

# Aula 11 – Mudanças Climáticas: Ciência, Impactos e Acordos Globais

## Objetivos de Aprendizagem

Ao final desta aula, você será capaz de:

- **Compreender** o mecanismo do efeito estufa e a diferença entre o fenômeno natural e sua intensificação pela ação humana.
- **Analisar** as principais evidências científicas do aquecimento global, com base nos dados do IPCC.
- **Identificar** os principais impactos das mudanças climáticas no Brasil, abrangendo eventos extremos e a segurança hídrica, alimentar e energética.
- **Relacionar** os principais acordos climáticos globais, como o Acordo de Paris, com as políticas e responsabilidades nacionais (NDCs).
- **Conectar** o tema com a legislação brasileira pertinente e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

## Relevância e Aplicação Prática

O tema das mudanças climáticas transcendeu o debate puramente científico para se tornar um pilar central em discussões econômicas, políticas e sociais. Para você, estudante universitário, compreender este tema é fundamental para uma formação cidadã e profissional completa, independentemente da sua área de atuação. Para você, que se prepara para concursos públicos, este conhecimento é cada vez mais exigido em provas de atualidades e conhecimentos gerais, além de ser um diferencial curricular para a avaliação de títulos, demonstrando uma capacitação alinhada aos desafios do século XXI.

## Mapa da Aula

1. **A Base Científica:** O Efeito Estufa e o Aquecimento Global.
2. **A Voz da Ciência:** Os Relatórios do IPCC e os Pontos de Inflexão.
3. **A Realidade Brasileira:** Os Impactos das Mudanças Climáticas no País.
4. **A Resposta Global:** Acordos Internacionais e as Metas Nacionais.

# A Base Científica das Mudanças Climáticas

## Diferenciando Tempo e Clima: A Escala do Problema

Para iniciar nossa jornada de compreensão sobre as mudanças climáticas, é crucial estabelecer uma distinção fundamental: a diferença entre **tempo** e **clima**. Frequentemente usados como sinônimos no dia a dia, esses conceitos representam escalas de observação e análise completamente distintas. O **tempo** refere-se às condições atmosféricas de um local em um curto período — horas, dias ou semanas. Ele é o que nos faz decidir se levaremos um guarda-chuva hoje ou se fará calor no próximo fim de semana. É, por natureza, variável e de difícil previsão a longo prazo.

O **clima**, por outro lado, é uma descrição estatística do comportamento do tempo ao longo de períodos extensos, geralmente 30 anos ou mais. Ele representa o padrão médio de temperatura, precipitação, ventos e outras variáveis para uma determinada região. Podemos pensar no clima como a "personalidade" atmosférica de um lugar, enquanto o tempo é o seu "humor" em um dia específico. As discussões sobre mudanças climáticas não se referem a um dia excepcionalmente quente ou a uma nevasca isolada; elas tratam de uma alteração significativa e persistente nesses padrões médios de longo prazo em escala global, evidenciando uma transformação profunda no sistema energético do nosso planeta.

Compreender essa diferença é o primeiro passo para interpretar corretamente as informações científicas e evitar equívocos comuns. A afirmação "como pode haver aquecimento global se está nevando hoje?" ignora a diferença fundamental entre uma flutuação de curto prazo (tempo) e uma tendência de longo prazo (clima). O que os cientistas observam é um aumento consistente e inequívoco nas temperaturas médias globais, um sinal claro de que a "personalidade" do nosso planeta está mudando.

# O Efeito Estufa: De Mecanismo Essencial a Desafio Global

O **efeito estufa** é um fenômeno natural e vital para a existência de vida na Terra como a conhecemos. Sem ele, a temperatura média do planeta seria de aproximadamente  $-18^{\circ}\text{C}$ , um ambiente inóspito para a maioria das espécies. O processo funciona de maneira análoga a uma estufa de plantas: a atmosfera terrestre, composta por diversos gases, permite que a maior parte da radiação solar de ondas curtas atinja a superfície. A Terra, por sua vez, absorve essa energia e a irradia de volta para o espaço na forma de radiação infravermelha, de ondas longas (calor).

É neste ponto que os **Gases de Efeito Estufa (GEE)**, como o vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), desempenham seu papel crucial. Eles são transparentes à radiação solar que chega, mas opacos a uma parte da radiação infravermelha que a Terra emite. Em vez de deixar todo o calor escapar para o espaço, esses gases o absorvem e o reirradiam em todas as direções, incluindo de volta para a superfície. Esse processo "aprisiona" calor na baixa atmosfera, mantendo o planeta aquecido e habitável. Trata-se de um delicado balanço energético que se manteve relativamente estável por milênios.

O problema que enfrentamos hoje não é a existência do efeito estufa, mas sua **intensificação** descontrolada. As atividades humanas, especialmente após a Revolução Industrial, começaram a liberar volumes massivos de GEE na atmosfera, principalmente pela queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), desmatamento e práticas agrícolas. Esse excesso de gases funciona como um cobertor que se torna progressivamente mais espesso, retendo mais calor do que o necessário e alterando o balanço energético do planeta. É essa perturbação no sistema natural que conhecemos como **aquecimento global antropogênico**.

## Efeito Estufa Natural

- Fenômeno essencial para a vida
- Mantém temperatura média de  $15^{\circ}\text{C}$
- Equilíbrio entre radiação recebida e emitida

## Efeito Estufa Intensificado

- Causado por atividades humanas
- Aumento da concentração de GEE
- Desequilíbrio no balanço energético

# Os Principais Gases de Efeito Estufa e Suas Fontes

Embora o  $\text{CO}_2$  seja o gás mais comentado, ele não é o único vilão na história da intensificação do efeito estufa. Diferentes gases possuem capacidades distintas de reter calor e permanecem na atmosfera por tempos variados. Para comparar seu impacto, os cientistas utilizam a métrica do **Potencial de Aquecimento Global (GWP)**, que mede a capacidade de um gás de aquecer a atmosfera em um determinado período (geralmente 100 anos), em relação ao dióxido de carbono, cujo GWP é definido como 1.

O **dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )** é o principal motor do aquecimento global atual, responsável por cerca de três quartos das emissões. Sua principal fonte antropogênica é a queima de combustíveis fósseis para geração de energia, transporte e processos industriais. O desmatamento também é uma fonte significativa, pois as florestas atuam como "sumidouros" de carbono, absorvendo  $\text{CO}_2$  da atmosfera. Quando queimadas ou derrubadas, não apenas essa capacidade de absorção é perdida, mas o carbono armazenado na biomassa é liberado.

O **metano ( $\text{CH}_4$ )** é o segundo gás mais importante. Embora sua concentração na atmosfera seja menor que a do  $\text{CO}_2$ , seu GWP em 100 anos é cerca de 28 vezes maior. Isso significa que uma molécula de metano tem um poder de aquecimento muito superior ao de uma molécula de  $\text{CO}_2$  nesse horizonte de tempo. As principais fontes humanas incluem a pecuária (processos digestivos de ruminantes), o cultivo de arroz em áreas inundadas, a decomposição de matéria orgânica em aterros sanitários e vazamentos na extração e transporte de gás natural.

O **óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )**, por sua vez, é ainda mais potente, com um GWP quase 300 vezes maior que o do  $\text{CO}_2$ . Ele também possui uma longa vida na atmosfera. Suas principais fontes antropogênicas estão ligadas à agricultura, especialmente ao uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados, que liberam o gás no solo. A queima de biomassa e alguns processos industriais também contribuem para suas emissões. Compreender as diferentes fontes e potências desses gases é crucial para desenhar estratégias de mitigação eficazes e multissetoriais.

1

**GWP do  $\text{CO}_2$**

Referência base para comparação

28

**GWP do  $\text{CH}_4$**

Potencial de aquecimento em 100  
anos

300

**GWP do  $\text{N}_2\text{O}$**

Potencial de aquecimento em 100  
anos

# As Evidências Científicas do Aquecimento Global

A conclusão de que o planeta está aquecendo e que a atividade humana é a principal causa não é baseada em especulação, mas em décadas de coleta e análise de dados de múltiplas fontes independentes. A ciência climática construiu um caso robusto e convergente. Uma das evidências mais diretas é o **aumento das temperaturas médias globais**, tanto da superfície terrestre quanto dos oceanos. Registros instrumentais mantidos por diversas agências internacionais (como NASA e NOAA) mostram uma clara tendência de aquecimento desde o final do século XIX, com as últimas décadas sendo as mais quentes já registradas.

Para olhar mais para o passado, os cientistas utilizam "proxies" ou evidências indiretas, como os **testemunhos de gelo** extraídos de geleiras na Antártida e na Groenlândia. Essas colunas de gelo contêm pequenas bolhas de ar que ficaram aprisionadas ao longo de centenas de milhares de anos, funcionando como uma cápsula do tempo da atmosfera antiga. Ao analisar a composição química dessas bolhas, é possível reconstruir as concentrações passadas de CO<sub>2</sub>, metano e outros gases, e correlacioná-las com a temperatura da época. Esses dados mostram que os níveis atuais de CO<sub>2</sub> são os mais altos em pelo menos 800.000 anos e que o aumento recente é anômalo e sem precedentes em sua velocidade.

Outras evidências corroboram esse cenário. Observamos um **derretimento acelerado de geleiras e mantos de gelo** em todo o mundo, contribuindo para a **elevação do nível do mar**. A água dos oceanos, ao aquecer, também se expande termicamente, o que amplifica esse efeito. Além disso, a crescente concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera leva à **acidificação dos oceanos**, pois cerca de um quarto do CO<sub>2</sub> emitido é absorvido pelas águas marinhas, formando ácido carbônico. Esse processo ameaça ecossistemas vitais, como os recifes de corais, e a vida marinha que depende de conchas de carbonato de cálcio. A convergência de todas essas linhas de evidência forma a base do consenso científico sobre as mudanças climáticas.



## Aumento de Temperatura

Registros instrumentais mostram aquecimento consistente desde o século XIX



## Derretimento de Geleiras

Redução acelerada da criosfera global



## Elevação do Nível do Mar

Aumento médio de 3,3mm por ano



## Acidificação dos Oceanos

Redução do pH das águas marinhas

# A Voz da Ciência: Os Relatórios do IPCC

## O Papel e a Importância do IPCC

Em um campo tão complexo e politicamente sensível como as mudanças climáticas, ter uma fonte de informação confiável, rigorosa e isenta é fundamental. Essa é a função do **Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)**, criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). O IPCC não realiza pesquisas originais; sua missão é muito mais ampla e crucial: sintetizar, avaliar e comunicar o conhecimento científico mais avançado e relevante sobre as mudanças climáticas produzido em todo o mundo.

O processo de elaboração dos relatórios do IPCC é um dos exercícios de colaboração científica mais extensos e rigorosos da história. Milhares de cientistas de centenas de países voluntariam seu tempo para revisar dezenas de milhares de artigos científicos publicados e revisados por pares. O resultado é uma avaliação abrangente do estado do conhecimento sobre a ciência do clima (Grupo de Trabalho I), os impactos, adaptação e vulnerabilidade (Grupo de Trabalho II), e a mitigação das mudanças climáticas (Grupo de Trabalho III).

A força dos relatórios do IPCC reside em seu processo de revisão e aprovação. Os rascunhos passam por múltiplas rodadas de escrutínio por parte de especialistas e governos, garantindo que as conclusões sejam robustas e reflitam o consenso da comunidade científica. Os "Sumários para Formuladores de Políticas" são aprovados linha por linha em sessões plenárias com representantes de todos os governos membros, assegurando que o texto final seja preciso, equilibrado e politicamente relevante, sem comprometer a integridade científica. Por isso, os relatórios do IPCC são considerados a principal referência para as negociações climáticas internacionais e para a formulação de políticas públicas em todo o mundo.

1

### Grupo de Trabalho I

Bases Científicas Físicas

- Avalia evidências científicas do aquecimento global
- Analisa causas das mudanças climáticas
- Projeta cenários futuros de temperatura

2

### Grupo de Trabalho II

Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade

- Avalia consequências das mudanças climáticas
- Identifica vulnerabilidades regionais
- Propõe estratégias de adaptação

3

### Grupo de Trabalho III

Mitigação das Mudanças Climáticas

- Avalia opções para redução de emissões
- Analisa custos e benefícios das ações
- Propõe políticas e medidas de mitigação

# Cenários Futuros: Os Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs)

Prever o futuro com exatidão é impossível, mas podemos explorar futuros plausíveis. Para entender os riscos das mudanças climáticas e orientar as decisões de mitigação e adaptação, o IPCC desenvolveu um conjunto de cenários conhecidos como **Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)**, ou Caminhos Socioeconômicos Compartilhados. Esses cenários, utilizados nos relatórios mais recentes (como o AR6), representam diferentes narrativas sobre como a sociedade global pode evoluir nas próximas décadas, considerando fatores como crescimento populacional, desenvolvimento econômico, inovação tecnológica, equidade e políticas ambientais.

Os SSPs são cinco narrativas distintas. O **SSP1 (Sustentabilidade – Tomando o Caminho Verde)** descreve um mundo com desenvolvimento sustentável, baixo crescimento populacional, alta cooperação internacional e rápida transição para energias renováveis. No extremo oposto, o **SSP5 (Desenvolvimento Fomentado por Combustíveis Fósseis)** imagina um mundo de rápido crescimento econômico impulsionado pela exploração intensiva de combustíveis fósseis, com pouca preocupação com o meio ambiente. Entre esses extremos, existem cenários intermediários, como o **SSP2 (Meio do Caminho)**, que representa uma continuação das tendências atuais, e outros que exploram futuros com alta desigualdade (SSP4) ou rivalidades regionais (SSP3).

Essas narrativas socioeconômicas são então combinadas com diferentes níveis de forçante climática (a quantidade de aquecimento resultante), gerando projeções climáticas detalhadas. Por exemplo, mesmo em um cenário otimista como o SSP1, diferentes ambições de políticas climáticas podem levar a resultados de aquecimento muito distintos. Essa abordagem permite que os formuladores de políticas entendam não apenas as consequências físicas de diferentes níveis de emissões, mas também os desafios sociais e econômicos associados à mitigação (redução de emissões) e à adaptação (lidar com os impactos) em cada caminho de desenvolvimento possível.

## SSP1

### Sustentabilidade

Desenvolvimento sustentável, baixo crescimento populacional, alta cooperação internacional

## SSP2

### Meio do Caminho

Continuação das tendências atuais, progresso moderado em direção aos objetivos de desenvolvimento

## SSP3

### Rivalidade Regional

Nacionalismo ressurgente, preocupações com segurança e competição, baixa cooperação

## SSP4

### Desigualdade

Crescente disparidade, tanto entre países quanto dentro deles, investimentos em tecnologia seletivos

## SSP5

### Desenvolvimento Fóssil

Rápido crescimento econômico baseado em combustíveis fósseis, alta tecnologia e consumo

# Pontos de Inflexão (Tipping Points): O Risco de Mudanças Abruptas e Irreversíveis

Uma das conclusões mais alarmantes da ciência climática recente é a existência de **pontos de inflexão**, ou *tipping points*. Este conceito refere-se a limiares críticos no sistema terrestre que, uma vez ultrapassados, podem desencadear mudanças abruptas, em cascata e, em alguns casos, irreversíveis. A metáfora usual é a de empurrar lentamente uma canoa: ela se inclina gradualmente até atingir um ponto em que vira de forma súbita e completa. Da mesma forma, o aquecimento global gradual pode levar a transformações repentinas em grandes sistemas do planeta.

Esses pontos de inflexão são particularmente perigosos porque envolvem **ciclos de retroalimentação positiva** (ou *positive feedback loops*). Um exemplo clássico é o derretimento do gelo marinho do Ártico. O gelo branco reflete a maior parte da luz solar de volta para o espaço (alto albedo). À medida que o planeta aquece e o gelo derrete, ele expõe a água escura do oceano, que absorve muito mais calor (baixo albedo). O oceano mais quente derrete ainda mais gelo, que expõe mais água escura, que absorve mais calor, em um ciclo que se auto-reforça e acelera o aquecimento regional, mesmo que as emissões globais se estabilizem.

Compreender esses pontos de inflexão é crucial, pois eles representam os riscos de maior magnitude associados às mudanças climáticas. Eles desafiam a noção de que os impactos climáticos aumentarão de forma linear e previsível. Em vez disso, sugerem que podemos enfrentar mudanças de estado abruptas no sistema climático, com consequências sistêmicas e catastróficas.

## ⚠️ Alerta Científico

O último relatório do IPCC (AR6) expressa preocupação crescente de que alguns pontos de inflexão possam ser ultrapassados mesmo com níveis de aquecimento entre 1,5°C e 2°C acima dos níveis pré-industriais, anteriormente considerados "seguros".



# Principais Pontos de Inflexão e Seus Riscos

A ciência identificou vários sistemas terrestres que podem ter pontos de inflexão. O último relatório do IPCC (AR6) expressa uma preocupação crescente de que alguns desses limiares possam ser cruzados mesmo com níveis de aquecimento considerados "seguros" no passado, como entre 1.5°C e 2°C acima dos níveis pré-industriais. Conhecer os principais exemplos ajuda a dimensionar a urgência da ação climática.

Um dos mais críticos é o **colapso do manto de gelo da Groenlândia e da Antártida Ocidental**. O aquecimento contínuo pode levar a um ponto de derretimento auto-sustentado, que se tornaria irreversível em escalas de tempo humanas. O colapso total desses mantos de gelo levaria a uma elevação de vários metros no nível do mar ao longo de séculos ou milênios, redesenhando os litorais do mundo e submergindo cidades costeiras onde vivem centenas de milhões de pessoas.

Outro ponto de inflexão de grande preocupação, especialmente para o Brasil e a América do Sul, é a **savanização da Floresta Amazônica**. A combinação de desmatamento, aumento da temperatura e mudanças nos padrões de chuva pode levar a floresta a um ponto de não retorno, onde grandes áreas se transformariam em uma vegetação mais seca, semelhante a uma savana. Isso teria consequências devastadoras para a biodiversidade, o clima regional (afetando os "rios voadores" que levam umidade para outras regiões do Brasil) e liberaria bilhões de toneladas de carbono armazenado na floresta, acelerando ainda mais o aquecimento global.

Outros exemplos incluem o **descongelamento do permafrost** (solo congelado no Ártico), que liberaria grandes quantidades de metano e CO<sub>2</sub>, o **colapso da Circulação Meridional do Atlântico (AMOC)**, um sistema de correntes oceânicas que regula o clima no Atlântico Norte, e a **morte em massa dos recifes de corais** de águas quentes devido ao aquecimento e acidificação dos oceanos. A interconexão desses sistemas significa que o acionamento de um *tipping point* pode aumentar a probabilidade de acionar outros, criando um efeito dominó com consequências globais e de difícil previsão.

## Mantos de Gelo

Derretimento irreversível da Groenlândia e Antártida Ocidental

- Elevação do nível do mar em vários metros
- Submersão de cidades costeiras
- Alteração de correntes oceânicas

## Floresta Amazônica

Transição para um ecossistema tipo savana

- Perda massiva de biodiversidade
- Alteração do regime de chuvas na América do Sul
- Liberação de carbono armazenado

## Permafrost Ártico

Descongelamento do solo permanentemente congelado

- Liberação de metano e CO<sub>2</sub>
- Aceleração do aquecimento global
- Danos à infraestrutura nas regiões árticas

## Recifes de Coral

Branqueamento e morte em massa

- Perda de biodiversidade marinha
- Impacto em pescarias e turismo
- Redução da proteção costeira natural

# Conectando os Achados: IPCC e IPBES

É impossível dissociar a crise climática da crise de biodiversidade. Para ressaltar essa conexão, é importante mencionar a **Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES)**, um órgão com uma função análoga à do IPCC, mas focado na ciência da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos — os benefícios que a natureza proporciona à humanidade. Relatórios recentes de ambas as instituições, IPCC e IPBES, destacam cada vez mais que essas duas crises são interdependentes e precisam ser abordadas de forma conjunta.

As mudanças climáticas são um dos principais vetores da perda de biodiversidade. O aumento da temperatura, a alteração dos regimes de chuva e os eventos extremos forçam as espécies a migrar, adaptar-se ou enfrentar a extinção. Como vimos, ecossistemas inteiros, como recifes de corais e florestas tropicais, estão sob ameaça direta. Por outro lado, a degradação dos ecossistemas mina nossa capacidade de combater as mudanças climáticas. Por exemplo, o desmatamento de florestas e a destruição de manguezais e turfeiras liberam enormes quantidades de carbono e eliminam sumidouros naturais vitais.

A boa notícia, apontada por ambas as plataformas, é que as soluções também estão conectadas. As chamadas **soluções baseadas na natureza (SbN)** são ações que protegem, gerenciam de forma sustentável e restauram ecossistemas, abordando desafios sociais (como as mudanças climáticas) e, ao mesmo tempo, proporcionando bem-estar humano e benefícios à biodiversidade. Exemplos incluem o reflorestamento, a restauração de manguezais (que protegem a costa e sequestram carbono) e a adoção de práticas de agricultura regenerativa. A integração das agendas de clima e biodiversidade é uma tendência crescente e essencial para o planejamento de políticas públicas eficazes e sustentáveis para o futuro.

## Crise Climática

- Aumento da temperatura global
- Eventos climáticos extremos
- Elevação do nível do mar
- Alteração nos padrões de chuva



### Reflorestamento

Restauração de florestas nativas para sequestro de carbono e conservação da biodiversidade



### Manguezais

Proteção costeira natural contra tempestades e berçário para espécies marinhas



### Agricultura Regenerativa

Práticas que melhoram a saúde do solo, retêm carbono e reduzem o uso de insumos químicos

## Crise de Biodiversidade

- Extinção de espécies
- Degradação de habitats
- Perda de serviços ecossistêmicos
- Invasões biológicas

# A Realidade Brasileira: Impactos das Mudanças Climáticas

## A Vulnerabilidade Estrutural do Brasil

O Brasil, devido à sua vasta extensão territorial, megadiversidade biológica, matriz energética fortemente dependente de hidrelétricas e profundas desigualdades sociais, é um país particularmente vulnerável aos impactos das mudanças climáticas. As consequências não se distribuem de forma homogênea; elas exacerbam vulnerabilidades preexistentes e afetam de maneira desproporcional as populações mais pobres, comunidades tradicionais e povos indígenas, que muitas vezes dependem diretamente dos recursos naturais para sua subsistência e possuem menor capacidade de adaptação.

A complexidade geográfica do país, com biomas que vão da Amazônia ao Pampa, passando pelo Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal, significa que os impactos se manifestam de formas muito distintas em cada região. Enquanto o Sul pode enfrentar um aumento na frequência e intensidade de chuvas e inundações, o Nordeste e partes do Sudeste e Centro-Oeste podem sofrer com secas mais severas e prolongadas. Essa diversidade de cenários de risco exige políticas de adaptação regionalizadas e que considerem as especificidades de cada ecossistema e contexto social.

Além dos fatores naturais, a vulnerabilidade brasileira é amplificada por questões de infraestrutura e planejamento. Grande parte da população vive em áreas de risco, como encostas e várzeas de rios, em moradias precárias. A infraestrutura de saneamento, mobilidade e energia muitas vezes não foi projetada para suportar os eventos climáticos extremos que já estão se tornando mais comuns. Portanto, discutir os impactos das mudanças climáticas no Brasil é, necessariamente, discutir desenvolvimento urbano, justiça social e planejamento estratégico de longo prazo.

14

### Megadiversidade

O Brasil abriga cerca de 20% de toda a biodiversidade do planeta, distribuída em seis biomas distintos, todos vulneráveis às mudanças climáticas.



### Dependência Hidrelétrica

Aproximadamente 60% da matriz elétrica brasileira depende de usinas hidrelétricas, altamente sensíveis a alterações no regime de chuvas.



### Desigualdade Social

As populações mais vulneráveis socioeconomicamente são as mais expostas aos riscos climáticos e possuem menor capacidade de adaptação.

# A Intensificação de Eventos Climáticos Extremos

Um dos sinais mais tangíveis e midiáticos das mudanças climáticas é o aumento na frequência, intensidade e duração de **eventos climáticos extremos**. O aquecimento da atmosfera e dos oceanos injeta mais energia no sistema climático, potencializando fenômenos que sempre existiram, mas que agora ocorrem com força e consequências sem precedentes. No Brasil, essa tendência já é uma realidade observada e sentida em todas as regiões.

No Sul e Sudeste, temos observado um aumento de **chuvas intensas** concentradas em curtos períodos, levando a inundações repentinas e deslizamentos de terra devastadores em áreas urbanas e serranas. O trágico exemplo das enchentes históricas no Rio Grande do Sul em 2024 ilustra perfeitamente a escala da catástrofe que pode ser desencadeada por esses eventos, com impactos sistêmicos na economia, infraestrutura e na vida de milhões de pessoas. Ao mesmo tempo, a região pode enfrentar períodos de estiagem, como a crise hídrica que afetou o Sudeste entre 2014 e 2015.

Em contraste, a região do **Nordeste** tem enfrentado **secas mais severas e prolongadas**, com impactos diretos sobre a agricultura familiar, a disponibilidade de água para consumo humano e a geração de energia hidrelétrica no rio São Francisco. Na Amazônia e no Pantanal, as secas extremas, combinadas com o aumento da temperatura, criam condições ideais para a propagação de **incêndios florestais** de grandes proporções, como os que devastaram o Pantanal em 2020. Esses eventos não são incidentes isolados, mas sim manifestações de um novo padrão climático para o qual o país precisa se preparar urgentemente.



# Ameaças à Segurança Hídrica e Alimentar

As mudanças climáticas representam uma ameaça direta a dois pilares fundamentais da segurança nacional: a água e os alimentos. O Brasil, apesar de deter uma das maiores reservas de água doce do mundo, enfrenta um paradoxo, com a distribuição desigual desse recurso e uma crescente pressão sobre os sistemas hídricos devido ao clima em mutação. A já mencionada possibilidade de **savanização da Amazônia** é uma ameaça existencial ao regime de chuvas de grande parte do continente sul-americano.

A floresta amazônica funciona como uma gigantesca bomba d'água, reciclando umidade e transportando-a para o Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil através dos chamados "**rios voadores**". A interrupção ou redução desse serviço ecossistêmico vital, causada pelo desmatamento e aquecimento, teria consequências catastróficas para o agronegócio, principal motor da economia brasileira, e para o abastecimento de água das maiores metrópoles do país. A crise hídrica no Sudeste já deu um vislumbre do que pode ser o futuro.

A **segurança alimentar** também está em jogo. O aumento da temperatura, as ondas de calor e a irregularidade das chuvas afetam diretamente a produtividade agrícola. Culturas importantes para a economia e alimentação brasileira, como café, soja, milho e feijão, são sensíveis a variações climáticas. A elevação da temperatura pode tornar áreas tradicionalmente produtoras inviáveis para certas culturas, exigindo migração para regiões mais frias ou investimentos massivos em irrigação e tecnologias de adaptação. Além disso, a proliferação de pragas e doenças agrícolas tende a aumentar em um clima mais quente, adicionando mais uma camada de risco à produção de alimentos.

## Rios Voadores

Os "rios voadores" são correntes de ar carregadas de vapor d'água, geradas pela evapotranspiração da Floresta Amazônica, que transportam umidade para outras regiões do Brasil.

Esse fenômeno é responsável por:

- Cerca de 70% das chuvas no Centro-Oeste
- Mais de 40% da precipitação no Sudeste
- Contribuição significativa para o regime de chuvas no Sul

## Impactos na Agricultura

- Redução da produtividade de culturas como soja, milho e café
- Alteração das áreas aptas para cultivo
- Aumento de pragas e doenças agrícolas
- Maior necessidade de irrigação

## Impactos na Disponibilidade Hídrica

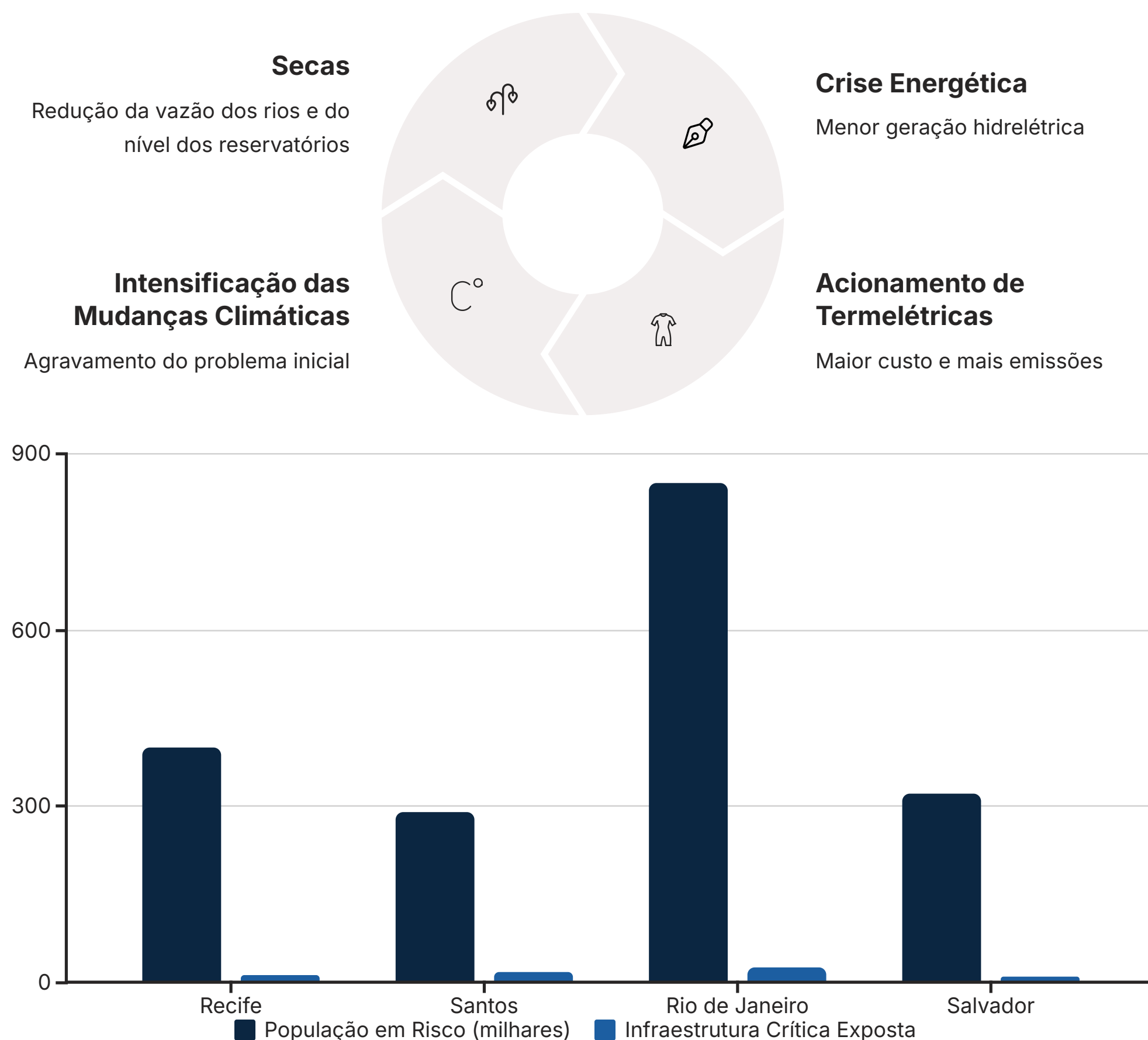
- Redução da vazão de rios importantes
- Comprometimento de reservatórios urbanos
- Conflitos pelo uso da água
- Escassez em regiões metropolitanas

# Riscos para a Segurança Energética e Zonas Costeiras

A matriz elétrica brasileira, historicamente celebrada por ser majoritariamente renovável, possui um "calcanhar de Aquiles": sua alta dependência de **usinas hidrelétricas**. Cerca de 60% da eletricidade do país vem da força das águas. Essa dependência torna o setor elétrico extremamente vulnerável às mudanças nos padrões de chuva e a longos períodos de seca, que reduzem a vazão dos rios e, conseqüentemente, o nível dos reservatórios.

Quando os reservatórios estão baixos, o país é forçado a acionar **usinas termelétricas** a gás, óleo ou carvão. Além de serem muito mais caras, o que eleva o custo da conta de luz para todos os consumidores, essas usinas emitem grandes quantidades de gases de efeito estufa. Cria-se, assim, um ciclo vicioso: as mudanças climáticas causam secas, que forçam o uso de termelétricas, que por sua vez agravam as mudanças climáticas. Diversificar a matriz energética com outras fontes renováveis, como a eólica e a solar, é, portanto, uma estratégia crucial não apenas de mitigação, mas também de adaptação e segurança energética.

Outro front de grande vulnerabilidade são as **zonas costeiras**, onde se concentra uma parcela significativa da população e da infraestrutura econômica do Brasil. A **elevação do nível do mar**, combinada com a maior frequência de ressacas e tempestades, aumenta os riscos de erosão costeira, inundações permanentes e intrusão salina em aquíferos. Cidades como Recife, Santos e Rio de Janeiro já enfrentam esses problemas, que ameaçam infraestruturas portuárias, residências, turismo e ecossistemas vitais como manguezais e restingas. A adaptação costeira exigirá um planejamento urbano robusto e, em alguns casos, a difícil decisão de realocar comunidades e infraestruturas.



O gráfico acima mostra a estimativa de população em risco e infraestruturas críticas (portos, hospitais, estações de tratamento) expostas à elevação do nível do mar em quatro grandes cidades costeiras brasileiras.

# A Resposta Global e as Responsabilidades Nacionais

## A Arquitetura dos Acordos Climáticos: De Kyoto a Paris

A resposta da comunidade internacional às mudanças climáticas tem evoluído ao longo de décadas, marcada por uma série de conferências e acordos que buscaram criar uma estrutura de governança global para o problema. O marco inicial mais conhecido foi o **Protocolo de Kyoto**, adotado em 1997. Ele representou a primeira tentativa de estabelecer metas juridicamente vinculantes de redução de emissões, mas sua abordagem era "top-down" (de cima para baixo) e diferenciada: apenas os países desenvolvidos tinham metas obrigatórias, com base no princípio das "responsabilidades comuns, porém diferenciadas".

Apesar de seu pioneirismo, o Protocolo de Kyoto teve um sucesso limitado. Grandes emissores, como os Estados Unidos, não o ratificaram, e países em desenvolvimento com emissões crescentes, como China e Brasil, não tinham obrigações de redução. Com o passar do tempo, ficou claro que uma abordagem mais inclusiva e flexível seria necessária para envolver todas as nações no esforço de combate ao aquecimento global. Essa percepção culminou na negociação de um novo tratado.

A transição para um novo regime climático foi consolidada no **Acordo de Paris**, adotado em 2015 durante a COP21. Este acordo histórico representa uma mudança fundamental na arquitetura da governança climática global. Ele estabelece um objetivo comum ambicioso para toda a humanidade, mas adota uma abordagem "bottom-up" (de baixo para cima) para a definição das metas de cada país, reconhecendo a diversidade de capacidades e circunstâncias nacionais.



### Abordagem Kyoto

Metas impostas apenas para países desenvolvidos

Princípio de "responsabilidades comuns, porém diferenciadas"



### Abordagem Paris

Cada país define suas próprias metas (NDCs)

Participação universal com revisão periódica



### Marcos Históricos

- **1992:** Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)
- **1997:** Protocolo de Kyoto
- **2009:** Acordo de Copenhague
- **2015:** Acordo de Paris
- **2021:** Pacto Climático de Glasgow

# O Acordo de Paris: Pilares e Ambições

O **Acordo de Paris** é um marco por ser o primeiro acordo climático universal, envolvendo praticamente todas as nações do mundo em um esforço comum. Sua estrutura se baseia em três pilares principais e um mecanismo de ambição crescente. O objetivo central e de longo prazo do acordo é manter o aumento da temperatura média global **bem abaixo de 2°C** em relação aos níveis pré-industriais, e envidar esforços para limitar o aumento a **1.5°C**, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e impactos das mudanças climáticas.

O segundo pilar é o da **adaptação**. O acordo reconhece que a adaptação aos impactos que já são inevitáveis é tão importante quanto a mitigação (redução de emissões). Ele visa aumentar a capacidade das sociedades de lidar com os efeitos adversos do clima e promover a resiliência climática. O terceiro pilar é o **fluxo de financiamento**. O texto estabelece que os países desenvolvidos devem fornecer apoio financeiro aos países em desenvolvimento para ajudá-los tanto na mitigação quanto na adaptação, bem como na transferência de tecnologia.

O coração do Acordo de Paris, e o que o torna dinâmico, é o seu **mecanismo de ambição**. Ele funciona através das **Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs)** e de um processo de revisão periódica chamado **Global Stocktake** (Balanço Global). A cada cinco anos, os países devem apresentar novas NDCs, e cada nova contribuição deve representar uma progressão em relação à anterior, tornando as metas cada vez mais ambiciosas com o tempo. O Global Stocktake, realizado pela primeira vez em 2023, é uma avaliação coletiva do progresso em direção aos objetivos do acordo, projetada para informar e incentivar os países a aumentarem suas ambições.

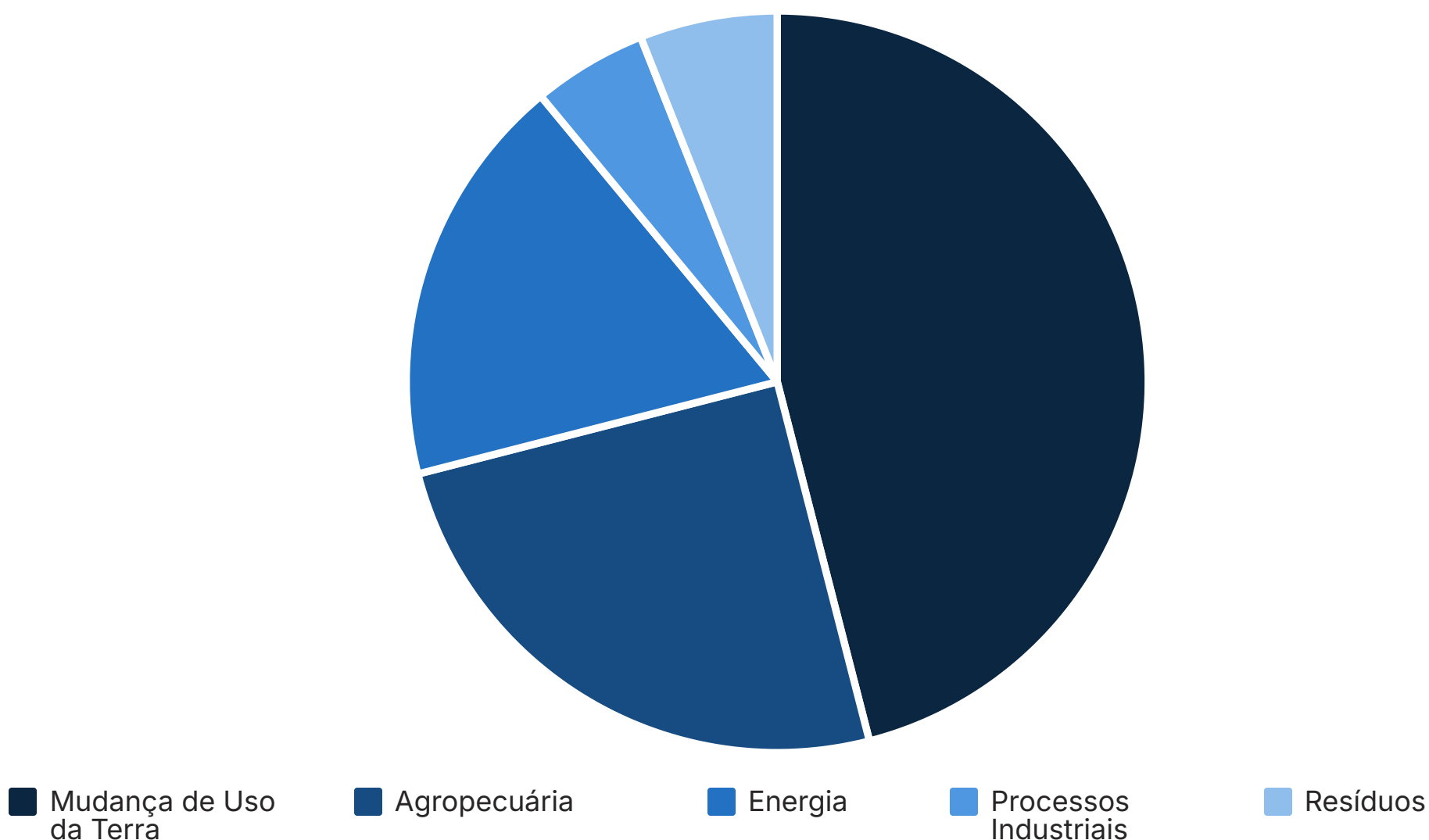
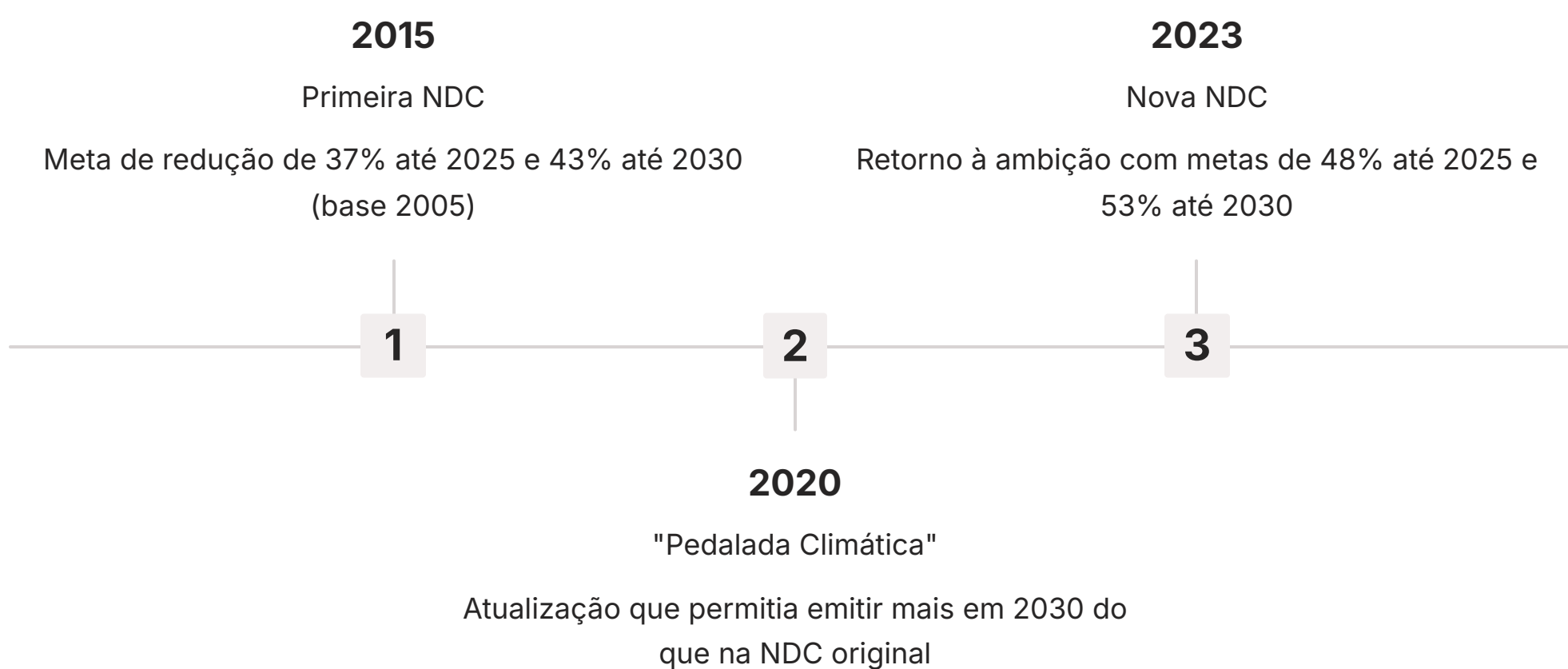


# Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) e o Papel do Brasil

As **Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs)** são o instrumento pelo qual cada país signatário do Acordo de Paris comunica seus compromissos e metas de redução de emissões, bem como suas ações de adaptação. A natureza "nacionalmente determinada" significa que cada país define sua própria meta com base em suas capacidades e circunstâncias internas, o que garantiu a adesão universal ao acordo. As NDCs devem ser claras, transparentes e quantificáveis para permitir o acompanhamento do progresso.

O Brasil, historicamente um ator importante nas negociações climáticas, apresentou sua primeira NDC em 2015, com metas consideradas ambiciosas na época. A meta principal era reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e, como meta indicativa, 43% até 2030, tendo como base o ano de 2005. As principais estratégias para alcançar esse objetivo envolviam o combate ao desmatamento ilegal na Amazônia, a restauração de florestas e a expansão do uso de fontes renováveis na matriz energética.

No entanto, a trajetória recente do Brasil tem sido objeto de críticas por parte da comunidade internacional e da sociedade civil. Subsequentemente, o país apresentou atualizações de sua NDC que, na prática, permitiam um nível maior de emissões em 2030 do que o originalmente proposto, um fenômeno apelidado de "pedalada climática". Em 2023, o governo brasileiro revisou novamente sua NDC, retornando a um nível de ambição compatível com a meta original, comprometendo-se a uma redução de 48% até 2025 e 53% até 2030, em relação a 2005. O grande desafio do Brasil é traduzir essa meta em políticas públicas eficazes, especialmente no controle do desmatamento, que continua sendo a maior fonte de emissões do país.



O gráfico acima mostra a distribuição das emissões brasileiras por setor, destacando a predominância da mudança de uso da terra (principalmente desmatamento) como principal fonte de emissões no país.

# Integrando Agendas: ODS, PNEA e o Marco do Saneamento

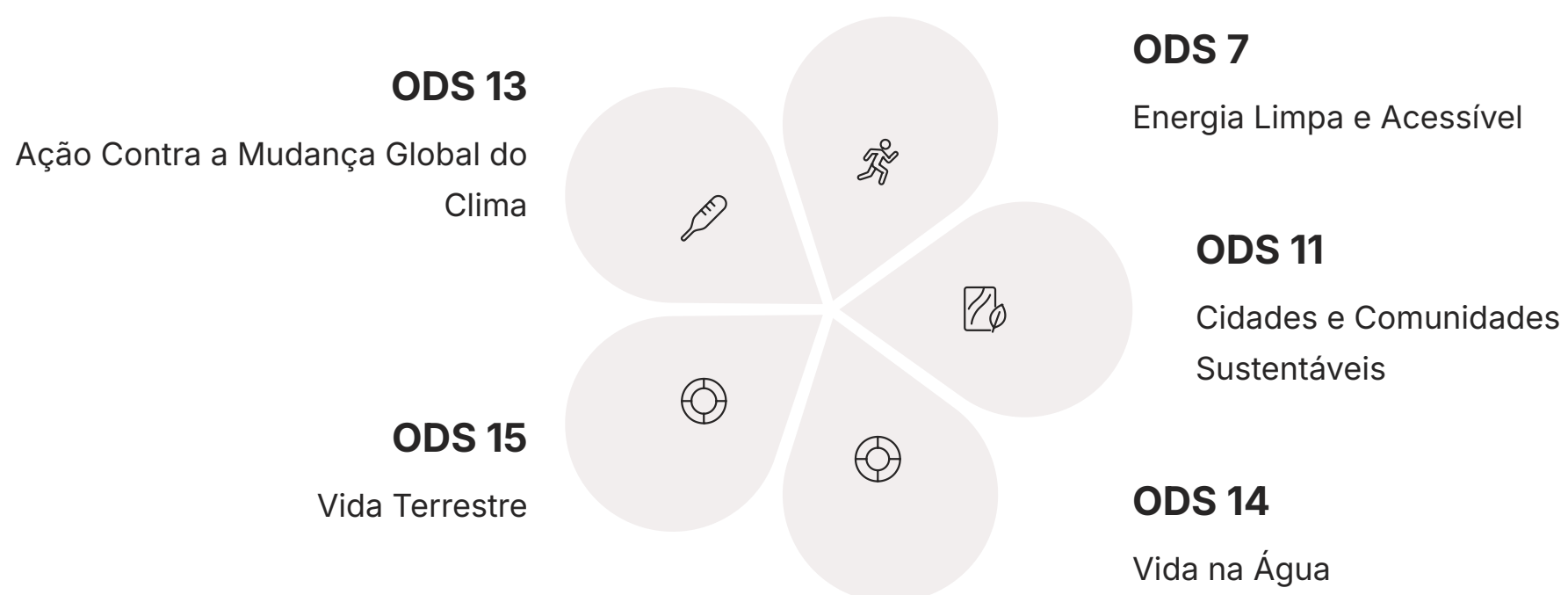
A ação climática não acontece em um vácuo. Ela está intrinsecamente ligada a agendas de desenvolvimento mais amplas e a marcos regulatórios nacionais. Para o Brasil, alinhar seus compromissos climáticos internacionais com suas políticas internas é um passo fundamental para um desenvolvimento verdadeiramente sustentável. Três estruturas são particularmente relevantes nesse contexto: os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) e o Marco Legal do Saneamento Básico.

Os **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**, parte da Agenda 2030 da ONU, formam um plano global para erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir a paz e a prosperidade. O **ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima)** trata diretamente do nosso tema, mas a interconexão é muito mais profunda. Ações para combater as mudanças climáticas contribuem para o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 14 (Vida na Água) e ODS 15 (Vida Terrestre), entre outros. Uma política climática robusta é, na verdade, uma política de desenvolvimento.

A nível nacional, a **Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA - Lei nº 9.795/1999)** estabelece a educação ambiental como um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo. Discutir as mudanças climáticas, seus impactos e soluções é uma aplicação direta dos princípios da PNEA, promovendo uma consciência crítica sobre os problemas socioambientais e incentivando a participação cidadã na construção de sociedades sustentáveis.

**NOTA IMPORTANTE:** As informações regulatórias/legais/técnicas contidas nesta seção estão atualizadas até 2024. Consulte sempre as fontes oficiais para verificar possíveis alterações na legislação ou normas aplicáveis.

Por fim, o **Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020)**, embora focado em universalizar os serviços de água e esgoto, tem uma forte interface com a agenda climática. A infraestrutura de saneamento resiliente é uma medida de adaptação crucial para proteger a saúde pública em um cenário de eventos extremos mais frequentes. Além disso, a gestão adequada de resíduos e o tratamento de esgoto podem reduzir as emissões de metano, contribuindo para a mitigação. Como veremos na próxima aula, a gestão da água e o saneamento são peças-chave na construção de um futuro resiliente ao clima.



## PNEA (Lei nº 9.795/1999)

- Estabelece a educação ambiental como componente essencial da educação nacional
- Promove a conscientização sobre problemas socioambientais
- Incentiva a participação cidadã na construção de sociedades sustentáveis
- Fornece base legal para a inclusão da temática climática nos currículos

## Marco do Saneamento (Lei nº 14.026/2020)

- Visa universalizar os serviços de água e esgoto até 2033
- Promove infraestrutura resiliente a eventos climáticos extremos
- Reduz emissões de metano através do tratamento adequado de resíduos
- Contribui para a adaptação e mitigação das mudanças climáticas

# Consolidação e Próximos Passos

## Resumo dos Conceitos-Chave

Nesta aula, exploramos a complexa teia que envolve as mudanças climáticas, desde sua base científica até as respostas políticas globais e os impactos locais. Vimos como a intensificação do efeito estufa, causada pela emissão de gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, está alterando o clima global. Analisamos a importância dos relatórios do IPCC como a voz do consenso científico e discutimos os riscos alarmantes dos pontos de inflexão. Mapeamos os impactos já sentidos no Brasil, desde eventos extremos até ameaças à nossa segurança hídrica, alimentar e energética. Por fim, navegamos pela arquitetura dos acordos internacionais, com destaque para o Acordo de Paris e as NDCs, conectando-os com as políticas nacionais e a agenda de desenvolvimento sustentável.

## Perguntas para Reflexão

1. De que forma os impactos das mudanças climáticas em uma região do Brasil (ex: seca na Amazônia) podem afetar diretamente a vida cotidiana em outra região (ex: custo de energia no Sudeste)?
2. Considerando o perfil de emissões do Brasil, quais seriam as duas ou três ações mais eficazes que o país poderia tomar para cumprir sua NDC de forma ambiciosa?
3. Como a sua área de estudo ou futura profissão pode ser impactada pelas mudanças climáticas e, mais importante, como você pode contribuir para soluções de mitigação ou adaptação?
4. Por que uma abordagem que considera apenas a redução de emissões (mitigação) é insuficiente sem um investimento robusto em adaptação, especialmente no contexto brasileiro?

## Conexão com a Próxima Aula

Nesta aula, identificamos a segurança hídrica como um dos pontos mais vulneráveis do Brasil frente às mudanças climáticas. A gestão dos recursos hídricos e a universalização do saneamento básico são estratégias essenciais tanto de adaptação quanto de mitigação. Na **Aula 12 – Recursos Hídricos e Saneamento Básico**, aprofundaremos esses temas, explorando o ciclo da água, a legislação pertinente (incluindo o Marco do Saneamento), os desafios da gestão e as tecnologias para garantir água de qualidade para todos e um futuro mais resiliente.

## Recursos Adicionais

1. **Site do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas):** Explore os sumários dos últimos relatórios (em português).
2. **Plataforma de Dados do SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa):** Navegue pelos dados de emissões do Brasil por setor.
3. **Filme/Documentário "David Attenborough: A Life on Our Planet" (Netflix):** Uma poderosa narrativa visual sobre as mudanças ambientais no planeta.
4. **Relatórios do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais):** Acesse dados atualizados sobre desmatamento na Amazônia e no Cerrado.

## Mensagem Final

O conhecimento sobre as mudanças climáticas é uma ferramenta poderosa. Ele o capacita não apenas para obter uma certificação ou passar em um concurso, mas para ser um agente de mudança em sua comunidade e profissão. O futuro que construiremos depende das decisões que tomamos hoje, e decisões bem informadas são o primeiro passo para uma ação eficaz. Que esta aula inspire você a continuar aprendendo e a se engajar na construção de um futuro mais justo e sustentável.

01

---

### Compreender

Entender a ciência e os impactos das mudanças climáticas

03

---

### Agir

Implementar soluções em sua esfera de influência

02

---

### Refletir

Analisar como o tema se conecta com sua realidade

04

---

### Compartilhar

Disseminar conhecimento e boas práticas