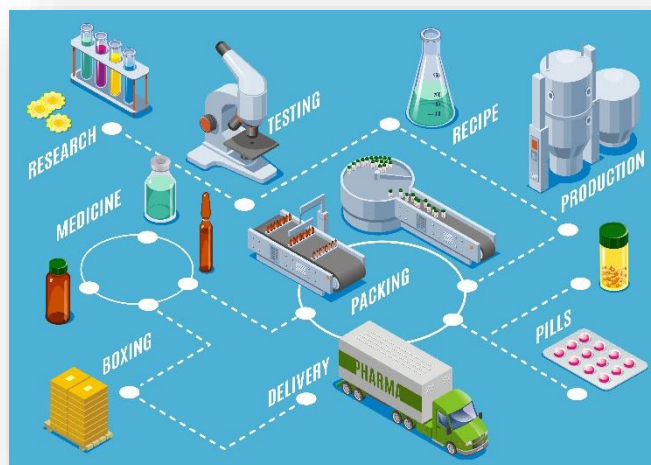


Graphical Abstract



Fonte: Obtido de Freepik (2025)

Principles of the circular economy are within every sector of industry, and promoting a responsible management of natural resources in the pharmaceutical supply chain is pivotal.

GREEN SUPPLY CHAIN NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA: REVISÃO (2020-2025) E ESTUDOS DE CASO

Vitória Matos Barbosa Amarante ^{a,b*}

^a Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, 05508-000 São Paulo – SP, Brasil

^b Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, 05508-000 São Paulo – SP, Brasil

* e-mail: vitoriaamarante@usp.br

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar as oportunidades de implementação da economia circular na cadeia de suprimentos da indústria farmacêutica, com base nos princípios do *Green Supply Chain Management* (GSCM). Por meio de uma revisão da literatura científica recente (2020–2025), foram analisados desafios, práticas e limitações na transição para modelos logísticos mais sustentáveis nas indústrias farmacêuticas. A pesquisa destacou barreiras como a rigidez regulatória, os altos custos iniciais para implementação de práticas circulares nas cadeias de suprimentos farmacêuticas, além de oportunidades relacionadas à inovação tecnológica, uso de materiais recicláveis e estratégias colaborativas entre os elos da cadeia. Estudos de caso nacionais e internacionais, como o uso de embalagens sustentáveis e veículos elétricos, além de soluções alternativas para o descarte de medicamentos vencidos, foram analisados. Os resultados evidenciam a necessidade de ações coordenadas entre setor produtivo, as agências reguladoras e governo, a fim de viabilizar cadeias de suprimentos farmacêuticas mais circulares, seguras e ambientalmente responsáveis.

Palavras-chave: economia circular; cadeia de suprimentos verde; indústria farmacêutica; sustentabilidade; logística reversa.

A STUDY ON GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN THE
PHARMACEUTICAL INDUSTRY: REVIEW (2020-2025) AND CASE STUDIES

Abstract

This study aims to analyze the opportunities for implementing circular economy principles in the pharmaceutical supply chain, based on the framework of Green Supply Chain Management (GSCM). Through a review of recent scientific literature (2020–2025), the practices adopted by the sector were identified, along with the challenges and constraints companies face when transitioning to more sustainable logistics models in pharmaceutical industry. Key barriers include strict regulatory requirements and high initial costs for implementing circularity principles in the pharmaceutical supply chain. On the other hand, opportunities involve technological innovation, the use of recyclable materials, and collaborative strategies across the supply chain. National and international case studies, including the adoption of sustainable packaging, electric vehicles, and alternative systems for the disposal of expired medicines, were analyzed. The findings highlight the need for coordinated efforts among industry stakeholders, regulatory agencies, and public policies to enable pharmaceutical supply chains that are more circular, safe, and environmentally responsible.

Keywords: Circular economy; green supply chain; pharmaceutical industry; sustainability; reverse logistic

INTRODUÇÃO

Com a industrialização, houve uma intensificação no consumo de bens e na produção em escala, o que, embora tenha promovido avanços econômicos e sociais, também acentuou os impactos ambientais negativos, uma vez que a maioria das atividades produtivas envolve a exploração de recursos naturais.¹

Esse modelo econômico resultou na consolidação da chamada economia linear, baseada na lógica do “extrair – produzir – descartar”. Nesse sistema, os recursos naturais são extraídos, transformados em bens de consumo visando ao lucro, e os resíduos não aproveitados são descartados. Estimativas da Ellen MacArthur Foundation (2013) indicam que, globalmente, cerca de 21 toneladas de materiais utilizados na manufatura são descartadas por não serem incorporadas ao produto final.² Combinado ao crescimento populacional, esse modelo mostra-se insustentável. Enfrentar esse desafio é urgente, mas também complexo, pois demanda esforços coordenados em escala global.

Nos últimos anos, essas questões têm gerado discussões relevantes e motivado uma mudança de rota, tanto por parte de agências governamentais e órgãos regulatórios quanto do setor produtivo. A criação de produtos mais sustentáveis e a crescente preocupação ambiental tornaram-se fatores estratégicos nos modelos de negócios das empresas.³ Esta mudança não decorre apenas de pressões regulatórias, decorre também de decisões estratégicas em Pesquisa e Desenvolvimento e a criação de novas oportunidades e práticas inovadoras.

Neste contexto, setor farmacêutico também tem buscado se reinventar para atender às novas demandas. Sendo uma das maiores indústrias globais, a indústria farmacêutica contribui significativamente para a geração de resíduos — como medicamentos vencidos, contaminados ou não utilizados, vacinas e insumos — dos quais cerca de 15% são classificados como perigosos.⁴ De acordo com dados da *World Health Organization* (WHO), as maiores fontes geradoras de resíduos de saúde e farmacêuticos são hospitais, laboratórios e centros de pesquisa, sendo a composição desses resíduos ampla e incluindo o descarte

farmacêutico⁵. Devido ao descarte indevido dos produtos farmacêuticos, pode haver contaminação das fontes de água e solo, sendo que alguns estudos demonstraram a detecção de mais de 3.000 compostos farmacêuticos nos sistemas de tratamento de água, com prevalência em países como Brasil, Canadá, China, entre outros⁶. Atualmente, têm sido adotadas práticas sustentáveis visando à redução desses resíduos, à reavaliação do ciclo de vida dos produtos e ao uso de modelos baseados na química verde. No entanto, é fundamental que o conceito de economia circular seja incorporado de forma ampla em toda a cadeia de suprimentos.

Tendo em vista que uma parcela significativa dos resíduos gerados pela indústria farmacêutica é classificada como perigosa — e que o descarte inadequado desses materiais pode ocasionar impactos ambientais relevantes —, somado à crescente tendência de incorporação de conceitos de circularidade nos processos industriais, motivada por exigências regulatórias e pressões de mercado, torna-se essencial avaliar práticas sustentáveis no contexto da cadeia de suprimentos farmacêutica. No entanto, essa implementação enfrenta desafios específicos, relacionados à complexidade da cadeia produtiva e às particularidades da produção de medicamentos, que envolvem aspectos sanitários, logísticos e regulatórios rigorosos. Embora a literatura disponível sobre o tema tenha estabelecido os fundamentos do GSCM e da Economia Circular, observa-se na literatura recente (2020–2025) a ausência de uma análise narrativa integrada que correlacione os desafios regulatórios e logísticos atuais (barreiras e oportunidades) com a consolidação de dados e estudos sobre o tema com estudos de caso reais, especialmente no contexto brasileiro. Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo é avaliar as oportunidades de implementação da economia circular na cadeia de suprimentos da indústria farmacêutica, com base nos princípios da GSCM.

Para isso, estabelecem-se como objetivos específicos: a definição do conceito de GSCM e suas aplicações na indústria farmacêutica, além da análise das práticas atualmente adotadas para tornar as cadeias mais sustentáveis, buscando alinhamento ao modelo de economia circular.

Metodologia de revisão da literatura

A estrutura deste trabalho contempla: (1) uma avaliação histórica da transição da economia linear para a economia circular; (2) a conceituação do tema *green supply chain*; (3) suas aplicações específicas no setor farmacêutico; (4) as abordagens atuais utilizadas pelas grandes empresas para introduzir a circularidade em suas cadeias de suprimentos e (5) as considerações finais.

Para fundamentação dos itens 3 e 4, foram utilizados como base artigos científicos obtidos de uma revisão da literatura nas bases de dados de repositórios de teses e dissertações publicadas (repositórios da Universidade Estadual de Maringá, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Universidade de São Paulo, Universidade de Alfenas, *Middlesex University Research Repository*), além bases de dados reconhecidas e amplamente utilizadas pela comunidade científica, como PubMed, *Scopus*, *ScienceDirect*, *Springer Nature* e SciELO. Como critérios de inclusão dos artigos pesquisados, foram consideradas publicações entre 2020 e 2025 e busca com descritores como “*green supply chain*”, “*green supply chain management*”, “*circular supply chain management*”; “*pharmaceutical*”, “*circular economy*”, “*pharmaceutical*”, “cadeia de suprimentos farmacêutica”; e “*sustainable supply chain*”, em português e inglês. De modo a garantir uma maior confiabilidade das fontes, foram priorizados artigos científicos com revisão por pares (*peer review*), estudos publicados aplicados ao setor farmacêutica, revisões sistemáticas sobre o tema e publicações veiculadas por instituições e periódicos reconhecidos nos temas de interesse.

Foram excluídos os trabalhos sem acesso ao texto completo ou sem relação direta com o setor farmacêutico. Os artigos selecionados foram organizados conforme os principais enfoques: conceitos e aplicações da *green supply chain*, desafios e barreiras à sua implementação, e sua integração com os princípios da economia circular. Na Figura 1 demonstra-se o fluxograma PRISMA com as etapas detalhadas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos que compuseram esta revisão bibliográfica.

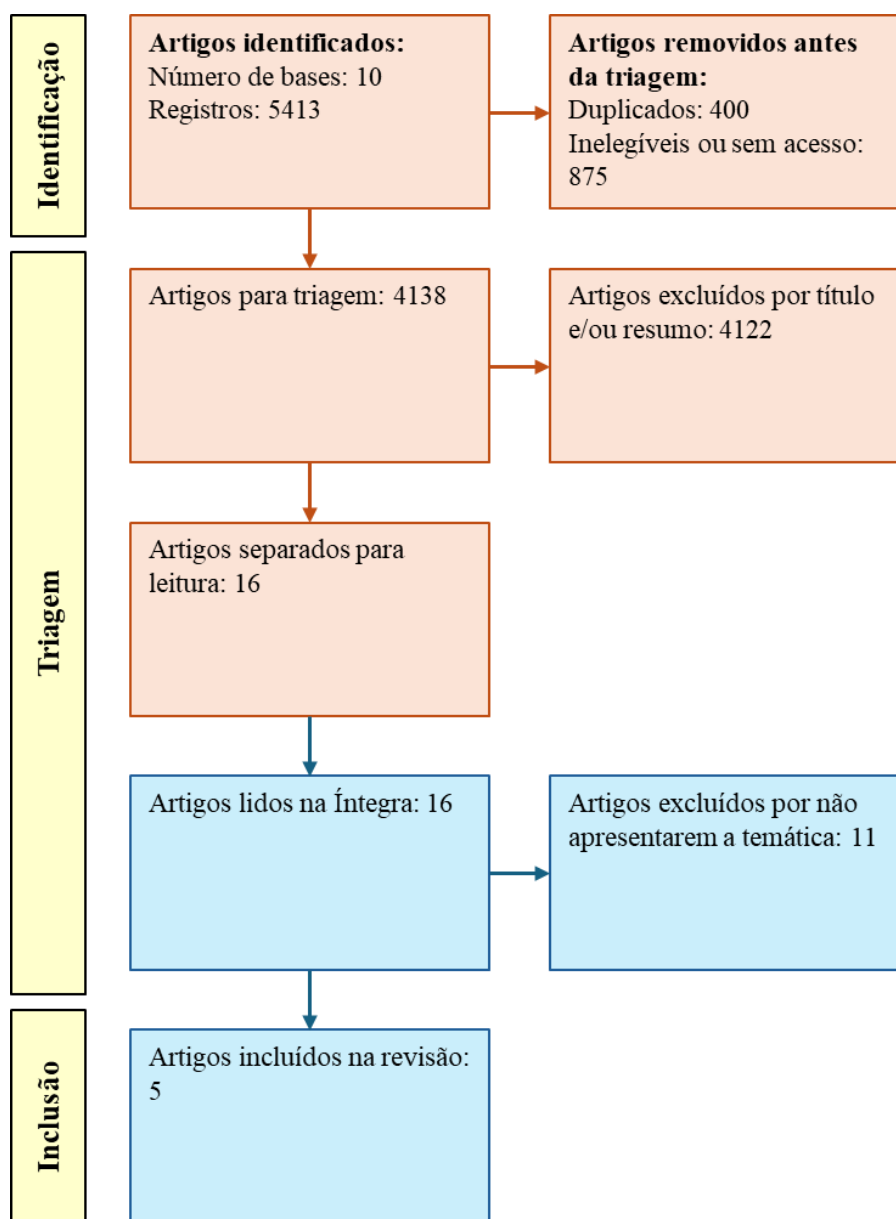


Figura 1. Fluxograma PRISMA com resultado da pesquisa bibliográfica realizada

Para os estudos de casos referentes às indústrias farmacêuticas brasileiras, não foram localizados artigos na literatura. Todavia, a busca foi executada nos sites das próprias empresas, a fim de localizar informações relacionadas à temática em publicações e notícias publicadas.

Do Desenvolvimento Sustentável à Economia Circular: Fundamentos e Aplicações da GSCM

Economia circular versus economia linear

Apenas nas últimas décadas, os governos e a sociedade passaram a demonstrar uma preocupação concreta com a escassez de recursos naturais e com a degradação ambiental causada pela atividade humana.

Esse debate ganhou força entre as décadas de 1960 e 1970, impulsionado por publicações como *Primavera Silenciosa* e *Os Limites do Crescimento*, que introduziram a discussão sobre consciência ambiental e desenvolvimento sustentável nos contextos econômico e político.⁷

Ainda nos anos 1970, o conceito de sustentabilidade começou a se consolidar com eventos como a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (*United Nations Conference on the Human Environment*), que resultou na Declaração de Estocolmo.⁸

Outro marco importante foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), realizada em 1992 no Rio de Janeiro. Nesse evento, foram publicados documentos fundamentais relacionados ao desenvolvimento sustentável e às questões ambientais.⁹ As discussões impulsionaram uma mudança gradual do modelo econômico linear para o modelo circular. Considerando o aumento populacional e a exaustão da capacidade produtiva para atender à demanda crescente por consumo, torna-se essencial ressignificar a ideia de que “mais produção e consumo” representam desenvolvimento. Em vez disso, é necessário adotar um modelo de desenvolvimento positivo, no qual o mercado busque equilibrar crescimento econômico e responsabilidade ambiental.²

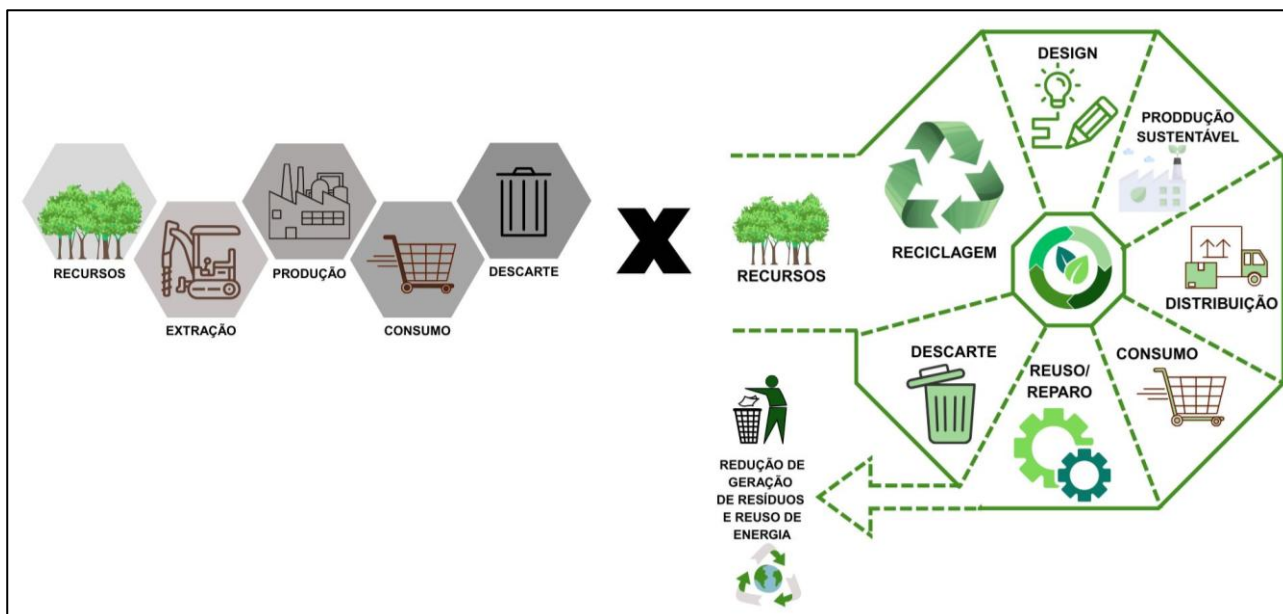


Figura 2. Economia linear versus economia circular. Fonte: Autor (2025). Elementos gráficos obtidos e adaptados da plataforma Canva.

Embora os princípios da economia circular já fossem discutidos desde 1960, o termo foi formalmente introduzido em 1989 por Pearce e Turner. À princípio, a base conceitual da economia circular se tratava da adoção de um sistema ecológico cíclico em oposição ao modelo econômico linear.² Também denominada “economia de performance”, a economia circular é um modelo restaurador e regenerativo, cujo objetivo é preservar e valorizar produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade e valor possível, em todos os momentos e ciclos de uso.¹⁰ Enquanto a economia linear se baseia na lógica “extrair – produzir – descartar”, a economia circular se apoia nos três R’s: reduzir (diminuir o uso de matérias-primas e, conseqüentemente, o impacto ambiental), reutilizar (prolongar o ciclo de vida dos bens) e reciclar (minimizar o desperdício).¹¹

A implementação desse modelo requer a maximização do uso de matérias-primas, a escolha de processos industriais com menor impacto ambiental e o prolongamento do ciclo de vida dos produtos. Tudo isso deve estar alinhado com técnicas economicamente viáveis, o que depende diretamente de investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Nesse contexto,

destaca-se o papel da química verde, fundamentada no design de produtos e processos que reduzam ou eliminem o uso e a geração de substâncias nocivas.¹⁰

Considerando essa mudança de paradigma — de um sistema econômico linear, baseado no consumo e descarte, para um sistema circular, centrado na valorização dos materiais e na redução da geração de resíduos —, em 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Essa agenda propõe 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, com foco no equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental.¹² Para alcançar tais metas, o uso da química verde é considerado essencial.

Em consonância com os compromissos assumidos junto à ONU, o governo brasileiro tem trabalhado na elaboração de um Plano Nacional de Economia Circular, que visa orientar o setor produtivo na transição para modelos mais sustentáveis. Esse plano também pretende estabelecer diretrizes e mecanismos de fomento financeiro para apoiar empresas que desenvolvam projetos alinhados aos princípios da economia circular.¹³

No que diz respeito aos processos logísticos e ao descarte de produtos, o macro-objetivo 2.4 do Plano Nacional de Economia Circular destaca a importância da distribuição e logística sustentáveis. Já o macro-objetivo 2.5 trata do incentivo à reutilização e ao prolongamento da vida útil dos produtos, incluindo a criação de critérios de circularidade no âmbito do Programa Selo Verde Brasil.¹³

Esse programa, lançado em 2024 pelo Governo Federal, visa instituir um selo de identificação para produtos manufaturados que atendam a princípios de sustentabilidade. Os critérios para concessão do selo deverão estar em conformidade com uma norma técnica específica, a ser elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).¹⁴

GSCM como estratégia de transição sustentável

Com objetivo de incorporar os princípios da circularidade e agregar valor aos seus produtos, as empresas vêm gradativamente adaptando seus processos, com foco em inovação,

otimização operacional e uso mais eficiente de insumos ao longo de todo o ciclo produtos, de distribuição e após o uso pelo consumidor final. Essa mudança de posicionamento deve estar integrada a todas as etapas da produção — incluindo, de forma estratégica, a cadeia de suprimentos.¹⁵

A gestão da cadeia de distribuição (*supply chain management* – SCM) é definida como "A coordenação sistêmica e estratégica das funções tradicionais de negócios e das táticas entre essas funções, dentro de uma empresa específica e entre as empresas ao longo da cadeia de suprimentos, com o objetivo de melhorar o desempenho de longo prazo tanto das empresas individualmente quanto da cadeia como um todo".¹⁶

O termo GSCM surgiu no início do século XXI¹⁷ devido à incorporação crescente das questões ambientais nas estratégias empresariais. Ele é definido como “a integração do pensamento ambiental à gestão da cadeia de suprimentos, incluindo o design do produto, a obtenção e seleção de materiais, os processos de fabricação, a entrega do produto final aos consumidores e a gestão do fim de vida do produto após sua utilização”.¹⁶ Considerando que a gestão da cadeia de suprimentos abrange desde o planejamento até a distribuição dos produtos e seu recebimento pelo consumidor final, as práticas de GSCM envolvem inovações na aquisição de matérias-primas, na produção, na distribuição e nos processos logísticos. Portanto, para que a gestão da cadeia de suprimentos se alinhe a um modelo circular, as empresas devem investir em novos produtos e processos, sendo muitas vezes necessária a reformulação de seus modelos de negócio.¹⁸

A principal diferença entre a SCM tradicional e a GSCM está no foco: enquanto a primeira se concentra nas relações interorganizacionais voltadas à eficiência de insumos, produção, logística e atendimento ao consumidor, a segunda amplia esse escopo ao incorporar objetivos ambientais, como a minimização da emissão de gases poluentes, a redução da geração de resíduos e a otimização do uso de recursos.¹⁸ GSCM compreende ações tanto internas quanto externas às organizações, como a gestão mais eficiente de insumos e resíduos, além da integração das diversas etapas da cadeia.¹⁹ As principais práticas adotadas incluem: Gestão

Ambiental Verde, Compras Verdes, Cooperação com os clientes, *Ecodesign* e Recuperação de Investimentos.¹⁵

Aplicações do GSCM na Indústria Farmacêutica

Análise da Produção Científica sobre GSCM no Setor Farmacêutico

Para compreender os processos envolvidos no SCM e no GSCM na indústria farmacêutica, bem como analisar como a circularidade pode ser implementada na cadeia logística e os desafios associados, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema. Os processos relacionados ao SCM e GSCM são equivalentes, entretanto, no GSCM as etapas são pensadas de forma a minimizar os impactos ambientais.²⁰

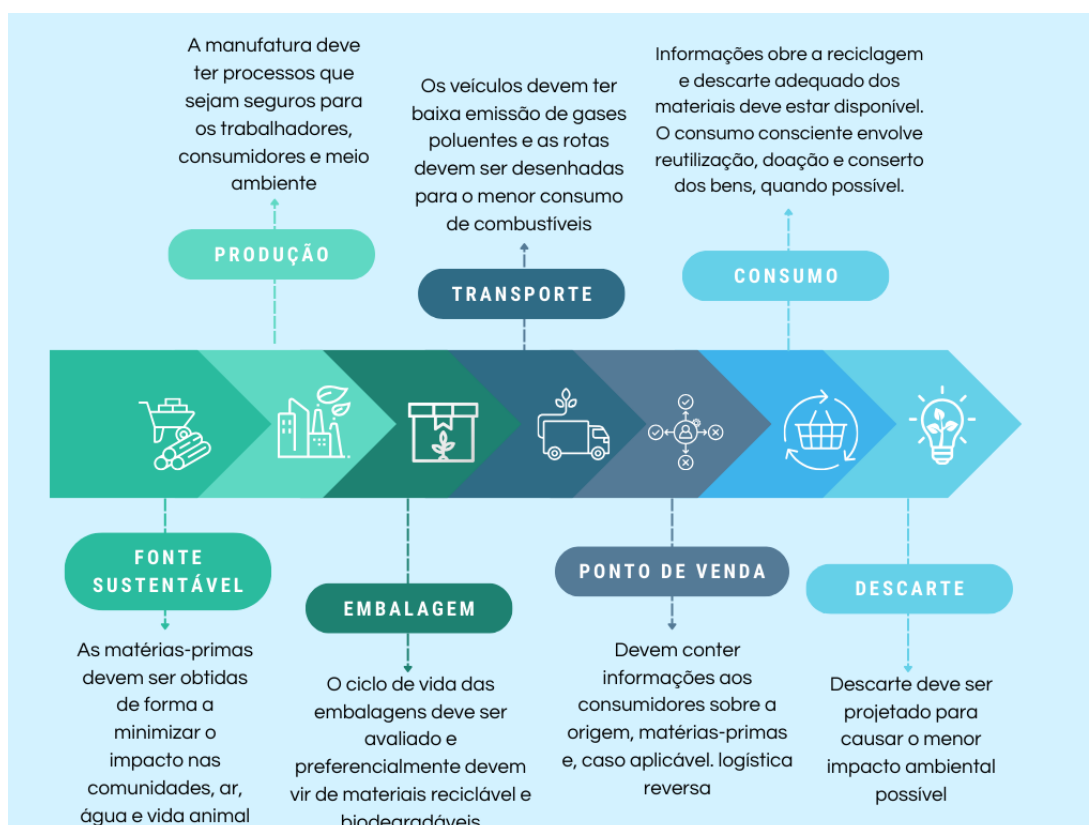


Figura 3. Etapas da cadeia de suprimentos no contexto da economia circular. Fonte: Autor (2025). Elementos gráficos obtidos e adaptados da plataforma Canva.

Para entender a base do SCM no setor farmacêutico, suas etapas e especificidades em relação a outros segmentos industriais, foi utilizado como referência o trabalho de Peron (2022).¹⁷ Nesse estudo, o autor realizou uma revisão sistemática da literatura sobre GSCM e termos correlatos, complementando com um estudo de caso da rede de distribuição de medicamentos da Secretaria de Saúde do Estado do Paraná. A pesquisa resultou na construção de modelos matemáticos voltados à redução de custos logísticos, minimização da emissão de dióxido de carbono e análise de impactos sociais.

Segundo Peron,¹⁷ a cadeia logística farmacêutica é particularmente complexa, tanto por fatores intrínsecos ao tipo de produto — que envolvem as etapas de pesquisa e desenvolvimento, produção, comercialização e logística — quanto pelas variações nos regimes de saúde pública e exigências regulatórias específicas de cada país. O processo de SCM abrange desde a indústria química e a importação de matérias-primas até a fabricação, distribuição e entrega ao paciente. Um fluxograma representando essas etapas é apresentado a seguir. Observa-se que esse fluxo é predominantemente linear, sem contemplar elementos de circularidade, como a logística reversa.

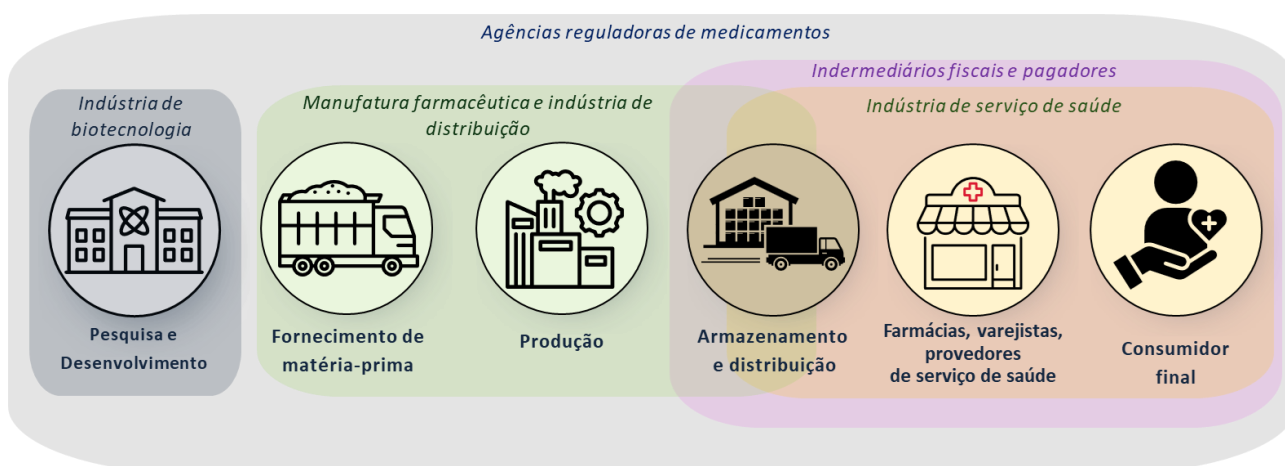


Figura 4. Etapas envolvidas na cadeia de suprimentos farmacêutica. Fonte: Adaptado de Peron (2022). Elementos gráficos obtidos e adaptados da plataforma Canva

O estudo também destaca os principais desafios enfrentados pelo setor, como a necessidade de controle de temperatura na armazenagem, variações sazonais na demanda, gestão de estoques e validade dos produtos. Mesmo com o uso crescente de tecnologias para apoiar a produção e distribuição, ainda há dificuldades em atender ao mercado de forma eficiente.

Diante dessas particularidades, a implementação efetiva do GSCM na indústria farmacêutica torna-se desafiadora, com barreiras como os altos custos iniciais, a escassez de mão de obra qualificada e a resistência à mudança. Um ponto relevante sobre circularidade apontado por Peron (2022)¹⁷ é a necessidade de planejamento logístico eficiente, com rotas otimizadas para reduzir a emissão de gases poluentes.

Com o objetivo de identificar estratégias viáveis para a adoção do GSCM nesse setor, Khan et al. (2021)⁴ realizaram uma análise bibliográfica sobre as barreiras e oportunidades associadas à incorporação da circularidade nas cadeias farmacêuticas, complementada por um modelo matemático para avaliação dessas práticas.

O estudo reforça que o descarte inadequado de medicamentos — em razão de sua toxicidade e volume significativo — é uma das principais fontes de resíduos no setor, exigindo políticas de gestão específicas. Entre outros aspectos relevantes, os autores destacam a importância de incentivos fiscais para empresas comprometidas com a sustentabilidade, os impactos da forte regulamentação do setor, a disparidade tecnológica entre países desenvolvidos e em desenvolvimento e a complexidade da cadeia, que lida diretamente com a saúde humana. Uma das estratégias propostas pelos autores para reduzir o descarte incorreto de medicamentos é o incentivo de programas de logística reversa, em que os medicamentos vencidos, não utilizados e suas embalagens primárias são devolvidos às indústrias para serem corretamente tratados ou reciclados.¹⁷

Com base na avaliação da literatura por meio de ferramenta de análise matemática, Khan et al.¹⁸ identificaram as principais barreiras e oportunidades para a adoção do GSCM na indústria farmacêutica. A Tabela 1 apresenta as principais barreiras observadas nesse processo, organizadas por categoria e acompanhadas de suas respectivas descrições.

Tabela 1. Principais barreiras para adoção do GSCM nas indústrias farmacêuticas. Fonte: Adaptado de Khan et al (2022) ¹⁸

Nº	Barreira	Descrição
1	Falta de recursos e financiamento	Necessário alto investimento inicial para implementação de tecnologias sustentáveis, práticas circulares e logística reversa;
2	Dificuldades de mercado	Falta de colaboração entre empresas para o desenvolvimento de produtos verdes e ausência de incentivos fiscais e regulatórios que estimulem práticas sustentáveis.
3	Falta de colaboração na cadeia logística	Necessidade de planos coordenados de logística reversa para manuseio e tratamento adequado dos resíduos de medicamentos, dada sua toxicidade.

A Tabela 2 apresenta as principais oportunidades observadas nesse processo, organizadas por categoria e acompanhadas de suas respectivas descrições.

Tabela 2. Principais oportunidades para adoção do GSCM nas indústrias farmacêuticas. Fonte: Adaptado de Khan et al (2022) ¹⁸

Nº	Oportunidades	Descrição
1	Simbiose industrial	A GSCM precisa ser elaborada com foco na gestão ambiental, logística reversa, responsabilidade pelo ciclo de vida do produto reciclagem e reuso, e as empresas devem colaborar em conjunto para atingimento das métricas de sustentabilidade.
2	Estruturação da logística reversa	O escopo da logística reversa deve ir além da coleta de medicamentos vencidos, deve englobar o combate à falsificação de medicamentos, a recuperação de medicamentos com embalagens danificadas, a reciclagem e o reaproveitamento de fármacos.
3	Implementação da tecnologia <i>blockchain</i>	Engloba a digitalização de ativos físicos e descentralização de transações, promovendo maior transparência e segurança nas operações, além de permitir a criação um registro imutável e transparente de cada etapa do processo, desde a produção até a entrega ao paciente, combatendo a falsificação e garantindo a autenticidade dos produtos, além de otimizar processos, reduzir custos e aumentar a eficiência.

Tendo em vista que ainda não há alternativas suportadas por órgãos reguladores para a reutilização ou reciclagem de medicamentos vencidos, esses resíduos são, em sua maioria, descartados após o uso e necessitam de tratamento adequado. Contudo, muitos desses resíduos são eliminados de forma incorreta junto ao lixo doméstico, o que pode levar à contaminação de sistemas hídricos e lençóis freáticos, uma vez que as estações de tratamento de esgoto convencionais não foram projetadas para remover insumos farmacêuticos.²¹

Uma alternativa compatível com os princípios da economia circular foi proposta por Mgharbel *et al.*²¹ Segundo os autores, o método mais comum para a descontaminação de resíduos farmacêuticos é a incineração. No entanto, esse processo demanda alta energia e emite gases poluentes, como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e CH₄. Como alternativa, os autores propõem a pirólise — um processo de degradação térmica de compostos orgânicos em ambiente sem oxigênio. O estudo foi realizado utilizando o fármaco acetaminofeno (paracetamol) em forma de comprimidos (Figura 5).

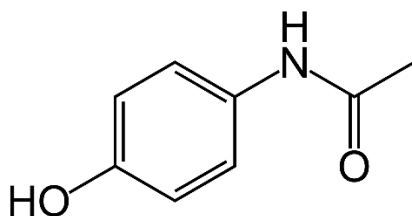


Figura 5. Estrutura química do paracetamol

A pirólise foi conduzida sob atmosfera de nitrogênio a 550°C. Os produtos voláteis gerados foram condensados e analisados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) para verificar a eficiência de eliminação do fármaco. A taxa de aquecimento ideal foi determinada por análise termogravimétrica (TGA), e a presença residual do acetaminofeno foi avaliada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR). Além disso, foram analisados os efeitos térmicos relacionados às transformações físicas e químicas do processo por meio de calorimetria exploratória diferencial (DSC).

Os resultados mostraram que a pirólise promoveu a eliminação de aproximadamente 65% do princípio ativo, com geração de gases como monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano e etano, que possuem potencial para reaproveitamento energético ou como insumos em outras aplicações industriais.

Estudos de caso aplicados de GSCM nas indústrias farmacêuticas

Nesta seção, são apresentados estudos de caso que ilustram como algumas empresas farmacêuticas vêm adotando estratégias alinhadas aos princípios do GSCM.

A adoção das práticas de GSCM tem avançado gradualmente entre as grandes indústrias farmacêuticas, impulsionada tanto por pressões regulatórias quanto por iniciativas estratégicas de sustentabilidade. A preocupação com os impactos ambientais associados à produção, distribuição e descarte de medicamentos tem levado essas empresas a revisarem suas cadeias produtivas, buscando torná-las mais circulares e ambientalmente responsáveis. No Brasil, o programa LogMed, instituído pelo governo federal, configura-se como uma relevante iniciativa de logística reversa voltada ao descarte ambientalmente adequado de medicamentos e suas embalagens. A ação contribui diretamente para a redução da geração de resíduos perigosos e para o reaproveitamento de materiais, alinhando-se aos princípios da economia circular.²²

Para viabilizar o programa, foram implantados aproximadamente 6,8 mil pontos de coleta em farmácias e drogarias de todo o país. Até o momento, cerca de 600 toneladas de medicamentos vencidos ou em desuso já foram recolhidas e encaminhadas para as indústrias farmacêuticas responsáveis por realizar o descarte conforme as diretrizes ambientais e sanitárias específicas para esse tipo de resíduo.²³ A iniciativa foi motivada pela obrigatoriedade imposta pelo Decreto Federal nº 10.388/2020, que estabeleceu o sistema de logística reversa de medicamentos de uso domiciliar.

Contudo, a efetividade do programa ainda depende de ações educativas voltadas à conscientização da população, com campanhas informativas que orientem sobre o descarte

correto, os locais apropriados e os cuidados necessários para a devolução segura desses produtos.

Islam *et al.*²⁴ propuseram uma análise das práticas sustentáveis adotadas pela multinacional Pfizer, destacando ações significativas para tornar sua cadeia de suprimentos mais verde. Entre as medidas identificadas, estão: a exigência de que 75% de seus principais fornecedores estabeleçam metas de redução de emissões de gases de efeito estufa; o compromisso com a aquisição de 100% de energia renovável até 2030; a meta de reduzir em 90% as emissões de sua cadeia de valor até 2040; o desenvolvimento de embalagens de vidro mais eficientes, que otimizam o armazenamento e o uso de medicamentos injetáveis; e, ainda, programas de doação em larga escala para minimizar o desperdício de medicamentos.

Em um segundo estudo, Belal *et al.*²⁵ avaliaram as práticas de GSCM em indústrias farmacêuticas localizadas no Reino Unido. A partir de um levantamento conduzido com profissionais do setor, foi possível identificar a percepção e o grau de implementação de práticas sustentáveis nas empresas. Entre as estratégias mais citadas estavam a redução e o reuso de solventes, a aplicação de biocatalisadores, a substituição de substâncias químicas perigosas — como benzeno e diclorometano —, o uso de nanotecnologia para processos mais eficientes, e a incorporação de princípios da metodologia *Lean*, visando à otimização de tempo e recursos.

O estudo também permitiu distinguir o nível de engajamento entre diferentes segmentos da indústria farmacêutica. De modo geral, empresas inovadoras e biofarmacêuticas demonstraram maior comprometimento com práticas circulares, enquanto indústrias focadas na produção de medicamentos genéricos ainda enfrentam dificuldades em integrar efetivamente tais práticas em seus modelos de negócios. Essa diferença pode estar relacionada a fatores como menor capacidade de investimento, foco em custos reduzidos e menor pressão por inovação ambiental no mercado de genéricos.

No contexto nacional, observa-se uma movimentação gradual por parte de algumas empresas farmacêuticas em direção à adoção de práticas associadas ao GSCM, alinhadas aos princípios

da economia circular. Um exemplo que ilustra essa tendência é o desenvolvimento da embalagem denominada +Verde, pela empresa Eurofarma em parceria com o Senai Educação.

A adoção de materiais recicláveis em embalagens primárias no setor farmacêutico representa um desafio, principalmente devido às rigorosas exigências regulatórias voltadas à segurança do paciente. De acordo com uma publicação da empresa Meyers, especializada em materiais de embalagem para as indústrias farmacêutica e cosmética, apenas 25% das embalagens primárias utilizadas no setor farmacêutico são consideradas sustentáveis.²⁶ Como essas embalagens entram em contato direto com o produto farmacêutico, é necessário realizar estudos específicos de extraíveis e lixiviáveis, a fim de monitorar se houve absorção de componentes da embalagem para o medicamento e comprovar que os materiais utilizados não comprometem a estabilidade, eficácia ou segurança do medicamento.²⁷

Apesar disso, a empresa Eurofarma implementou uma solução tecnológica que viabiliza o uso de materiais reciclados sem prejuízo às exigências regulatórias. A embalagem primária desenvolvida para produtos de formas farmacêuticas sólidas, é composta por 30% de material reciclado e foi aprovada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)²⁸, evidenciando a viabilidade técnica e regulatória da iniciativa. Outro aspecto relevante do projeto é que essa embalagem, após o uso e descontaminação pelo consumidor, pode ser encaminhada para a coleta seletiva, o que representa um avanço significativo em termos de circularidade de materiais. Atualmente, a maioria das embalagens primárias farmacêuticas não pode ser reciclada por não atender aos critérios exigidos para garantir a integridade do produto e a segurança do paciente, resultando, muitas vezes, em descarte inadequado.

Outra prática observada em algumas indústrias farmacêuticas nacionais visando à mitigação dos impactos ambientais é a incorporação de veículos elétricos na logística de distribuição de medicamentos. Essa medida tem como principal objetivo a redução das emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte rodoviário. Um exemplo é a empresa Galderma, que adotou frotas elétricas em parte de suas operações logísticas, alinhando-se às metas de

descarbonização e de melhoria da eficiência energética no setor. Essa iniciativa representa um passo importante na transição para cadeias de suprimento mais sustentáveis, especialmente em um setor altamente regulado como o farmacêutico.²⁹

Análise dos resultados

A avaliação integrada da literatura científica recente sobre práticas de GSCM no setor farmacêutico, em conjunto com a análise de estudos de caso, permite mapear oportunidades e os desafios envolvidos na transição para cadeias de suprimentos mais sustentáveis.

Observa-se que grandes indústrias farmacêuticas já adotam práticas circulares mais consolidadas — como o uso de embalagens verdes e a adoção de fontes renováveis de energia —, todavia, empresas de menor porte enfrentam obstáculos ligados aos elevados investimentos iniciais necessários para a implementação de tecnologias sustentáveis. Apesar disso, existem desafios comuns a todo o setor, como a ausência de incentivos públicos mais robustos que estimulem a sustentabilidade, a baixa efetividade das políticas públicas de logística reversa e a complexidade regulatória. Além disso, as próprias especificidades de condições de transporte e armazenagem de medicamentos impõem dificuldades adicionais à logística verde.

No que se refere ao descarte de resíduos farmacêuticos, que são classificados como tóxicos por conterem resíduos de insumos farmacêuticos ativos, a incineração permanece como a principal solução adotada, embora seus impactos ambientais — como a emissão de gases de efeito estufa — sejam amplamente reconhecidos. Nesse cenário, o estudo sobre a aplicação da pirólise surge como uma proposta promissora para o tratamento de resíduos farmacêuticos. Embora ainda não elimine integralmente os ativos residuais, a técnica representa um avanço importante no desenvolvimento de métodos mais eficientes e menos poluentes, com potencial para reaproveitamento energético.

Apenar das dificuldades associadas à implementação de práticas mais sustentáveis às cadeias logísticas e aos processos como um todo, a revisão realizada sugere oportunidades de avanço.

Algumas iniciativas já realizadas por empresas, como a adoção de embalagens mais sustentáveis e o uso de veículos elétricos, demonstram que é possível adotar medidas mais verdes no setor farmacêutico, mesmo com a alta exigência regulatória. Iniciativas como a LogMed demonstram que há uma perspectiva de implementação de políticas públicas e do setor privado para estimular a logística reversa.

De maneira geral, os dados analisados indicam que, apesar dos desafios, há um movimento crescente no sentido de incorporar os princípios da economia circular às cadeias farmacêuticas, sobretudo em contextos em que inovação tecnológica, colaboração entre os agentes da cadeia e ações governamentais se complementam. Ainda assim, é necessário fortalecer a articulação entre indústria, agências reguladoras e academia, de modo a acelerar essa transição e garantir que as soluções propostas sejam viáveis tanto técnica quanto economicamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão da literatura científica sobre GSCM aplicada à indústria farmacêutica, foi possível identificar as principais etapas da cadeia de suprimentos deste setor, bem como os desafios e oportunidades relacionados à adoção de práticas sustentáveis. Observa-se que, embora iniciativas estejam sendo implementadas — especialmente por grandes indústrias e em contextos regulatórios mais robustos — ainda existem barreiras significativas à plena integração da circularidade nas cadeias logísticas farmacêuticas, como altos custos iniciais, exigências regulatórias rigorosas, limitações tecnológicas e resistência a mudanças organizacionais.

Apesar disso, as oportunidades são igualmente expressivas: a adoção de modelos logísticos mais verdes pode não apenas mitigar impactos ambientais, mas também gerar ganhos econômicos, reputacionais e operacionais, contribuindo para a eficiência do sistema como um todo. Considerando a relevância estratégica da indústria farmacêutica no cenário global — tanto em termos de saúde pública quanto de desenvolvimento tecnológico —, é fundamental

fortalecer políticas públicas específicas, incentivar a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, e promover a capacitação técnica de profissionais voltados à gestão ambiental na cadeia de suprimentos.

Como perspectivas futuras, destaca-se a necessidade de maior integração entre os setores regulatórios e produtivos, para flexibilizar e acelerar a validação de soluções circulares sem comprometer a segurança dos medicamentos. Além disso, o uso de ferramentas de análise de ciclo de vida, tecnologias digitais para rastreabilidade e indicadores de desempenho ambiental deve ser ampliado. Esses avanços permitirão não apenas o fechamento de ciclos produtivos, mas também a consolidação de um novo paradigma logístico no setor: mais eficiente, transparente e comprometido com a sustentabilidade de longo prazo.

Por fim, é essencial que o setor farmacêutico avance na implementação de processos, novas tecnologias e estratégias para integrar a sustentabilidade não apenas nas cadeias de suprimentos e logística, mas em todas as etapas produtivas. Para viabilizar a implementação destas práticas, é fundamental que haja um esforço das agências regulatórias e do governo para o incentivo a políticas sustentáveis, flexibilização regulatória, divulgação de campanhas estimulando a população à realização do descarte correto de resíduos de medicamentos e estímulo à logística reversa.

REFERÊNCIAS

1. Opoky, E. E. O.; Boachie, M. K. *Energy Policy* **2020**, *137*, 1-12.
2. Sariatli, F.; *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development* **2017**, *6*, 31-34.
3. Luna, R. A.; Viana, F. L. E.; *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* **2017**, *10*, 167–190.
4. Khan, F.; Ali, Y.; *Environ. Develop. Sustain.* **2022**, *24*, 13705–13731.
5. [http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste.](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste), acessada em Outubro 2025.
6. Mazhandu, Z.; Mashifana, T. Daru; *J. Pharm. Sci.* **2024**, *32*, 925–945.

7. Valério, P. P.; Moura, P. L. F.; Pereira, M. A.; Mendonça, J. C. F.; Arêdes, B. A. R.; *Revista de Gestão Social e Ambiental* **2025**, *19*, 167-197.
8. https://legal.un.org/avl/pdf/ha/dunche/dunche_s.pdf, acessada em Abril 2025.
9. Pott, C. M.; Estrela, C. C.; *Estudos Avançados* **2017**, *31*, 271–283.
10. Silvestri, C.; Silvestri, L.; Forcina, A.; Di Bona, G.; Falcone, D.; *J. Clean. Prod.* **2021**, *294*, 126137.
11. Guarieiro, L. L. N.; Rezende, M. J. C.; Barbosa, W. T.; Rocha, G. O. da; Pereira, P. A. P.; Fernandes, D. R.; Lopes, W. A.; Mota, C. J. A.; Andrade, J. B.; *J. Braz. Chem. Soc.* **2022**, *33*, 1353–1374.
12. <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>, acessada em Maio 2025.
13. <http://www.gov.br/participamaisbrasil/plano-nacional-de-economia-circular>, acessada em Maio 2025.
14. <http://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/junho/governo-federal-institui-programa-selo-verde-brasil-para-normalizar-e-certificar-produtos-e-servicos-de-origem-sustentavel>, acessada em Maio 2025.
15. Franco, D.; Guimarães, P. S.; Cervi, A. F. C.; Ganga, G. M. D.; Esposto, K. F. *XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Curitiba, Brasil, 2014.
16. Sánchez, B. P.; Fernández, A. L.; Arcos, M. M. S. Em *Sustainable Resource Management*; Hussain, C. M; Muñoz, J. F.V., eds.; Elsevier: 2021, cap. 4.
17. Peron, R. A. F. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Maringá, Brasil, 2022.
18. Assumpção, J. J.; Campos, L. M. S.; Plaza-Úbeda, J. A.; Sehnem, S.; Vazquez-Brust, D. A.; *J. Clean. Prod.* **2022**, *367*, 1-21.
19. Endo, G. Y.; Lucion, E. V.; Paschoalotto, M. A. C.; Santos, L. C.; Cruz, É. M. K. *Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa* **2024**, *20*, 61–84.

20. Khan, S. A. R. Em *Green Practices and Strategies in Supply Chain Management*; Abdul, S.; Khan, A. R., eds; IntechOpen: Rijeka, 2019, cap. 1.
21. Mgharbel, M.; Halawy, L.; Milane, A.; Zeaiter, J.; Saad, W.; *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2023**, *172*, 106014.
22. <http://www.sindusfarma.org.br/noticias/indice/exibir/18118-projeto-industria-verde-destaca-o-sistema-logmed>, acessada em Maio 2025.
23. <http://www.sindusfarma.org.br/assuntos-tecnicos/logistica-reversa>, acessada em Maio 2025.
24. Islam, M.; Al Razi, M. A.; Al Jami, K. A.; *University of Bedfordshire*, Luton, United Kingdom, 2024.
25. Belal, M. M.; Shukla, V.; Balasubramanian, S.; *Business Strategy and the Environment*. **2025**, *34*, 1917-1948.
26. <http://www.meyers.com/meyers-blog/5-sustainabl-pharmaceutical-packaging-trends>, acessada em Maio 2025.
27. Francisco, A.; Petri, D.; Moreno, P.; *8º Workshop do Mestrado Profissional Instituto de Química Universidade de São Paulo: anais - Vol. 1.*, **2020**, *1*, 10-23.
28. <https://eurofarma.com.br/mais-verde>, acessada em Maio 2025.
29. <https://insideevs.uol.com.br/news/678214/galderma-frota-veiculos-eletricos-brasil>, acessada em Maio 2025.