ECOPÉDIA · CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

O essencial sobre ciência e tecnologia

Como a ciência e a tecnologia ajudam a medir, proteger e produzir melhor, e quais são os riscos e os limites de cada inovação, com fontes.



Sumário

1. Tecnologias sustentáveis: o que são e seus limites
2. Biotecnologia: o que é, aplicações e desafios
3. Nanotecnologia: o que é e suas aplicações
4. Impactos da IA na sustentabilidade: usos e riscos
5. Transporte sustentável: o que é, desafios e exemplos
6. Química verde: o que é e seus princípios
7. Satélites para monitoramento ambiental: como funcionam
8. Carros elétricos: o que são e como funcionam

Os 8 textos da seção "O essencial sobre ciência e tecnologia" da vitrine Ciência, Tecnologia e Inovação, como estavam no site em 08/11/2026. As fontes de cada informação estão nos links ao longo do texto.

CAPÍTULO 1

Tecnologias sustentáveis: o que são e seus limites

Tecnologias sustentáveis são tecnologias feitas para reduzir o impacto ambiental de uma atividade, como gerar eletricidade, produzir alimentos ou se transportar, em comparação com a forma anterior de fazê-la. A energia solar e a eólica são os exemplos mais conhecidos: em 2025, 85,6% dos 692 gigawatts de capacidade elétrica instalados no mundo foram de fontes renováveis, sendo 511 gigawatts de energia solar (Irena, via SolarQuarter, 1/4/2026). A definição e outros exemplos estão em tecnologias limpas. Este texto trata dos limites.

Limite 1: emissões ao longo do ciclo de vida

O **ciclo de vida** de uma tecnologia vai da extração das matérias-primas à fabricação, ao uso e ao descarte. Toda forma de gerar eletricidade tem impacto ao longo dele, e esse impacto varia com o lugar e o projeto (Unece, 2021). As faixas estimadas pela comissão econômica da ONU para a Europa (Unece):

Fonte de eletricidade	Emissões no ciclo de vida (gramas de CO_2 equivalente por kWh)
Carvão	751 a 1.095
Gás natural (ciclo combinado)	403 a 513
Hidrelétrica	6 a 147
Solar fotovoltaica	8 a 83
Eólica em terra	7,8 a 16
Nuclear	5,1 a 6,4

Fonte: Unece, 2021, na notícia do Energy Industry Review, 23/11/2021. As fontes renováveis e a nuclear emitem muito menos que o carvão e o gás, mas não zero, e a faixa da hidrelétrica é larga porque depende muito de cada usina. O indicador mede só as emissões no ciclo de vida, não o rejeito, o custo, o prazo de construção nem o risco de cada fonte.

Limite 2: mais minerais

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), um carro elétrico típico pede seis vezes mais minerais que um carro a combustão, e uma usina eólica em terra pede nove vezes mais que uma usina a gás do mesmo porte (AIE, 5/5/2021, via NEI Magazine). O

refino, que é a etapa que transforma o minério em material puro para uso, está concentrado: o maior produtor de cada mineral importante para a energia tinha, em média, cerca de 72% do mercado em 2025, e as tecnologias de energia responderam por cerca de 75% do aumento da procura por esses minerais naquele ano (AIE, via Anadolu, 1/8/2026). Mais minerais significam mais mineração, com os impactos dela, tratados em mineração e consumismo de eletrônicos.

Limite 3: o descarte

Painéis solares, turbinas e baterias têm vida útil e viram resíduo. A Agência Internacional de Energia Renovável (Irena) estimou, em 2016, que o lixo de painéis solares, sobretudo vidro, pode chegar a 78 milhões de toneladas no mundo até 2050, e que o material recuperado poderia valer mais de 15 bilhões de dólares (Irena, 20/6/2016). A estimativa é de 2016, antes do grande aumento da energia solar. O assunto geral está em resíduos eletrônicos.

Limite 4: o efeito rebote

O **efeito rebote** acontece quando uma melhoria faz as pessoas ou as empresas usarem mais: um aparelho que gasta menos energia fica mais barato de usar, e o uso cresce, comendo parte da economia. Um estudo do Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia, de 2025, estimou que os efeitos rebote anulam cerca de **47%** dos ganhos ambientais esperados das medidas de sustentabilidade, e lembra que os impactos do consumo na União Europeia continuam subindo (Guzzo e outros, JRC, 14/3/2025). A ideia de reduzir o consumo, e não só torná-lo eficiente, está em economia da suficiência.

Como não cair em propaganda

Como “sustentável” vende, a palavra é usada também em propaganda sem base. Antes de acreditar, vale perguntar: sustentável em comparação com quê? Em que parte do ciclo de vida? Quem mediu? O tema está em greenwashing.

> **Você sabia?**
>
> No fim de 2025, a capacidade de energia renovável instalada no mundo somava 5.149 gigawatts, segundo a Irena (SolarQuarter, 1/4/2026).

Termos vizinhos

- **Tecnologias limpas** (link).

- **Greenwashing** (link).
- **Economia verde** (link).

Resumo: principais perguntas e respostas

O que são tecnologias sustentáveis?

Tecnologias feitas para reduzir o impacto ambiental de uma atividade em comparação com a forma anterior de fazê-la, como a energia solar e a eólica.

Energia solar e eólica emitem gases?

Não queimam combustível para gerar; no ciclo de vida, emitem, mas bem menos: de 8 a 83 g de CO_2 por kWh na solar, contra 751 a 1.095 no carvão.

Por que as tecnologias sustentáveis pedem mais minerais?

Painéis, turbinas e baterias usam metais; um carro elétrico pede seis vezes mais minerais que um a combustão, segundo a AIE.

O que é efeito rebote?

É quando uma melhoria faz o uso crescer e come parte da economia; a Comissão Europeia estimou que ele anula cerca de 47% dos ganhos esperados.

Tecnologia sustentável resolve a crise do clima sozinha?

Não. Ela reduz as emissões, mas os ganhos dependem também de quanto se consome e de como se descarta.

Fontes

- SolarQuarter. IRENA reports global renewable capacity hits 5,149 GW in 2025 as world adds record 692 GW. 1/4/2026. Sobre o *Renewable Capacity Statistics 2026*.
- Unece. Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources. 2021.
- Energy Industry Review. Notícia sobre o estudo de ciclo de vida da Unece. 23/11/2021.
- NEI Magazine. IEA report looks at critical minerals in clean energy transitions. 6/5/2021.
- Anadolu. Energy transition fuels accelerating demand for critical minerals, IEA says. 1/8/2026.
- Irena. Solar PV recycling offers significant untapped business opportunity. 20/6/2016.
- Guzzo, D. et al. Towards the prevention of rebound effects in Europe and beyond. Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia, 14/3/2025.

CAPÍTULO 2

Biotecnologia: o que é, aplicações e desafios

Biotecnologia é o uso de seres vivos, ou de partes deles, para produzir conhecimento, bens e serviços. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) a define como "a aplicação da ciência e da tecnologia a organismos vivos, bem como a partes, produtos e modelos deles, para alterar materiais vivos ou não vivos, para a produção de conhecimento, bens e serviços" (OCDE, via Australian Bureau of Statistics, 16/11/2001). O **organismo vivo** pode ser uma bactéria, um fungo, uma planta, um animal ou só uma célula. Uma **enzima** é uma proteína que acelera uma reação química dentro do ser vivo, e muitas aplicações da biotecnologia usam só a enzima, sem o organismo inteiro.

Da fermentação à edição de genes

A forma mais antiga é a **fermentação**, em que microrganismos transformam açúcares em outras substâncias; na lista de 2004 ela é chamada de biotecnologia cinza, a da fermentação clássica e dos bioprocessos (DaSilva, 2004). A mudança veio com a **engenharia genética**, que é alterar o DNA de um organismo de propósito (engenharia genética). Em 1982, a agência de remédios dos Estados Unidos (FDA) aprovou a insulina humana produzida por bactérias com DNA modificado, o primeiro produto desse tipo a chegar ao mercado (Fundação Nacional de Ciência dos EUA). Em 8/12/2023, a mesma agência aprovou a primeira terapia que usa a técnica CRISPR/Cas9, que edita o DNA de células do sangue do próprio paciente para tratar a doença falciforme, a partir dos 12 anos (FDA, 8/12/2023).

As cores da biotecnologia

Os ramos da biotecnologia costumam ser chamados por cores. A lista abaixo é a publicada pelo pesquisador Edgar DaSilva em 2004 (DaSilva, 2004). As cores são uma convenção proposta por um autor, e não uma norma: outros textos usam cores diferentes.

Cor	Área, segundo DaSilva (2004)	Na Ecopédia
Vermelha	saúde, medicina e diagnóstico	biotecnologia médica
Amarela	alimentos e nutrição	—
Azul	aquicultura, costa e mar	biotecnologia azul e biotecnologia marinha
Verde	agricultura e ambiente, incluindo biocombustíveis, biofertilizantes, biorremediação e geomicrobiologia	biotecnologia agrícola e biotecnologia ambiental
Marrom	regiões áridas e desertos	biotecnologia em solos áridos
Escura	bioterrorismo, armas biológicas, biocrimes e guerra contra lavouras	bioterrorismo
Roxa	patentes, publicações, invenções e propriedade intelectual	biodireito
Branca	indústrias baseadas em genes	biotecnologia industrial
Dourada	bioinformática e nanobiotecnologia	bioinformática
Cinza	fermentação clássica e bioprocessos	—

Quem regula no Brasil

A **Lei 11.105, de 24/3/2005**, chamada Lei de Biossegurança, estabelece normas de segurança e fiscalização para as atividades com organismos geneticamente modificados, criou o Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS), reestruturou a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) e dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança (Senado Federal). **Biossegurança** é o conjunto de regras para evitar que o uso de seres vivos cause dano à saúde ou ao ambiente. O artigo 1º manda observar "o princípio da precaução para a proteção do meio ambiente" (Lei 11.105/2005, texto atualizado). Os organismos com DNA modificado estão em transgênicos.

Remédios e vacinas feitos com biotecnologia precisam de registro na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Em 23/2/2021, a Anvisa deu à vacina contra a covid-19 da Pfizer com a BioNTech o primeiro registro definitivo de uma vacina contra a doença no Brasil (Agência Brasil, 23/2/2021).

Os desafios

- **Efeitos que pedem cuidado.** No mesmo dia em que aprovou a terapia com CRISPR, a FDA aprovou outra terapia genética para a doença falciforme com um alerta de risco de câncer no sangue na bula (FDA, 8/12/2023).

- **Uso para causar dano.** A cor escura da lista existe porque a mesma ciência pode servir ao bioterrorismo e às armas biológicas (DaSilva, 2004).
- **Quem é dono da descoberta.** A cor roxa trata das patentes, e a biopirataria é o uso de seres vivos ou de saberes de um povo sem autorização nem repartição dos ganhos.
- **Ética.** As perguntas sobre o que pode e o que não pode ser feito estão em bioética.

Você sabia?

Em 2024, a Comissão Europeia usou a mesma fórmula da OCDE para definir a biotecnologia azul, trocando "organismos vivos" por "organismos vivos de recursos marinhos" (Comissão Europeia, glossário Knowledge4Policy).

Termos vizinhos

- **Engenharia genética** (link).
- **Bioeconomia no Brasil** (link).
- **Bioética** (link).

Resumo: principais perguntas e respostas

O que é biotecnologia?

É o uso de seres vivos, ou de partes deles, como células e enzimas, para produzir conhecimento, bens e serviços, segundo a definição da OCDE.

Qual foi o primeiro produto da engenharia genética?

A insulina humana produzida por bactérias, aprovada nos Estados Unidos em 1982.

O que são as cores da biotecnologia?

Uma convenção para nomear os ramos: vermelha para a saúde, verde para a agricultura e o ambiente, azul para o mar, branca para a indústria, entre outras. A lista original é de 2004.

Quem regula a biotecnologia no Brasil?

A Lei 11.105/2005 regula os organismos geneticamente modificados e reorganizou a CTNBio. Remédios e vacinas precisam de registro na Anvisa.

A biotecnologia tem riscos?

Tem. Terapias podem ter efeitos graves, a mesma ciência pode ser usada como arma, e há disputas sobre patentes e o uso de seres vivos sem autorização.

Fontes

- OCDE. Definição de biotecnologia, citada pelo Australian Bureau of Statistics. 16/11/2001.
- DaSilva, E. J. The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind. Electronic Journal of Biotechnology, v. 7, n. 3, 15/12/2004.
- Fundação Nacional de Ciência dos EUA (NSF). Insulina de DNA recombinante.
- FDA. FDA Approves First Gene Therapies to Treat Patients with Sickle Cell Disease. 8/12/2023.
- Brasil. Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005 (texto atualizado). Senado Federal.
- Agência Brasil. Anvisa concede registro definitivo para vacina da Pfizer. 23/2/2021.
- Comissão Europeia. Blue biotechnology, glossário Knowledge4Policy. Do *EU Blue Economy Report 2024*.

CAPÍTULO 3

Nanotecnologia: o que é e suas aplicações

Nanotecnologia é o estudo e o uso da matéria na escala de 1 a 100 **nanômetros**. Um nanômetro é a bilionésima parte de um metro. Para comparar: uma folha de papel tem cerca de 100 mil nanômetros de espessura, um fio de cabelo humano tem de 80 mil a 100 mil nanômetros de largura e a fita de DNA humano tem 2,5 nanômetros de diâmetro (NNI, governo dos EUA, página atualizada em 27/6/2025).

Por que o tamanho muda as coisas

Nessa escala, as propriedades de um material podem ser muito diferentes das que ele tem em tamanho maior. Duas razões explicam isso (NNI, página atualizada em 27/6/2025):

- **Área de superfície:** quanto menor a partícula, maior a parte do material que fica exposta ao redor. Mais superfície exposta pode tornar o material mais reativo e acelerar reações químicas.
- **Efeitos quânticos:** nessa escala, as regras da física das partículas muito pequenas passam a comandar propriedades como a temperatura de fusão, a fluorescência e a condução de eletricidade. Mudando o tamanho da partícula, o cientista consegue ajustar a propriedade que quer.

De onde veio a ideia

Em 29 de dezembro de 1959, o físico Richard Feynman fez, na reunião anual da Sociedade Americana de Física, no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), a palestra “There’s Plenty of Room at the Bottom” (“Há muito espaço lá embaixo”), sobre manipular e controlar a matéria em escala muito pequena (Caltech). A biografia dele está em Richard Feynman. Um passo decisivo veio com o microscópio de tunelamento, que permitiu ver superfícies átomo por átomo: os seus criadores, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, dividiram o Nobel de Física de 1986 com Ernst Ruska, premiado pelo microscópio eletrônico (Prêmio Nobel).

Onde já se usa

A Comissão Europeia, numa revisão de 2012, separou os nanomateriais em dois grupos (Comissão Europeia, 3/10/2012):

- **Os de uso antigo e em grande volume**, como o negro de fumo, usado como carga em pneus, borracha e plásticos, e a sílica amorfa sintética, usada em alimentos, tintas e construção.

- **Os que chamam mais a atenção do público**, como o dióxido de titânio e o óxido de zinco em escala nano, os fulerenos, os nanotubos de carbono e a nanoprata. O dióxido de titânio serve de filtro ultravioleta em protetores solares e aparece em tintas; os nanotubos dão condução elétrica a plásticos; a nanoprata pode ser usada como desinfetante e contra odor em tecidos.

Na saúde, já há remédios aprovados que usam partículas em escala nano, como mostra a postagem nanomedicina. Na lavoura, a pesquisa com nutrientes em escala nano está em nanofertilizantes.

É seguro?

Não há uma resposta para "a nanotecnologia" inteira. A revisão da Comissão Europeia concluiu que os nanomateriais se parecem com os produtos químicos comuns: alguns podem ser tóxicos e outros não. Por isso, o comitê científico europeu de riscos à saúde recomendou avaliar o risco **caso a caso**, conforme o material e o uso (Comissão Europeia, 3/10/2012). O que se sabe sobre o destino desses materiais no lixo está em nanorresíduos.

Quem regula

- **União Europeia:** a Comissão definiu nanomaterial na **Recomendação de 10/6/2022 (2022/C 229/01)**, que atualizou a de 2011 (Jornal Oficial da UE, 14/6/2022). É uma recomendação, e não um regulamento: não cria obrigação direta, orienta as normas de cada setor. A obrigação existe na regra europeia de produtos químicos: desde 1/1/2020, quem fabrica ou importa mais de uma tonelada por ano de uma substância tem de informar as formas nano dela no registro (Regulamento 2018/1881, CIA, sem ano, consultado em 31/10/2026).
- **Brasil:** na consulta de 31/10/2026, não achei lei geral sobre nanotecnologia. O Projeto de Lei 880/2019, do Senado, propõe um marco legal da nanotecnologia e dos materiais avançados, com incentivos à pesquisa; na página do Senado, ele estava em tramitação na Comissão de Ciência e Tecnologia (a página informava dados atualizados em 27/11/2024) (Senado Federal). Em 2014, a Anvisa criou um comitê interno para propor normas e guias de avaliação de produtos de saúde com nanotecnologia (RAPS, 22/8/2014).

Você sabia?

A palavra “nanotecnologia” foi criada em 1974 pelo professor japonês Norio Taniguchi, na conferência ICPE, quinze anos depois da palestra de Feynman (Universidade de Tohoku, 2024).

Termos vizinhos

- **Nanomateriais** (link).
- **Nanopartículas** (link).
- **Nanociência** (link).

Resumo: principais perguntas e respostas

O que é nanotecnologia?

É o estudo e o uso da matéria na escala de 1 a 100 nanômetros. Um nanômetro é a bilionésima parte de um metro.

Por que o tamanho muda as propriedades?

Porque, nessa escala, a superfície exposta é muito maior em relação ao volume e os efeitos quânticos passam a comandar propriedades como a cor, a fusão e a condução elétrica.

Onde a nanotecnologia já é usada?

Em pneus e borrachas, protetores solares, tintas, plásticos que conduzem eletricidade, tecidos e alguns remédios aprovados.

A nanotecnologia é segura?

Depende do material e do uso. Para a Comissão Europeia, alguns nanomateriais podem ser tóxicos e outros não, e o risco se avalia caso a caso.

Existe lei sobre nanotecnologia no Brasil?

Na consulta de 31/10/2026, não achei lei geral. O Projeto de Lei 880/2019 estava em tramitação no Senado.

Fontes

- National Nanotechnology Initiative (EUA). Just How Small Is “Nano”? Atualizada em 27/6/2025.
- National Nanotechnology Initiative (EUA). What Is So Special about “Nano”? Atualizada em 27/6/2025.

- Feynman, R. There’s Plenty of Room at the Bottom. Engineering and Science, Caltech, fevereiro de 1960.
- Prêmio Nobel. The Nobel Prize in Physics 1986.
- Universidade de Tohoku. ICPE 2024, Anniversary. 2024.
- Comissão Europeia. Nanomaterials: Commission proposes case by case approach to assessment (MEMO/12/732). 3/10/2012.
- União Europeia. Recomendação da Comissão de 10 de junho de 2022 relativa à definição de nanomaterial (2022/C 229/01). Jornal Oficial, 14/6/2022.
- Chemical Industries Association (Reino Unido). Nanomaterials. Sem ano, consultado em 31/10/2026.
- Senado Federal. Projeto de Lei nº 880, de 2019. Consultado em 31/10/2026.
- RAPS. Anvisa to Develop Standards and Guidelines for Nanotechnology Products. 22/8/2014.

CAPÍTULO 4

Impactos da IA na sustentabilidade: usos e riscos

Os **impactos da IA na sustentabilidade** são os efeitos, bons e ruins, que a inteligência artificial tem sobre o ambiente. A inteligência artificial, ou IA, é o conjunto de programas que aprendem padrões a partir de grandes volumes de dados e os usam para classificar, prever ou gerar textos e imagens. Ela roda em **centros de dados**, prédios cheios de computadores ligados o tempo todo, que gastam eletricidade e, muitas vezes, água para o resfriamento.

O que a IA pode ajudar a reduzir

Monitoramento. A IA classifica imagens de satélite para fazer mapas de cobertura da terra. No MapBiomas, que mapeou o Brasil de 1985 a 2017, a acurácia medida foi de 89% em média, o que mostra que ajuda muito, mas erra (plataformas de big data). Outros usos estão em IA para monitoramento ambiental.

Energia e emissões. A Agência Internacional de Energia (AIE) estimou que, se os usos de IA que já existem fossem adotados em larga escala na indústria, nos transportes e nos prédios, eles poderiam reduzir **1.400 milhões de toneladas de CO_2 em 2035**, cerca de três a quatro vezes as emissões dos centros de dados nos cenários do estudo (AIE, *Energy and AI*, 2025). **Cenário** é uma projeção feita a partir de hipóteses, não uma previsão certa.

A mesma fonte faz duas ressalvas. Primeira: “hoje não há impulso que garanta” essa adoção, e sem dados, estrutura digital, mão de obra preparada e regras, o efeito pode ser pequeno até em 2035. Segunda: o ganho pode ser comido pelo **efeito rebote**, quando a melhoria faz o uso crescer, como viajantes que trocam o ônibus por carros autônomos (AIE, 2025).

O que a IA gasta

Custo	O que diz a fonte
Eletricidade	os centros de dados usaram cerca de 415 TWh em 2024, 1,5% da eletricidade do mundo, e podem chegar a 945 TWh em 2030, perto do consumo atual do Japão (AIE, 10/4/2025, via S&P Global); em 2025, a procura dos centros de dados subiu 17% (AIE, abril de 2026)
Água	a retirada de água ligada à IA no mundo pode chegar a 4,2 a 6,6 bilhões de metros cúbicos em 2027, contando o resfriamento e a água usada para gerar a eletricidade; é uma projeção com hipóteses declaradas (Li e outros, *Communications of the ACM*, 2025)
Minerais e lixo eletrônico	os computadores usam metais e viram lixo eletrônico; o mundo gerou 62 milhões de toneladas dele em 2022, e só 22,3% tiveram reciclagem documentada (UIT, 20/3/2024)
Vigilância de pessoas	a mesma técnica que reconhece padrões em imagens reconhece rostos; a lei europeia de IA, aprovada em 2024, proibiu a pontuação social e limitou o reconhecimento facial em tempo real pela polícia a casos estreitos, com autorização prévia (Parlamento Europeu, 13/3/2024)

Retirada de água é a água tirada de um rio ou poço e usada, mesmo que volte depois; a parte que evapora e não volta é o **consumo**.

De que dependem os ganhos

Pelas ressalvas da própria AIE, o saldo depende de condições: acesso a dados, estrutura digital, mão de obra preparada e regras que favoreçam os usos com ganho, além do controle do efeito rebote. Os efeitos da IA no consumo estão em IA e consumo consciente.

> **Você sabia?**
>
> Alex de Vries, pesquisador da Universidade Livre de Amsterdã que não participou do estudo, avaliou que a AIE provavelmente subestima a parte da IA no consumo dos centros de dados, e que o relatório é “um pouco vago” sobre a IA em si (Scientific American, 2025).

Termos vizinhos

- **IA e a pegada de carbono** (link).
- **IA e consumo consciente** (link).

- **Plataformas de big data** (link).

Resumo: principais perguntas e respostas

Quais são os impactos da IA na sustentabilidade?

Bons, como ajudar a monitorar o ambiente e a usar menos energia, e ruins, como o gasto de eletricidade, água e minerais.

A IA pode reduzir emissões?

Pode. A AIE estimou 1.400 milhões de toneladas de CO_2 a menos em 2035 com os usos que já existem, mas disse que nada hoje garante essa adoção.

Quanta eletricidade os centros de dados usam?

Cerca de 415 TWh em 2024, 1,5% da eletricidade do mundo, segundo a AIE, com projeção de 945 TWh em 2030.

A IA gasta água?

Sim. Uma projeção publicada em 2025 estima de 4,2 a 6,6 bilhões de metros cúbicos de água retirada em 2027, contando o resfriamento e a geração de eletricidade.

A IA pode ser usada para vigiar pessoas?

Pode. Por isso, a lei europeia de 2024 proibiu a pontuação social e limitou o reconhecimento facial em tempo real pela polícia.

Fontes

- Agência Internacional de Energia. Energy and AI: AI and climate change. 2025.
- S&P Global. Global data center power demand to double by 2030 on AI surge: IEA. 10/4/2025.
- Agência Internacional de Energia. Data centre electricity use surged in 2025. Abril de 2026.
- Li, P.; Yang, J.; Islam, M. A.; Ren, S. Making AI less "thirsty". *Communications of the ACM*, 2025.
- União Internacional de Telecomunicações. Global E-waste Monitor 2024. 20/3/2024.
- Parlamento Europeu. Artificial Intelligence Act: MEPs adopt landmark law. 13/3/2024.
- Scientific American. AI will drive doubling of data center energy demand by 2030. 2025.
- Strubell, E.; Ganesh, A.; McCallum, A. Energy and policy considerations for deep learning in NLP. ACL, 2019.

CAPÍTULO 5

Transporte sustentável: o que é, desafios e exemplos

Transporte sustentável é o modo de levar pessoas e cargas de um lugar a outro emitindo menos gases que aquecem o planeta, com menos poluição e menos acidentes, e com acesso para quem não tem carro.

Quanto o transporte emite

Os **gases de efeito estufa** retêm calor na atmosfera. Para somar gases diferentes, usa-se o **CO_2 equivalente**, que converte cada gás no efeito que teria o gás carbônico. Pelo IPCC, o painel de cientistas do clima da ONU, as **emissões diretas** do transporte, as que saem dos próprios veículos, foram de 8,7 bilhões de toneladas de CO_2 equivalente em 2019, contra 5 bilhões em 1990. O setor respondeu por 23% das emissões mundiais de CO_2 ligadas à energia. Dessas emissões do transporte, 70% vieram dos veículos de estrada, 12% da aviação, 11% dos navios e 1% dos trens (IPCC, AR6, GT III, cap. 10, 2022).

Acidentes

A OMS, a Organização Mundial da Saúde, estima que cerca de 1,16 milhão de pessoas morrem por ano em acidentes de trânsito. É a principal causa de morte de crianças e jovens de 5 a 29 anos, e mais da metade dos mortos são pedestres, ciclistas e motociclistas (OMS, 20/7/2026).

As medidas que o IPCC avalia

O capítulo do IPCC organiza as estratégias em três grupos: evitar viagens, trocar de meio de transporte e melhorar os veículos e a energia que usam. Pelo sumário, mudanças na forma das cidades e no comportamento podem ajudar a reduzir a demanda por transporte, com alta confiança; sobre a economia compartilhada, o IPCC diz que os resultados são mistos. Calçadas e ciclovias protegidas podem aumentar bastante as viagens a pé e de bicicleta. Sobre os veículos, o IPCC conclui com alta confiança que os carros elétricos a bateria emitem menos no **ciclo de vida**, da fabricação ao descarte, que os carros a combustão, quando são carregados com eletricidade de baixo carbono (IPCC, AR6, GT III, cap. 10, 2022). Os números dos carros elétricos estão em carros elétricos.

A lei brasileira

A Lei 12.587/2012, a Política Nacional de Mobilidade Urbana, manda dar prioridade a andar a pé e de bicicleta sobre os veículos a motor, e ao transporte público coletivo sobre o carro particular. Entre os objetivos, estão reduzir as desigualdades e promover o desenvolvimento sustentável, diminuindo os custos ambientais (Câmara, Lei 12.587/2012, texto atualizado). Em 2026, a Lei 15.432 criou o marco legal do transporte público coletivo urbano e alterou essa política (Senado, Lei 15.432/2026).

Você sabia?

Em 1990, as emissões diretas do transporte eram de 5 bilhões de toneladas de CO_2 equivalente; em 2019, de 8,7 bilhões, uma alta de cerca de 74%, pela nossa conta com os números do IPCC (IPCC, AR6, GT III, cap. 10, 2022). Ressalva: o próprio capítulo traz, em outra seção, 8,9 e 5,1 bilhões para os mesmos anos; aqui usamos os números do sumário.

Termos vizinhos

- **Mobilidade urbana** (link).
- **Ciclomobilidade** (link).
- **Metrôs no Brasil** (link).
- **Poluição do ar** (link).

Resumo: principais perguntas e respostas

O que é transporte sustentável?

É levar pessoas e cargas com menos emissões, menos poluição e menos acidentes, e com acesso para quem não tem carro.

Quanto o transporte emite?

Pelo IPCC, 8,7 bilhões de toneladas de CO_2 equivalente em emissões diretas em 2019, 23% do CO_2 mundial ligado à energia.

Qual meio de transporte emite mais?

Os veículos de estrada, com 70% das emissões diretas do transporte em 2019, pelo IPCC.

O que diz a lei no Brasil?

A Lei 12.587/2012 dá prioridade a andar a pé, à bicicleta e ao transporte coletivo.

Fontes

- IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, capítulo 10, Transport. Sexto Relatório de Avaliação (AR6), Grupo de Trabalho III, 2022. Números do sumário executivo.
- OMS. Road traffic injuries. 20/7/2026.
- Brasil. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, arts. 6º, II, e 7º. Câmara dos Deputados, texto atualizado, consultado em 1/11/2026.
- Brasil. Lei nº 15.432, de 13 de junho de 2026. Senado Federal, ficha da norma (ementa).

CAPÍTULO 6

Química verde: o que é e seus princípios

Química verde é o projeto de produtos e processos químicos que reduzem ou eliminam o uso ou a geração de substâncias perigosas. Pela definição da agência ambiental dos EUA (EPA), ela vale para toda a vida de um produto químico: o projeto, a fabricação, o uso e o descarte final (EPA, página arquivada em 19/1/2021).

Evitar a poluição, e não limpar depois

A diferença está no momento. A limpeza, ou remediação, trata o resíduo ou o vazamento depois que ele aconteceu. A química verde reduz a poluição **na origem**, diminuindo ou eliminando o perigo das substâncias usadas e produzidas, para que os materiais perigosos nem cheguem ao ambiente (EPA, página arquivada em 19/1/2021). A poluição causada por substâncias químicas está em poluição química.

Os 12 princípios

Os 12 princípios foram publicados por Paul Anastas e John Warner no livro *Green Chemistry: Theory and Practice*, de 1998 (Oxford University Press, p. 30). Na lista do centro de química verde da Universidade Yale, eles são (Yale Center for Green Chemistry and Green Engineering):

1. **Prevenção:** evitar o resíduo é melhor que tratá-lo depois.
2. **Economia de átomos:** a síntese deve pôr no produto final o máximo possível dos materiais usados.
3. **Sínteses menos perigosas:** usar e gerar substâncias com pouca ou nenhuma toxicidade.
4. **Produtos químicos mais seguros:** fazer produtos que cumpram a função com a menor toxicidade possível.
5. **Solventes e auxiliares mais seguros:** evitar substâncias auxiliares, como os solventes, sempre que possível, e usar as que forem inofensivas.
6. **Eficiência energética:** gastar o mínimo de energia, de preferência com reações na temperatura e na pressão do ambiente.
7. **Matérias-primas renováveis:** usar matéria-prima renovável em vez da que se esgota, quando for viável.
8. **Menos derivados:** evitar modificações temporárias desnecessárias, que pedem mais reagentes e geram mais resíduo.
9. **Catálise:** preferir **catalisadores** seletivos, substâncias que aceleram a reação sem ser gastas nela, a reagentes que se consomem.
10. **Projeto para a degradação:** fazer produtos que se decomponham em substâncias inofensivas e não fiquem no ambiente.

11. **Análise em tempo real:** acompanhar o processo enquanto ele acontece, para pegar a formação de substâncias perigosas antes que ela ocorra.
12. **Química mais segura contra acidentes:** escolher substâncias e formas que diminuam o risco de vazamentos, explosões e incêndios.

Um exemplo reconhecido

O Nobel de Química de 2005 foi dado a Yves Chauvin, Robert Grubbs e Richard Schrock pelo desenvolvimento do método da metátese na síntese orgânica. O comunicado do prêmio chamou o trabalho de "um grande passo adiante para a química verde", por reduzir resíduos potencialmente perigosos com uma produção mais inteligente (Prêmio Nobel, 2005).

> **Você sabia?**
>
> Na lista que a EPA distribui, os mesmos 12 princípios aparecem numa ordem diferente da do livro de 1998: "prevenir o resíduo" vem primeiro, e "maximizar a economia de átomos" é o 11º (EPA, 2023). A ordem muda conforme a fonte; o conteúdo, não.

Termos vizinhos

- **Solventes sustentáveis** (link).
- **Poluição química** (link).
- **Compostos orgânicos voláteis** (link).

Resumo: principais perguntas e respostas

O que é química verde?

É o projeto de produtos e processos químicos que reduzem ou eliminam o uso ou a geração de substâncias perigosas, da fabricação ao descarte.

Quem criou os 12 princípios da química verde?

Paul Anastas e John Warner, no livro Green Chemistry: Theory and Practice, de 1998.

Qual é o primeiro princípio?

A prevenção: evitar o resíduo é melhor que tratá-lo depois.

Química verde é o mesmo que limpar a poluição?

Não. A limpeza trata o resíduo depois; a química verde evita que a substância perigosa seja usada ou gerada.

Há exemplos reconhecidos?

Sim. O Nobel de Química de 2005, pelo método da metátese, foi chamado no comunicado do prêmio de “um grande passo adiante para a química verde”.

Fontes

- EPA. Basics of Green Chemistry. Página arquivada em 19/1/2021.
- Yale Center for Green Chemistry and Green Engineering. Principles of Green Chemistry. Cita Anastas, P. T.; Warner, J. C. Green Chemistry: Theory and Practice. Oxford University Press, 1998, p. 30.
- EPA. The 12 Principles of Green Chemistry. Julho de 2023.
- Prêmio Nobel. Press release: The Nobel Prize in Chemistry 2005.
- Cordis, Comissão Europeia. Fact-or-Myth: Bio-based, organic, biodegradable. 15/6/2019.

CAPÍTULO 7

Satélites para monitoramento ambiental: como funcionam

Satélites para monitoramento ambiental são satélites em órbita da Terra que carregam sensores para registrar a superfície e a atmosfera: florestas, cidades, água, gelo e gases. Os dados servem para mapear o uso da terra, a agricultura, as florestas, as águas e as áreas atingidas por desastres, como descreve o programa europeu Copernicus (Copernicus, Sentinel-2).

Os termos que importam

Termo	O que quer dizer
Sensor óptico	uma câmera que registra a luz refletida pela superfície, em várias faixas
Radar	o próprio satélite emite um sinal e registra o eco; funciona de dia e de noite e não é afetado pelas nuvens
Resolução	o tamanho do menor detalhe na imagem; 10 metros quer dizer que cada ponto da imagem cobre um quadrado de 10 por 10 metros
Revisita	o tempo que o satélite leva para voltar a passar sobre o mesmo ponto
Faixa imageada	a largura do terreno que o satélite registra em cada passagem

Fontes: radar, Copernicus, Sentinel-1; os demais termos, aplicados aos dados de cada satélite no quadro abaixo.

Os satélites e o que medem

Satélite	Quem opera	Tipo	O que a ficha informa
Sentinel-2	Programa Copernicus (União Europeia e Agência Espacial Europeia)	óptico, 13 faixas	resolução de 10, 20 ou 60 metros; faixa de 290 km; revisita de 5 dias no Equador com dois satélites; dados gratuitos
Sentinel-1	Copernicus	radar	funciona de dia e de noite, com qualquer tempo; resolução de até 5 metros
Sentinel-5P	Copernicus	espectrômetro (Tropomi)	mede gases da atmosfera, como ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e metano, com cobertura diária do planeta
Amazonia-1	Inpe (Brasil)	óptico (câmera WFI)	resolução de 64 metros; faixa de 830 km; revisita de 5 dias; fornece dados ao Deter

Fontes: Sentinel-2, Sentinel-1 e Sentinel-5P, no portal do Copernicus; Amazonia-1, Revista Pesquisa Fapesp, fevereiro de 2021.

Um exemplo brasileiro: o desmatamento

O Inpe usou o Sentinel-2 e o radar do Sentinel-1 na estimativa do desmatamento da Amazônia de 2025. O radar ajuda onde as nuvens escondem a floresta (Inpe, 15/10/2025). Como a taxa é calculada está em Prodes.

Os limites

- **Nuvens:** a câmera óptica não enxerga através delas; o radar, sim (Copernicus, Sentinel-1).
- **Tempo entre passagens:** com revisita de cinco dias, uma mudança aparece na imagem seguinte, não no mesmo instante.
- **Tamanho do detalhe:** com 64 metros de resolução, o Amazonia-1 cobre faixas largas, mas não mostra o que o Sentinel-2 mostra com 10 metros. Na estimativa de 2025, por exemplo, o Inpe combinou dois satélites, um óptico e um radar.
- **Interpretação:** a imagem é um dado bruto e precisa ser interpretada por equipes técnicas antes de virar número ou alerta.

Outras ferramentas, como drones e sensores no chão, estão em tecnologias para monitoramento ambiental.

Você sabia?

O Amazonia-1, lançado em 28 de fevereiro de 2021 da Índia, é o primeiro satélite de observação da Terra completamente projetado, integrado, testado e operado pelo Brasil (Revista Pesquisa Fapesp, 2021).

Termos vizinhos

- **Drones para monitoramento ambiental** (link).
- **LIDAR** (link).
- **Plataformas de big data** (link).

Resumo: principais perguntas e respostas

O que são satélites para monitoramento ambiental?

Satélites em órbita com sensores que registram a superfície e a atmosfera da Terra: florestas, água, gelo, cidades e gases.

Satélite monitora em tempo real?

Não. Ele volta ao mesmo ponto de tempos em tempos; o Sentinel-2 e o Amazonia-1, a cada cinco dias.

Satélite enxerga através das nuvens?

A câmera óptica não; o radar, como o do Sentinel-1, sim.

O que é resolução de um satélite?

O tamanho do menor detalhe na imagem; no Sentinel-2, 10 metros.

O Brasil tem satélite de monitoramento ambiental?

Sim. O Amazonia-1, do Inpe, lançado em 2021, fornece dados ao sistema de alertas de desmatamento Deter.

Fontes

- Copernicus Data Space Ecosystem. Sentinel-2, Sentinel-1 e Sentinel-5P. Consultados em 31/10/2026.
- Vasconcelos, Y. Amazônia no espaço. Revista Pesquisa Fapesp, ed. 300, fevereiro de 2021.

- Inpe. Nota técnica: estimativa da taxa de desmatamento Prodes 2025. 15/10/2025.

CAPÍTULO 8

Carros elétricos: o que são e como funcionam

Carros elétricos são carros movidos por um motor elétrico, com energia de uma bateria que se recarrega na tomada. No relatório anual da AIE, a Agência Internacional de Energia, o termo inclui os carros só a bateria e os **híbridos plug-in**, que têm bateria de tomada e também motor a combustão; não inclui os carros a hidrogênio (AIE, Global EV Outlook 2026).

Quantos se vendem

Pela AIE, as vendas de carros elétricos cresceram 20% no mundo e passaram de 20 milhões em 2025, cerca de um em cada quatro carros novos. Na China, foram quase 55% das vendas; na Europa, 28%; nos Estados Unidos, pouco menos de 10%. Na América Latina, as vendas cresceram 75%, puxadas pelo Brasil e pelo México (AIE, Global EV Outlook 2026). Os carros só a bateria foram 65% das vendas de elétricos (AIE, Global EV Outlook 2026).

No Brasil

Pela mesma fonte, as vendas de carros elétricos no Brasil subiram para 180 mil em 2025, 9% dos carros novos vendidos, contra 6,5% em 2024 (AIE, Global EV Outlook 2026). Os números são de **vendas** no ano, não da **frota**, o total de carros nas ruas.

Emissões no ciclo de vida

O **ciclo de vida** soma as emissões da fabricação, inclusive da bateria, do uso e do fim da vida do carro. No relatório de 2024, a AIE calculou que um carro de porte médio só a bateria vendido em 2023, rodando cerca de 15 anos e 200 mil quilômetros, emite no ciclo de vida cerca de metade de um carro a combustão equivalente (AIE, Global EV Outlook 2024).

A conta depende da **matriz elétrica**, a mistura de fontes que gera a eletricidade do país. A AIE chama de crucial a redução das emissões da geração elétrica; na Índia, onde a eletricidade vem muito do carvão, a vantagem do elétrico caía para cerca de 20% (AIE, Global EV Outlook 2024).

Você sabia?

Mesmo sem nenhuma melhora na eletricidade, o carro a bateria médio teria cerca de 30% menos emissões no ciclo de vida que o carro a combustão, segundo a AIE (AIE, Global EV Outlook 2024). Ressalva: é a média mundial de um cenário da agência; o resultado de cada país muda com a sua matriz elétrica.

Termos vizinhos

- **Carros a energia solar** (link).
- **Bicicletas elétricas** (link).
- **Transporte sustentável** (link).
- **Poluição do ar** (link).

Resumo: principais perguntas e respostas

O que são carros elétricos?

São carros movidos por motor elétrico e bateria de tomada; a AIE inclui os híbridos plug-in.

Quantos carros elétricos se vendem?

Pela AIE, mais de 20 milhões no mundo em 2025, cerca de um em cada quatro carros novos.

E no Brasil?

Foram 180 mil vendidos em 2025, 9% dos carros novos.

Carro elétrico polui menos?

No ciclo de vida, o carro a bateria médio emite cerca de metade do carro a combustão, pela AIE; a vantagem depende da eletricidade do país.

Fontes

- AIE. Global EV Outlook 2026, resumo executivo. 2026.
- AIE. Global EV Outlook 2026, tendências dos carros elétricos. 2026.
- AIE. Global EV Outlook 2024, perspectivas de redução de emissões. 2024.

Sobre este ebook

123 Ecos. O essencial sobre ciência e tecnologia. Ecopédia, vitrine Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: https://123ecos.com.br/ciencia-e-tecnologia/. Gerado em 08/11/2026.

Uso permitido: leitura, uso em aula e citação com a fonte. Uso comercial ou republicação precisam de autorização (contato@123ecos.com.br).

Créditos das imagens: junto de cada imagem.

Textos deste ebook

1. Tecnologias sustentáveis: o que são e seus limites. Disponível em: https://123ecos.com.br/docs/sustentabilidade-tecnologica/. Versão de 31/10/2026.
2. Biotecnologia: o que é, aplicações e desafios. Disponível em: https://123ecos.com.br/docs/biotecnologia/. Versão de 31/10/2026.
3. Nanotecnologia: o que é e suas aplicações. Disponível em: https://123ecos.com.br/docs/nanotecnologia/. Versão de 31/10/2026.
4. Impactos da IA na sustentabilidade: usos e riscos. Disponível em: https://123ecos.com.br/docs/impactos-da-ia-na-sustentabilidade/. Versão de 31/10/2026.
5. Transporte sustentável: o que é, desafios e exemplos. Disponível em: https://123ecos.com.br/docs/transporte-sustentavel-o-problema-e-as-possiveis-solucoes/. Versão de 31/10/2026.
6. Química verde: o que é e seus princípios. Disponível em: https://123ecos.com.br/docs/quimica-verde/. Versão de 31/10/2026.
7. Satélites para monitoramento ambiental: como funcionam. Disponível em: https://123ecos.com.br/docs/satelites-monitoramento-ambiental/. Versão de 31/10/2026.
8. Carros elétricos: o que são e como funcionam. Disponível em: https://123ecos.com.br/docs/o-que-sao-carros-eletricos/. Versão de 31/10/2026.