.; Brown, H. M.; Huang, X.; Zhou, X.-D.; Amonette, J. E.; Zhang, Z. C. Single-step conversion of cellulose to 5-hydroxymethylfurfural (HMF), a versatile platform chemical. *Applied Catalysis A: General* **2009**, *361*, 117. [CrossRef]
23. Milić, M.; de María, P. D.; Kara, S. A patent survey on the biotechnological production of 2,5-furandicarboxylic acid (FDCA): Current trends and challenges. *EFB Bioeconomy Journal* **2023**, *3*, 100050. [CrossRef]
24. Kumar, R.; Vikramachakravarthi, D.; Pal, P. Production and purification of glutamic acid: A critical review towards process intensification. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* **2014**, *81*, 59-71. [CrossRef]
25. Sítio Allied Market Research. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/glutamic-acid-market-A15523>. Acesso em: 15 agosto 2023.
26. Tork, S. E.; Aly, M. M.; Alakilli, S. Y.; Al-Seeni, M. N. Purification and characterization of gamma poly glutamic acid from newly *Bacillus licheniformis* NRC20. *International Journal of Biological Macromolecules* **2015**, *74*, 382. [CrossRef] [PubMed]
27. Shih, I.-L.; Van, Y.-T. The production of poly-(γ -glutamic acid) from microorganisms and its various applications. *Bioresource Technology* **2001**, *79*, 207. [CrossRef] [PubMed]
28. Yu, Z.; Wei, Y.; Fu, C.; Sablani, S. S.; Huang, Z.; Han, C.; Li, D.; Sun, Z.; Qin, H. Antimicrobial activity of gamma-poly (glutamic acid), a preservative coating for cherries. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **2023**, *225*, 113272. [CrossRef]
29. Appleton, H.; Rosentrater, K. A. Sweet Dreams (Are Made of This): A Review and Perspectives on Aspartic Acid Production. *Fermentation* **2021**, *7*, 49. [CrossRef]
30. Global Aspartic Acid Market, By Form (L-Aspartic Acid, D-Aspartic Acid), Application (Feed Supplements, Medicine, Polyaspartic Acid, Aspartame, L-Alanine and Others), End Use (Food and Beverage Industries, Bakeries, Confectioneries, Drink Mix, Jams, Chocolates, Jellies, Dairy Products, Pharmaceutical Industries, Dietary Supplements) – Industry Trends and Forecast to 2029. Disponível em: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-aspartic-acid-market>. Acesso em: 15 agosto 2023.
31. Ferreira, V. F. Carboidratos Abundantes em Síntese Orgânica. *Química Nova* **1995**, *18*, 267. [Link]
32. Lichtenthaler, F. W.; Peters, S. Carbohydrates as green raw materials for the chemical industry. *Comptes Rendus Chimie* **2004**, *7*, 65. [CrossRef]
33. Teleky, B.-E.; Vodnar, D. C. Recent Advances in Biotechnological Itaconic Acid Production, and Application for a Sustainable Approach. *Polymers* **2021**, *13*, 3574. [CrossRef]
34. Ma, S.; Liu, X.; Jiang, Y.; Tang, Z.; Zhang, C.; Zhu, J. Bio-based epoxy resin from itaconic acid and its thermosets cured with anhydride and comonomers. *Green Chemistry* **2013**, *15*, 245. [CrossRef]
35. Teleky, B.-E.; Vodnar, D. C. Biomass-Derived Production of Itaconic Acid as a Building Block in Specialty Polymers. *Polymers* **2019**, *11*, 1035. [CrossRef]
36. Gowda, R. R.; Chen, E. Y.-X. Synthesis of β -methyl- α -methylene- γ -butyrolactone from biorenewable itaconic acid. *Org. Chem. Front.* **2014**, *1*, 230. [CrossRef]
37. Papadopoulos, L.; Malitowski, N. M.; Bikiaris, D.; Robert, T. Bio-based additive manufacturing materials: An in-depth structure-property relationship study of UV-curing polyesters from itaconic acid. *European Polymer Journal* **2023**, *186*, 111872. [CrossRef]
38. Medway, A. M.; Sperry, J. Heterocycle construction using the biomass-derived building block itaconic acid. *Green Chemistry* **2014**, *16*, 2084. [CrossRef]
39. Tomić, S. L.; Vuković, J. S. Antimicrobial Activity of Silver, Copper, and Zinc Ions/Poly(Acrylate/Itaconic Acid) Hydrogel Matrices. *Inorganics* **2022**, *10*, 38. [CrossRef]
40. Sítio Data Bridge Market Research. Disponível em: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-itaconic-acid-market#:~:text=Market%20Analysis%20and%20Insights%20%3A%20Global,USD%20176.55%20million%20by%202028>. Acesso em: 16 agosto 2023.
41. Reis, M. I. P.; Mendes, M. T.; da Silva, F. C.; Ferreira, V. F. δ -Gliconolactona em Síntese Orgânica. *Revista Virtual de Química* **2011**, *3*, 247. [CrossRef]
42. Reis, M. I. P.; da Silva, F. C.; Romeiro, G. A.; Rocha, A. A.; Ferreira, V. F. Deposição Mineral em Superfícies: Problemas e Oportunidades na Indústria do Petróleo. *Revista Virtual de Química* **2011**, *3*, 2. [CrossRef]
43. Sítio DATAINTELO. Disponível em: <https://dataintelo.com/report/global-glucono-delta-lactone-market>. Acesso em: 16 agosto 2023.
44. Tomaszewska, L.; Rywińska, A.; Gładkowski, W. Production of erythritol and mannitol by *Yarrowia lipolytica* yeast in media containing glycerol. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* **2012**, *39*, 1333. [CrossRef] [PubMed]

45. Ortiz, M. E.; Bleckwedel, J.; Raya, R. R.; Mozzi, F. Biotechnological and in situ food production of polyols by lactic acid bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology* **2013**, *97*, 4713. [CrossRef] [PubMed]
46. Nguyen, T.-T.; Hu, C.-C.; Sakthivel, R.; Nabilla, S. C.; Huang, Y.-W.; Yu, J.; Cheng, N.-C.; Kuo, Y.-J.; Chung, R.-J. Preparation of gamma poly-glutamic acid/hydroxyapatite/collagen composite as the 3D-printing scaffold for bone tissue engineering. *Biomaterials Research* **2022**, *26*, 21. [CrossRef]
47. Soetaert, W.; Vanhooren, P. T.; Vandamme, E. J. Em *Carbohydrate Biotechnology Protocols. Methods in Biotechnology*; Bucke, C., eds., Humana Press, 1999. [CrossRef]
48. de Oliveira, P. S. M.; Ferreira, V. F.; de Souza, M. V. M. Utilização do D-manitol em síntese orgânica. *Química Nova* **2009**, *32*, 441. [CrossRef]
49. Química Verde, Economia Sustentável e Qualidade de Vida Ferreira, V. F., da Rocha, D. R., da Silva, F. C. *Revista Virtual de Química* **2014**, *6*, 85. [CrossRef]
50. Corrêa, A. G.; Zuin, V. G.; Ferreira, V. F.; Vazquez, P. G. Green chemistry in Brazil. *Pure and Applied Chemistry* **2013**, *85*, 1643-1653. [CrossRef]
51. Chías, P.; Abad, T. Green Hospitals, Green Healthcare. *International Journal of Energy Production and Management* **2017**, *2*, 196. [CrossRef]
52. Greening, K. G.; *Health Care: How Hospitals Can Heal the Planet*, Oxford University Press: Oxford, 2015.
53. The World Health Organization. Investing in hospitals of the future. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289043045>. Acesso em: 25 abril 2024.
54. Lehr, D. H.; Greene, J. Educating Students with Complex Health Care Needs in Public Schools: The Intersection of Health Care, Education, and the Law. *Journal of Health Care Law and Policy* **2002**, *5*, 68. [Link]
55. King, C. J.; Cloonan, P. The Intersection: Population Health, Historically Underserved Black Communities and Health Administration Education. *The Journal of Health Administration Education* **2018**, *35*, 65. [Link]
56. Schulte, P. A.; McKernan, L. T.; Heidel, D. S.; Okun, A. H.; Dotson, G. S.; Lentz, T. J.; Geraci, C. L.; Heckel, P. E.; Branche, C. M. Occupational safety and health, green chemistry, and sustainability: a review of areas of convergence. *Environmental Health* **2013**, *12*, 31. [CrossRef]
57. Mulvihill, M. J.; Beach, E. S.; Zimmerman, J. B.; Anastas, P. T. Green Chemistry and Green Engineering: A Framework for Sustainable Technology Development. *Annual Review of Environment and Resources* **2011**, *36*, 271. [CrossRef]
58. Kar, S.; Sanderson, H.; Roy, K.; Benfenati, E.; Leszczynsk, J. Green Chemistry in the Synthesis of Pharmaceuticals. *Chemical Reviews* **2022**, *122*, 3637. [CrossRef] [PubMed]
59. Sítio da Organização Mundial de Saúde. Water Sanitation and Health Disponível em: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health>. Acesso em: 24 abril 2024.