

Atlas da Eficiência Energética

Brasil | 2024

Relatório de Indicadores



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO



Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário Executivo

Arthur Cerqueira Valerio

**Secretário Nacional de
Transição Energética e Planejamento**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira



Colaboradores

Superintendentes

Angela Oliveira da Costa

Carla da Costa Lopes Achão

Superintendentes Adjuntos

Gustavo Naciff de Andrade

Marcelo Castello Branco Cavalcanti

Consultores Técnicos

Arnaldo dos Santos Junior

Patrícia Feitosa Bonfim Stelling

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araújo

Glaucio Vinícius Ramalho Faria

Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Estudos Econômicos e Energéticos

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Reinaldo da Cruz Garcia

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretora de Gestão Corporativa

Carlos Eduardo Cabral Carvalho

Coordenação Técnica

Flávio Raposo de Almeida

Rogério Antônio da Silva Matos

Equipe Técnica

Aline Moreira Gomes

Allex Yujhi Gomes Yukizaki

Ana Cristina Braga Maia

Bernardo Honigbaum

Bruno Rodamilans Lowe Stukart

Fernanda Marques Pereira Andreza

Flávio Raposo de Almeida

Gustavo Daou Palladini

Lidiane de Almeida Modesto

Mariana Weiss de Abreu

Patrícia Messer Rosenblum

Rogério Antônio da Silva Matos

Valor Público | EPE 20 anos

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, instituída em 2004, vinculada ao Ministério de Minas e Energia - MME, tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Dentre as suas atribuições, destaca-se a elaboração e publicação do Atlas da Eficiência Energética Brasil (Atlas), relatório publicado regularmente desde o ano de 2014, onde é apresentado o monitoramento do progresso da eficiência energética no Brasil, através de uma análise de indicadores.

Esta publicação, aliada ao Manual Metodológico do Atlas de Eficiência Energética, buscam, conjuntamente, trazer transparência e reduzir a assimetria de informação com relação à evolução da eficiência energética no Brasil, em especial nos setores residencial, industrial e de transportes.

Este relatório possui um capítulo especial...

que fornece uma análise detalhada do setor de ferroligas e silício metálico no Brasil, resultado da cooperação entre a EPE e a Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico (ABRAFE). Neste capítulo é apresentada uma análise nacional deste setor, com um foco especial no consumo por uso final de energia para a produção industrial do segmento de ferroligas no Brasil.



A equipe da ABRAFE que contribuiu para a execução deste relatório foi:

Coordenação e Apoio Técnico

Bruno Santos Parreiras

Equipe Técnica

Wesley Nascimento Caldeira

Sumário

Objetivo.....	06
Definições.....	08
Introdução.....	15
Edificações.....	27
Setor Residencial.....	30
Setor de Serviços.....	40
Setor Industrial.....	47
Setor de Transportes.....	62
Capítulo especial sobre o setor de ferroligas e silício metálico	73
Referências Bibliográficas.....	110

Objetivo

Objetivo

Este documento tem por objetivo principal o monitoramento do progresso da eficiência energética no Brasil, através de uma análise de indicadores. Em 2014 foi publicado o primeiro relatório de indicadores, com dados até 2012. A publicação vem sendo aprimorada, e em 2020 passou a se chamar “Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores”. Este documento atualiza e complementa, de forma mais sintética, os primeiros relatórios com dados até o ano 2023.



Definições

ODEX

O ODEX é um indicador que apura o progresso da eficiência energética. Pode ser agregado por setor (industrial, residencial, serviços e transportes) ou para a economia como um todo. O ODEX é utilizado pela União Europeia, no programa ODYSSEE *database* para monitoramento dos ganhos de eficiência (Enerdata, 2020).

O ODEX por setor (por exemplo: indústria) é baseado nos índices de consumo unitário por subsetor (cimento, cerâmica, têxtil etc.) ponderados pela participação no consumo total de energia do setor. O consumo unitário por subsetor pode ser expresso em diferentes unidades com objetivo de fornecer a melhor “*proxy*” de avaliação da eficiência energética, tais como o consumo por domicílio, o consumo por produção física ou o consumo por atividade de transporte (medida em unidades como passageiro-quilômetro e tonelada-quilômetro).

Para o presente relatório considerou-se 2005 como ano base (valor = 100), em função essencialmente da disponibilidade de dados para a maior parcela dos setores a partir desse ano. O decréscimo no ODEX do valor 100 em 2005 para 80 em algum dado ano, por exemplo, representa ganho de eficiência energética de 20% ao longo do período analisado. Em contrapartida, caso o ODEX aumente de 100 para 120, terá havido piora na eficiência energética ao longo dos anos em questão.

No caso do ODEX global, o mesmo método é aplicado com fatores ponderados, baseados nas participações do consumo total de energia final de cada setor em relação ao total de energia final considerado para todos os setores avaliados.

Para fins desse relatório, foram considerados os setores industrial, residencial e de transportes. Demais setores (energético, serviços e agropecuária) não foram incluídos em função de indisponibilidade de dados no formato adequado à apuração do indicador.

O Manual Metodológico do Atlas de Eficiência Energética Brasil apresenta o detalhamento dos dados e indicadores utilizados para a elaboração deste relatório, incluindo o ODEX, e pode ser acessado clicando em [Manual Metodológico](#)

Esta edição do Atlas de Eficiência Energética sofreu alterações de dados históricos em relação às edições anteriores, justificadas pela atualização de séries históricas de dados utilizados no cálculo do ODEX do setor de transportes.

Intensidade Energética

A intensidade energética se refere ao montante de energia necessário para produzir uma unidade de produto final ou de serviço. É a razão entre um indicador de energia (tonelada equivalente de petróleo [tep], Joule, calorias, Btu, entre outras) e um indicador de atividade (US\$, R\$, m², tonelada-quilômetro, passageiro-quilômetro, entre outros).

Exemplos fictícios:

- Intensidade energética industrial: 100 tep/US\$ ppp 2010
- Intensidade energética de edificação residencial: 0,5 tep/m²
- Intensidade energética de edificação comercial: 200 KJ/m²
- Intensidade energética no setor de transportes: 1.000 tep/tkm

A intensidade energética de uma economia corresponde à razão entre a Oferta Interna de Energia (OIE) e o Produto Interno Bruto (PIB) do país. Este indicador normalmente é usado para medir a eficiência energética de um país. No entanto, é importante considerar que a esta razão não expressa necessariamente eficiência energética, pois um país pode ter a intensidade energética baixa e ser ineficiente do ponto de vista energético. Basta considerarmos o caso de um pequeno país que tem sua economia baseada no setor de serviços, que possivelmente terá uma intensidade energética menor que outra grande nação cuja economia é baseada na produção industrial. Entretanto, o segundo país pode usar a energia para suas indústrias de forma mais eficiente que o primeiro a usa para desenvolver a sua economia baseada em comércio e serviços.

Desta forma, a intensidade energética não deve ser analisada isoladamente. Os ganhos de eficiência são apenas um componente desta análise, que também deve levar em consideração a **estrutura** (efeito estrutura) da economia de um país (presença de indústrias energointensivas, setor de serviços desenvolvido etc.) e as mudanças na **atividade** (efeito atividade), influenciadas pelo tamanho do país (que implicam em maior demanda do setor de transportes, por exemplo).

Neste relatório, o indicador será calculado de duas formas: sob a ótica da Oferta Interna de Energia (OIE), identificada como Intensidade Primária (i) e sob a base do Consumo Final Energético, denotada como Intensidade Final (ii). As fórmulas de cálculo de cada indicador seguem abaixo:

- I. Oferta Interna de Energia (mil tep)/PIB (M\$[2010])
- II. Consumo Final Energético (mil tep)/PIB (M\$[2010])

Consumo Final

É toda a energia que chega aos setores consumidores para fins energéticos e não energéticos (matéria-prima, por exemplo). Não estão incluídos neste conceito as fontes utilizadas como insumo ou matéria-prima para a produção de outros produtos energéticos. Estas atividades são classificadas, segundo o Balanço Energético Nacional, como Centros de Transformação (exemplos: água utilizada para geração de eletricidade ou petróleo que será transformado em derivados).

De forma geral, os setores de consumo final neste relatório foram classificados de acordo com a mesma divisão do Balanço Energético Nacional, com exceção de alguns setores energointensivos, para melhor representação do progresso da eficiência energética no Brasil.

O consumo final pode ser calculado através das seguintes parcelas:

- **Consumo final** = consumo final primário (+) consumo final secundário, ou;
- **Consumo final** = consumo final não-energético (+) consumo final energético

Onde:

- **Consumo final primário** é o consumo de energia primária, ou seja, consumo de fontes provenientes diretamente da natureza. Exemplos: gás natural, carvão mineral, energia solar, eólica, hidráulica e os produtos da cana-de-açúcar, entre outros.
- **Consumo final secundário** é o consumo de energia secundária, ou seja, consumo de fontes oriundas dos diferentes centros de transformação, que têm como destino os diversos setores de consumo da economia. Exemplos: eletricidade, gasolina, óleo diesel, etanol, entre outros.
- **Consumo final não-energético** corresponde ao consumo de fontes que, embora possuam conteúdo energético, são utilizados como matérias-primas para outros fins. Exemplo: uso de nafta para a fabricação de termoplásticos.
- **Consumo final energético** corresponde à utilização de fontes pelos setores da economia como energia.

INOVA-E

A plataforma digital INOVA-E foi criada para tornar acessíveis aos mais diversos públicos as informações relacionadas à inovação em energia no Brasil. Em seu módulo de investimentos, as informações estratégicas disponibilizadas na plataforma foram organizadas em uma única base de dados, apresentando um relevante panorama para a compreensão das tendências de investimentos em PD&D em energia no país. Este panorama inédito fornecido pela INOVA-E busca apoiar EPE, MME, MCTI, entre outras organizações governamentais, privadas e da sociedade civil, na formulação e promoção de políticas públicas voltadas à nossa transição energética. Em sua mais recente atualização, o módulo de investimentos em PD&D da plataforma passou por diversos aprimoramentos metodológicos, que resultaram na ampliação dos investimentos mapeados e inclusão de projetos no histórico dos investimentos.

Investimento público em PD&D - Os investimentos públicos de PD&D são calculados a partir dos dispêndios em projetos de PD&D reembolsáveis e não-reembolsáveis realizados por meio de instituições públicas de fomento à inovação no Brasil. Nas estatísticas apresentadas nesta plataforma fazem parte do escopo dos investimentos públicos em PD&D os seguintes órgãos federais: BNDES, CNEN, CNPq, FINEP; e também do estado de São Paulo: FAPESP.

Investimento publicamente orientado em PD&D - Os investimentos publicamente orientados se referem ao investimento privado induzido por políticas públicas, sendo compulsório para as empresas do setor de energia. São recursos que se enquadram dentro de programas públicos cuja finalidade é induzir as empresas a efetuarem investimentos em PD&D. Nas estatísticas apresentadas nesta plataforma fazem parte do escopo os projetos de P&D regulados pelas agências ANEEL e ANP.

Para visualizar os dados e saber mais detalhes acesse o link e visite a plataforma:

Panorama dos investimentos de inovação em energia no Brasil



Setor de Transportes

Atividade

A atividade no setor de transporte é, internacionalmente, representada pelos indicadores passageiro-quilômetro transportados e tonelada-quilômetro transportados. Passageiro-quilômetro é uma unidade que apresenta o trabalho relativo ao deslocamento de um passageiro à distância de um quilômetro. Da mesma forma, tonelada-quilômetro é a unidade que representa o trabalho relativo ao deslocamento de uma tonelada de carga à distância de um quilômetro. Também chamado de momento de transporte.

Intensidade de uso

Razão entre a atividade de transporte e a distância percorrida. É expressa nas unidades tonelada-quilômetro/quilômetro ou passageiro-quilômetro/quilômetro.

Rendimento energético

Razão da distância percorrida por passageiros ou carga e o consumo de combustível em volume e expressa medida de autonomia. Usualmente em quilômetros/litro. Em inglês é denominado *Fuel Economy*.

Consumo de combustível

Representa o volume de combustível gasto para percorrer uma dada distância, em geral 100 km. É expressa litro/100km. Em inglês é denominado *Fuel consumption*.

Eficiência Energética

Razão entre a estimativa de atividade (t.km ou p.km) e a demanda total de energia (em unidades com Joule [J], Watt [W] ou tonelada equivalente de petróleo [tep]).

Setor de Transportes

Veículos Leves (por porte)¹

Automóvel

Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor;

Comerciais Leves

- **caminhonete** – veículo destinado ao transporte de carga com peso bruto total de até 3.500 kg;
- **caminhoneta** – veículo misto destinado ao transporte de passageiros;
- **utilitário** – veículo misto caracterizado pela versatilidade do seu uso, inclusive fora de estrada.

Veículos Pesados²

Caminhões

- **Semileves** – 3,5 t. < PBT < 6 t.
- **Leves** – 6 t. ≤ PBT < 10 t.
- **Médios** – 10 t. ≤ PBT < 15 t.
- **Semipesados** – PBT ≥ 15 t. e CMT ≤ 45t.
- **Pesados** – PBT ≥ 15 t. e CMT > 45 t.

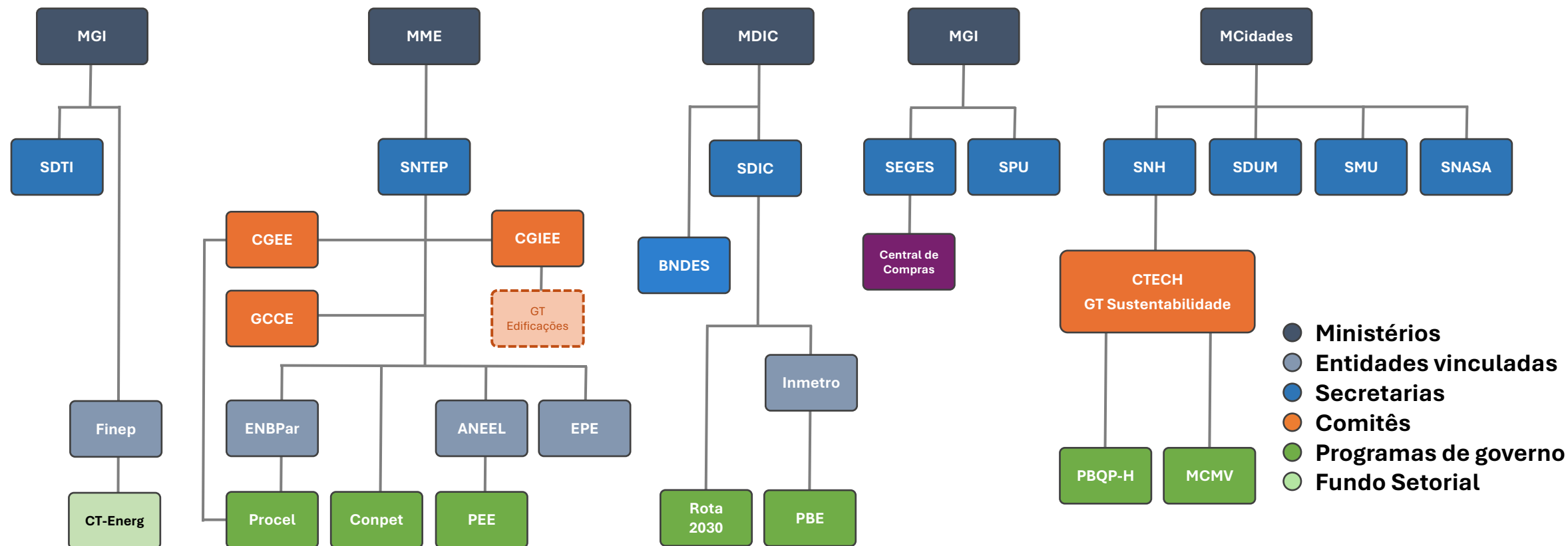
¹Código Nacional de Trânsito (BRASIL, 1997)

²Anfavea (2023)

PBT – Peso Bruto Total; CMT – Capacidade Máxima de Tração

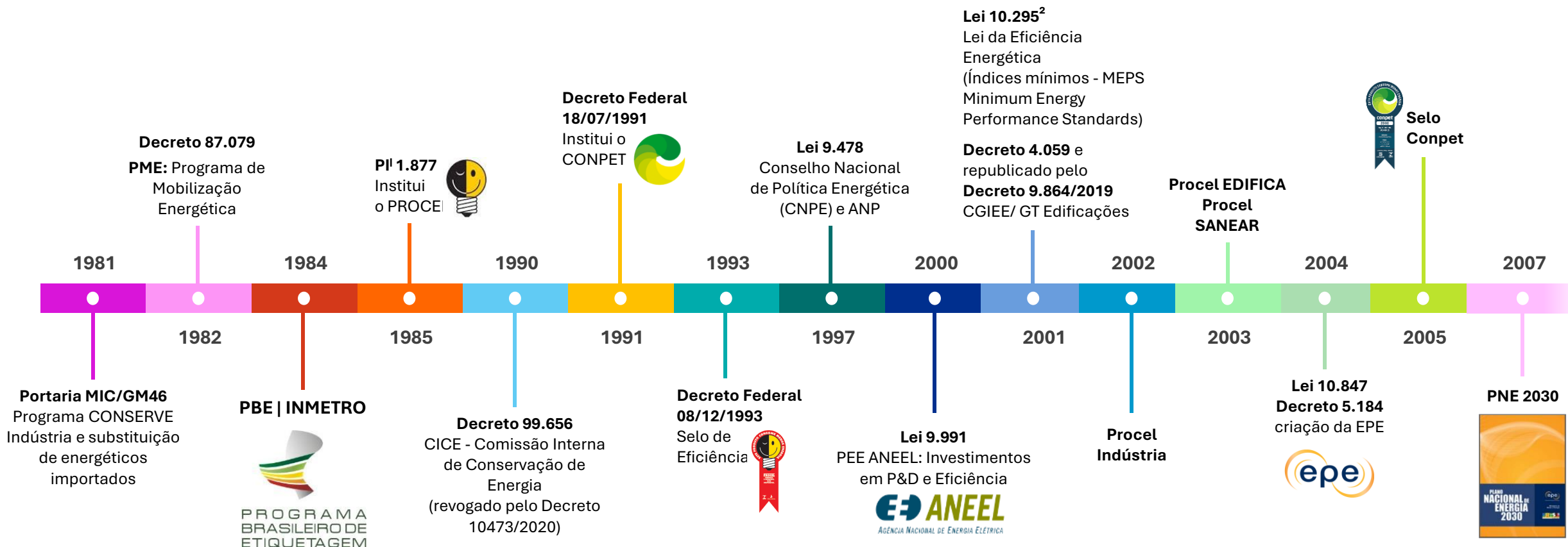
Introdução

Governança institucional da eficiência energética no Brasil



SNTEP: Secretaria Nacional de Transição Energética e Planejamento
SDIC: Secretaria de Desenvolvimento Industrial, Inovação, Comércio e Serviços
SPU: Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União
SNH: Secretaria Nacional de Habitação
SDUM: Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano e Metropolitano
SMU: Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana
SNASA: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

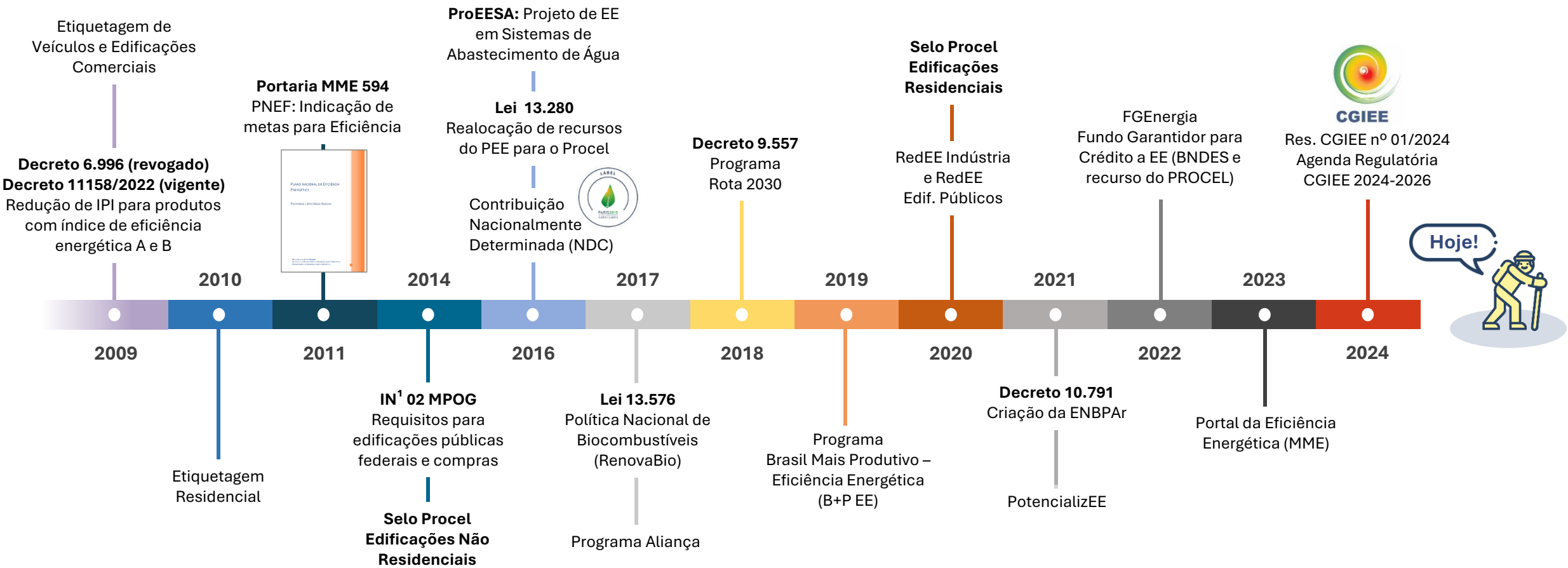
Linha do tempo das Políticas de Eficiência Energética...



Notas: (1) PI = Portaria Interministerial

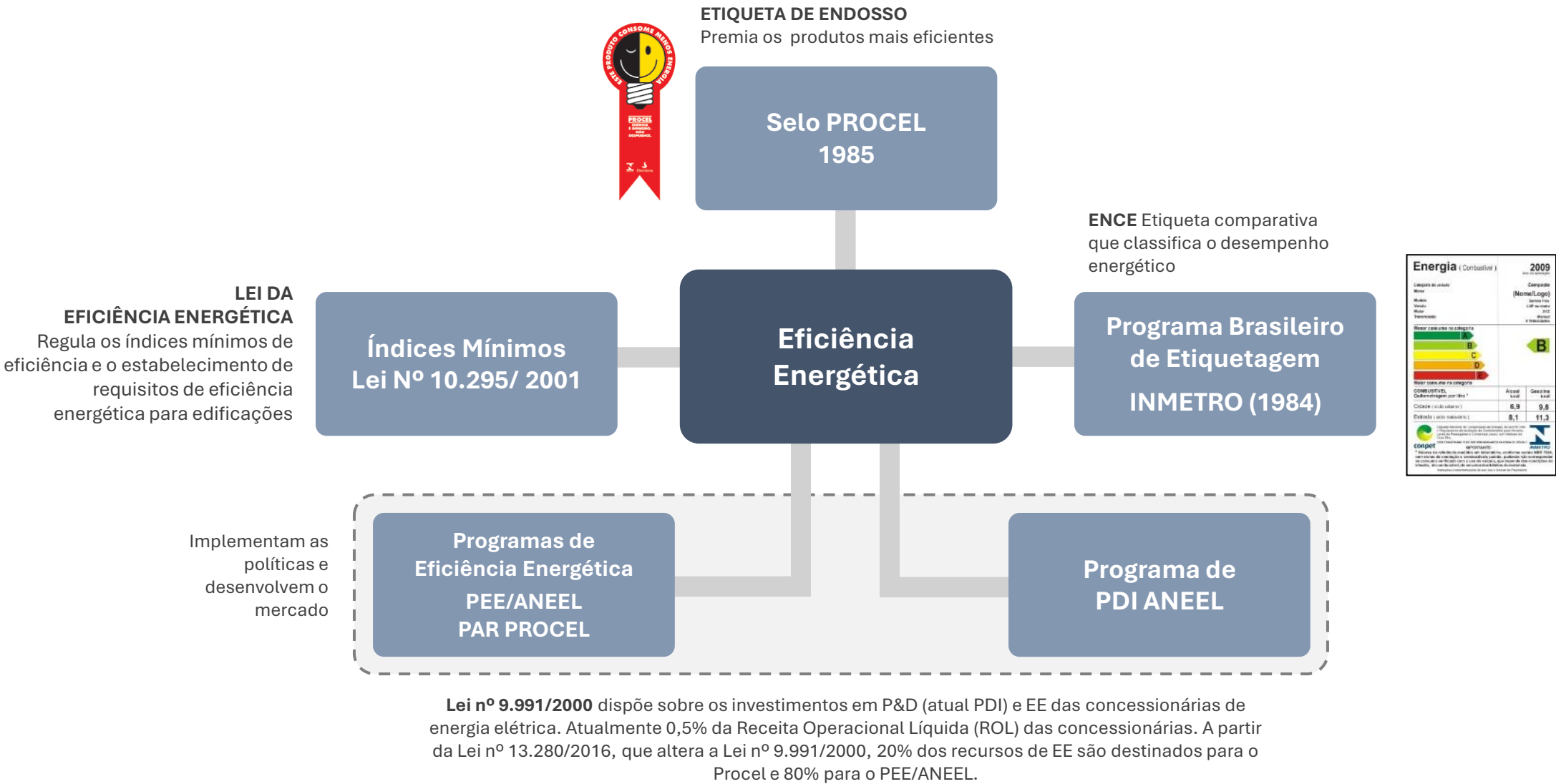
(2) Motores elétricos trifásicos, lâmpadas fluorescentes compactas, refrigeradores e congeladores, fogões e fornos a gás, condicionadores de ar, aquecedores de água a gás, lâmpadas a vapor de sódio metálico, lâmpadas incandescentes, transformadores de distribuição, ventiladores de teto.

... ao longo dos anos até os dias de hoje



Nota: (1) IN = Instrução Normativa

Visão da Integração das Políticas



Participação de renováveis na matriz

Historicamente, o Brasil se destaca por ser um país com um alto percentual de fontes renováveis de energia em sua oferta interna quando comparado ao resto do mundo. Nos últimos 20 anos, a participação das renováveis na matriz energética brasileira, manteve-se estável com valores superiores a 40%. As oscilações verificadas, entre 2011 e 2014, se devem à redução da participação das renováveis na matriz energética devido à queda da oferta hidráulica. A partir de 2015, as fontes renováveis retomam uma trajetória de crescimento com a expansão da oferta de derivados da cana, eólica e biodiesel, atingindo 49,1% em 2023 com a contribuição também da situação hidrológica favorável.

Figura 1: Comparação internacional da participação de fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE)

Fonte: EPE (2024b)

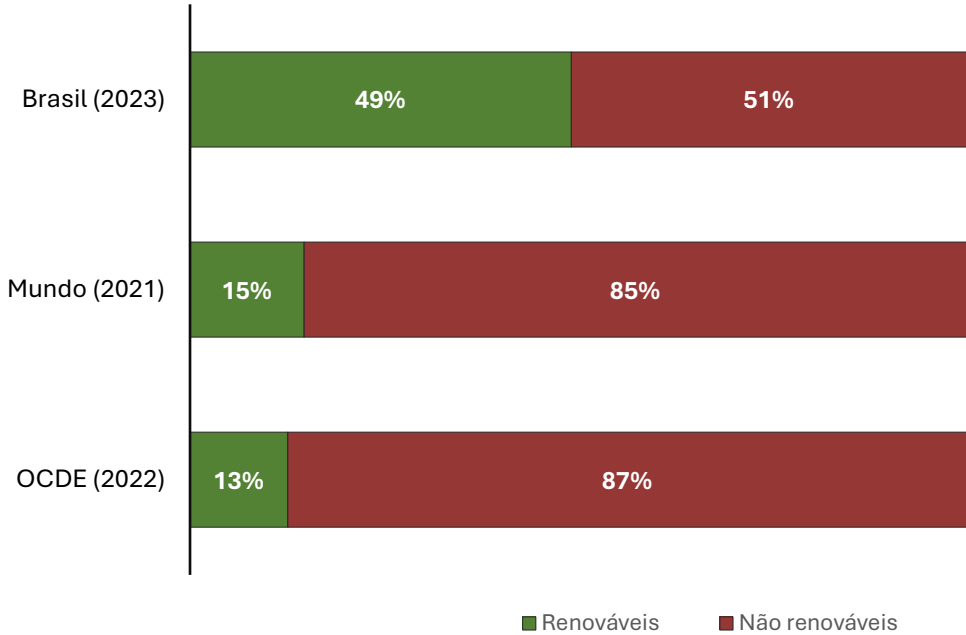
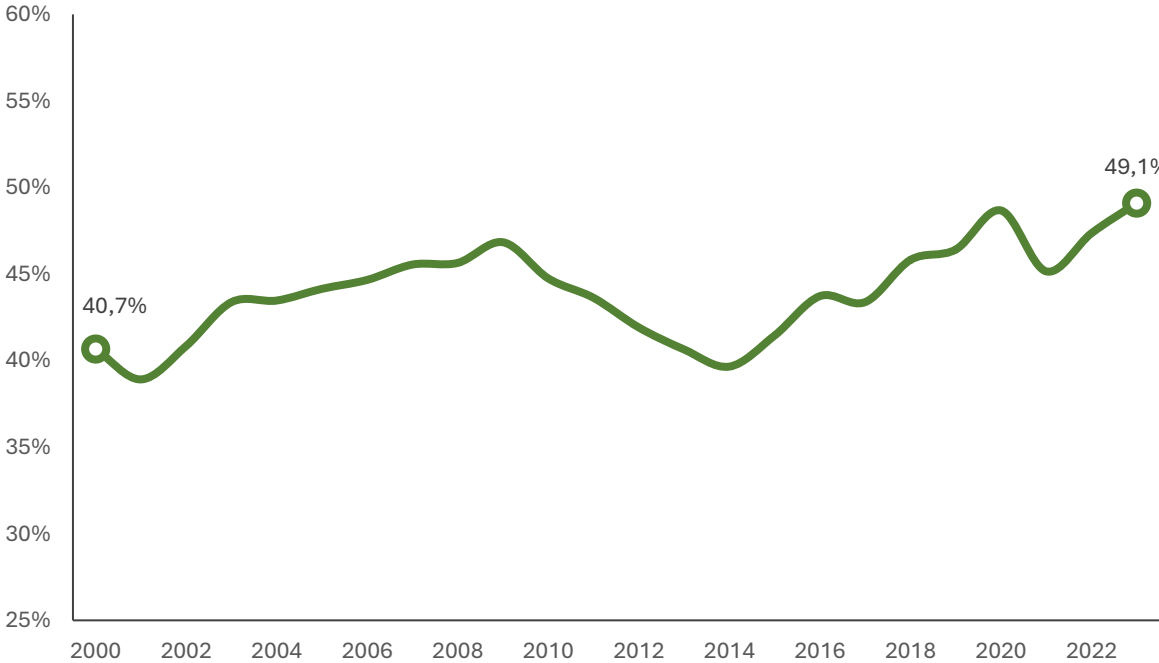


Figura 2: Evolução da participação de fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE)

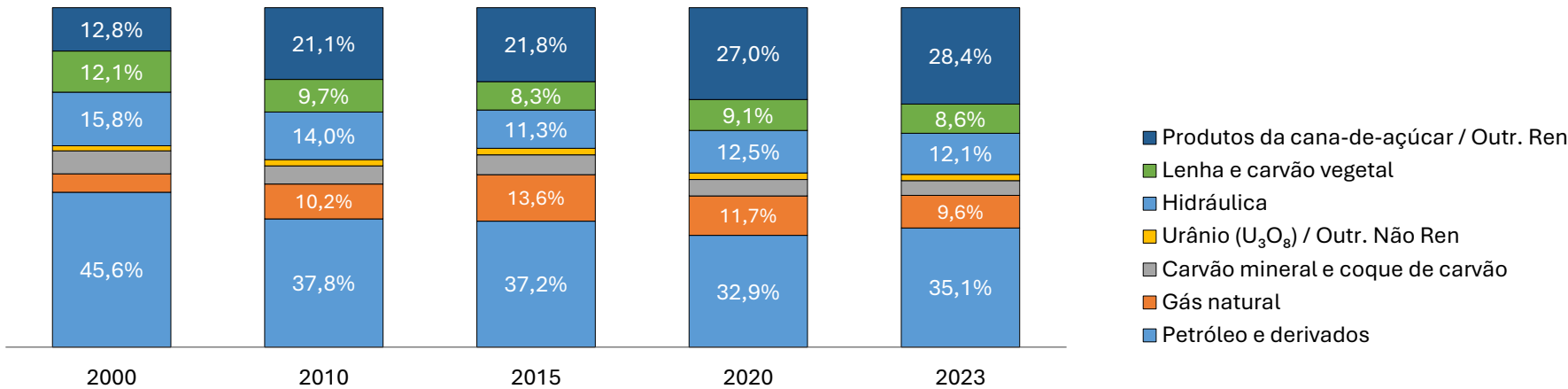
Fonte: EPE (2024b)



Evolução da Oferta Interna de Energia (OIE) por fonte

Pelo lado das fontes não renováveis, o petróleo e seus derivados seguem como as maiores fontes. O gás natural sofreu aumento de participação de 5,4% em 2000 para 9,6% em 2023, devido à sua utilização em termelétricas de base e extensão da malha dutoviária, o que possibilitou seu uso tanto nas indústrias como nas edificações residenciais, comerciais e públicas.

Figura 3: Oferta Interna de Energia (OIE) por fonte em anos selecionados
Fonte: EPE (2024a)



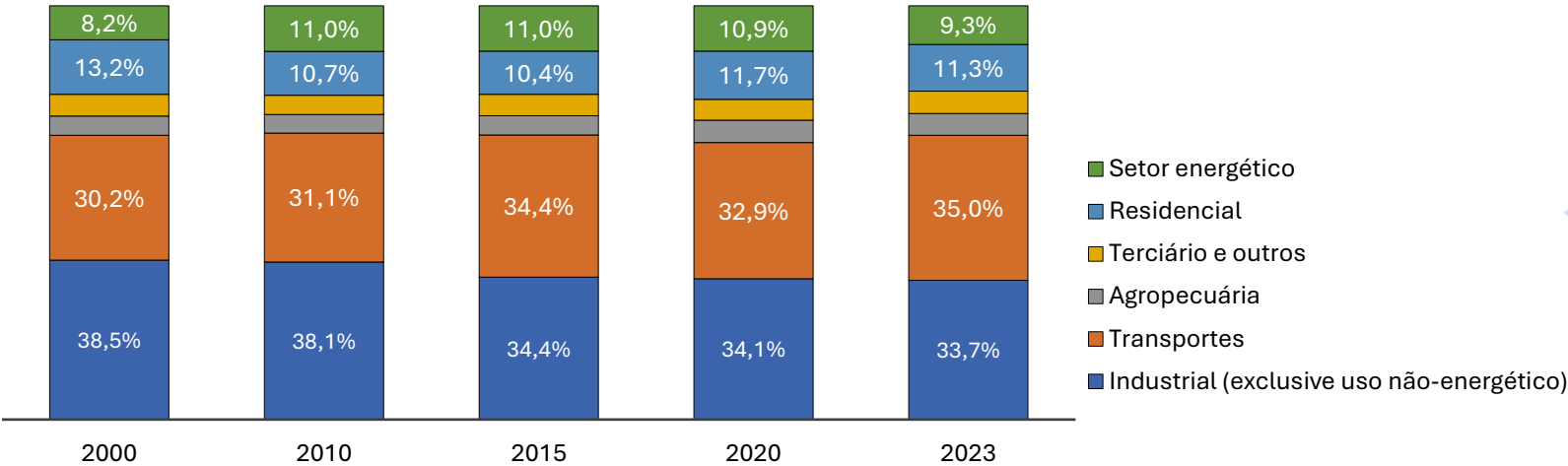
As fontes renováveis cresceram em ritmo mais acelerado devido à expansão do setor sucroalcooleiro e a forte penetração de outras renováveis, como as fontes eólica, solar, licor preto e biodiesel. A energia eólica apresentou participações crescentes na matriz energética, chegando a 2,6% da Oferta Interna de Energia em 2023. Já o licor preto, diretamente associada à indústria de celulose, contribuiu com 3,4% da OIE em 2023. O biodiesel tem sido favorecido pela política de adição deste combustível no diesel fóssil. Em 2023, o percentual de adição (em volume) foi arbitrado em 12% a partir do mês de abril daquele ano. O volume médio anual de adição do biocombustível atingiu 11,54% na composição do óleo diesel total em 2023.

Evolução do consumo energético por setor

O principal movimento observado neste período foi o recuo da participação da indústria em contraposição ao avanço do setor de transportes, o qual alcançou a marca de 35% de participação em 2023. O setor de transportes cresceu a uma taxa média de 3,2% a.a. (2000-2023), e de forma mais acentuada entre 2000 e 2015, com crescente participação do setor rodoviário. Em 2020, o setor foi impactado pela pandemia da covid-19, devido às restrições de locomoção, retomando nos anos subsequentes a sua trajetória de recuperação e sendo responsável por 36% do aumento da demanda energética nacional em 2023.

Figura 4: Consumo energético por setor em anos selecionados

Fonte: EPE (2024a)



Na indústria, os **segmentos que mais se destacaram** foram Papel e Celulose (3,5% a.a.), Açúcar (2,5% a.a.) e Cimento (2,5% a.a.). Cabe ressaltar que a produção de celulose e de açúcar são energointensivas e utilizam os coprodutos licor preto e bagaço de cana, respectivamente, que são renováveis.

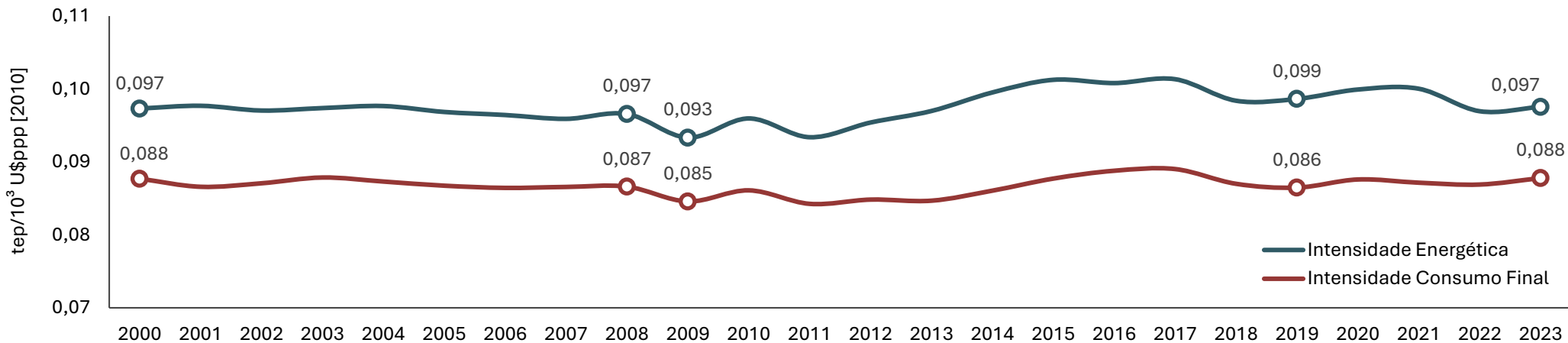
O segmento de Açúcar teve um aumento no consumo de energia de 20,7%, enquanto Química reduziu 7,8% e Ferroligas 7,3%. O setor energético é impulsionado pela produção de petróleo e etanol, que no período cresceram a taxas anuais de 4,5% e 4,7%. A produção de etanol, no entanto, caiu 0,5% entre 2020 e 2023.

Intensidade Energética

Entre os anos 2000 e 2008, a intensidade energética primária permaneceu estável em torno de 0,097 tep/10³U\$ppp[2010]. A intensidade final, da mesma forma, estabilizou-se em valores próximos de 0,087 tep/10³U\$ppp[2010]. Em 2009, os efeitos da crise internacional sobre a indústria contribuíram para a redução da intensidade energética primária para 0,093 tep/10³U\$ppp[2010]. Unidades mais ineficientes e com maiores intensidades foram desativadas.

Figura 5: Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE (2024b)



Entre os anos 2010 e 2023, as intensidades primária e final evoluíram às taxas de 0,13% e 0,15% ao ano, respectivamente, refletindo o crescimento da OIE acima do crescimento do PIB. Entre 2014 e 2023, a intensidade energética primária diminuiu ao ritmo de 0,22% a.a. A intensidade do consumo final, no mesmo período, apresentou crescimento à taxa de 0,22% a.a. A tendência de crescimento das intensidades energéticas pode estar associada ao crescimento da produção de energointensivos de baixo valor agregado na pauta produtiva, em relação aos demais produtos manufaturados.

Nota: Esclarecimentos sobre a Intensidade Energética disponíveis em

[Definições](#)

O Brasil tem investido em Eficiência Energética

Setores competitivos como a indústria dependem da eficiência energética no dia a dia dos seus processos produtivos, pois sem ela muitos negócios podem ser inviabilizados. Mudanças tecnológicas estão entre as principais fontes de criação de riqueza e crescimento econômico de longo prazo.

De acordo com a plataforma INOVA-E¹, entre 2013 e 2023, o Brasil investiu quase 6 bilhões de reais em pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D) em projetos de eficiência energética oriundos de investimentos públicos ou publicamente orientados². Desse montante, mais da metade foi oriunda do BNDES, enquanto a ANEEL e a Finep corresponderam a 14% e 16%, respectivamente.

Figura 6: Evolução dos investimentos de PD&D em Eficiência Energética

Fonte: EPE (2024c)

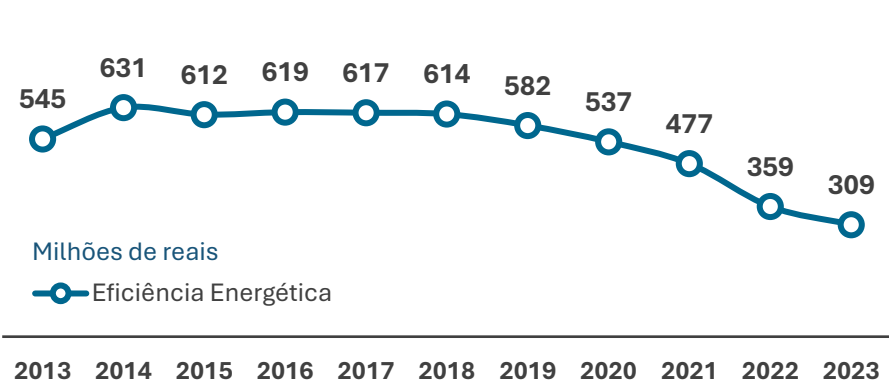
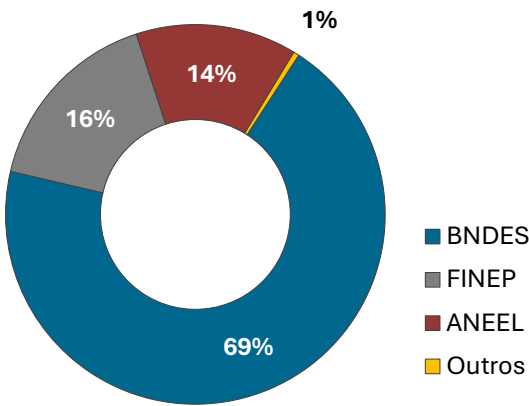


Figura 7: Origem dos recursos (%) de PD&D em Eficiência Energética

Fonte: EPE (2024c)



A versão anterior do Atlas apresentava valores inferiores na curva de evolução de investimentos de PD&D em Eficiência Energética, os quais somavam quase 5 bilhões de reais ao longo da série histórica até 2022.

Aprimoramentos metodológicos na plataforma INOVA-E permitiram a revisão dos valores do histórico de financiamento, conforme apresentado nessa versão.

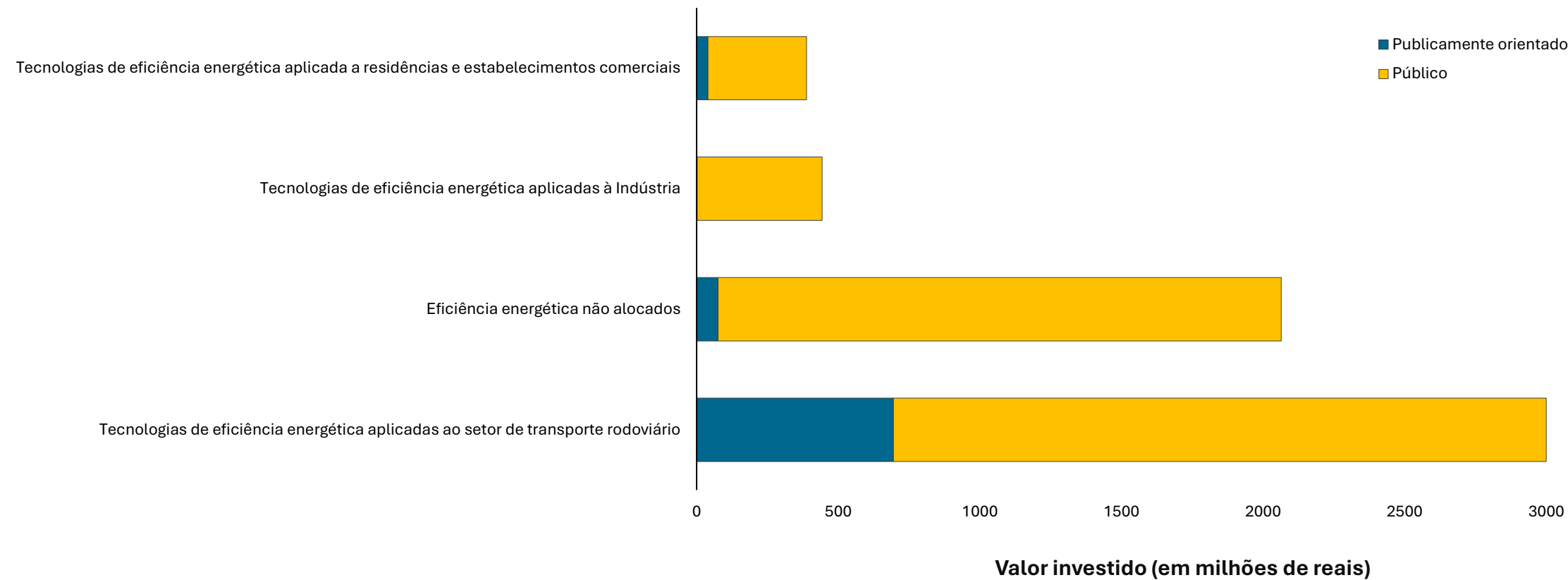


Dados da INOVA-E apontam uma média anual de investimento de cerca de 536 milhões de reais ao longo de onze anos de série histórica, considerando recursos públicos e publicamente orientados em projetos de P&D no Brasil.

Nota: Para informações sobre o INOVA-E e significado das expressões “investimentos públicos” ou “publicamente orientados” acesse [Definições](#)

Investimentos de PD&D em Eficiência Energética

Figura 8: Natureza e modalidade dos investimentos, em milhões de reais - 2013 a 2023
Fonte: EPE (2024c)



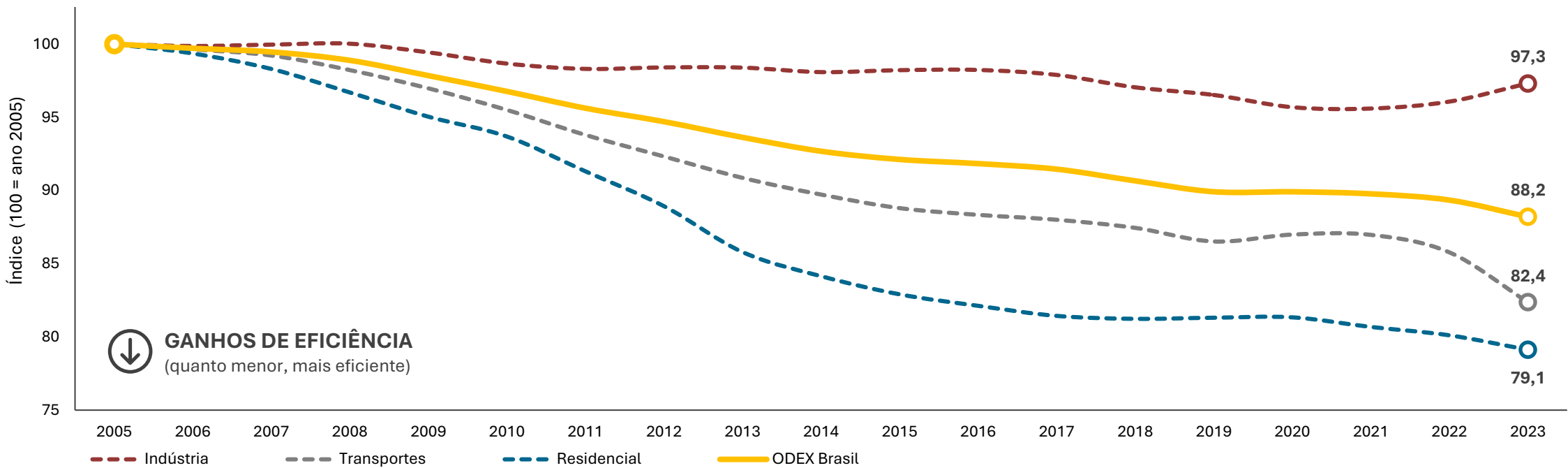
Nota: Os investimentos apresentados na figura foram adaptados da ferramenta Inova-e, que adota a classificação da Agência Internacional de Energia (IEA). Como mudança em relação à versão anterior deste Atlas, as categorias "Outras tecnologias de eficiência energética" e "Outras eficiência energética não alocadas" foram agregadas em "Eficiência energética não alocados".

ODEX

Neste relatório foi fixado 2005 como ano base (100), abrangendo os setores industrial, residencial, transportes e o Brasil de forma global. No período, todos os setores analisados apresentaram ganhos de eficiência, sendo os maiores nos setores residencial e de transportes, com 20,9% e 17,6%, respectivamente. O ODEX apurado em 2023 mostra que o país, neste ano, encontra-se 11,8% mais eficiente energeticamente do que em relação a 2005.

Figura 9: ODEX Brasil

Fonte: Elaborado por EPE



Nota: Esclarecimentos sobre alterações no histórico do ODEX disponíveis em [Definições](#)

Edificações

Evolução do consumo das edificações: setores residencial, comercial e público

A principal fonte de energia utilizada nas edificações é a eletricidade¹. As residências em 2023, utilizaram 48% de eletricidade, 21% de GLP e 26% de lenha; já os edifícios comerciais e públicos² utilizam majoritariamente a eletricidade com 73% de participação.

Figura 10: Energia total demandada pelas edificações

Fonte: EPE (2024a)

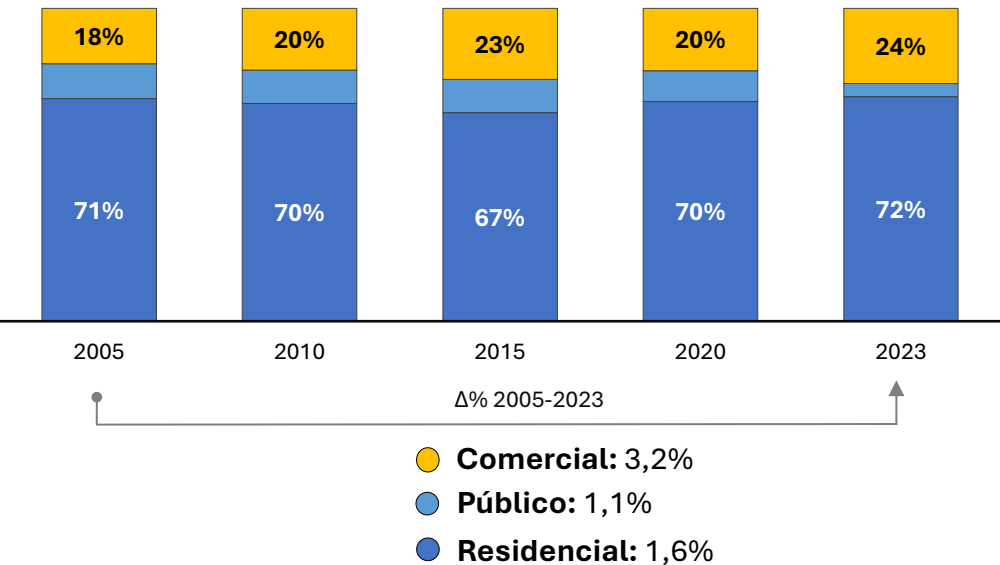
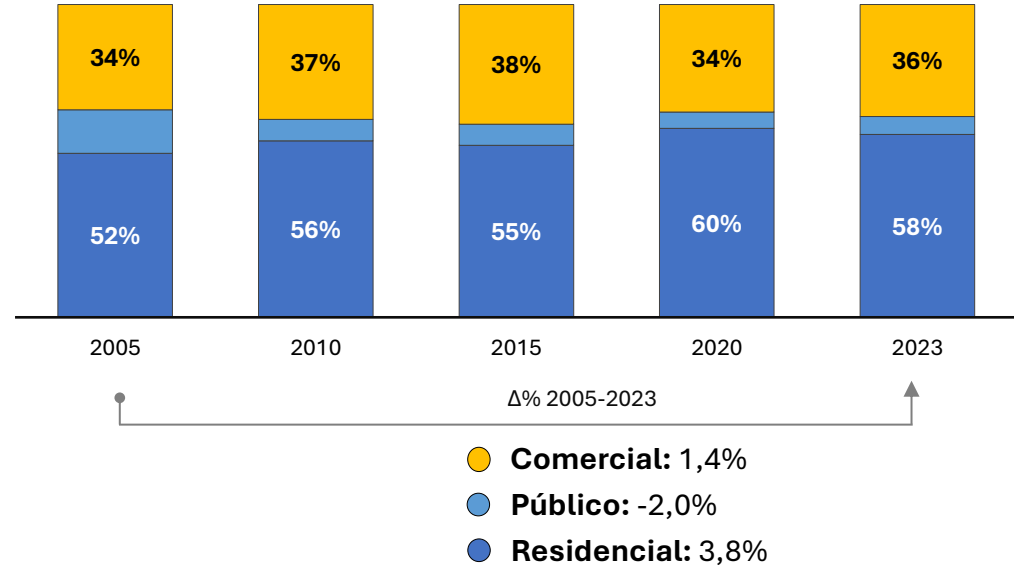


Figura 11: Eletricidade demandada pelas edificações

Fonte: EPE (2024a)



As edificações representaram quase a metade do consumo de eletricidade do País em 2023, o consumo atingiu 290 TWh, o que representa 47% da eletricidade do país. Considerando a importante participação das edificações no consumo de eletricidade, pode se considerar esse segmento com o maior potencial de eficiência elétrica.

Nota:

^[1] De acordo com a série histórica, a eletricidade é a principal fonte desde 2008.

^[2] O setor público contabilizado nas edificações não inclui Iluminação Pública e Saneamento.

Evolução da Etiketagem em edifícios – PBE Edifica

A Etiketagem em edifícios classifica a eficiência energética entre os valores de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). São contempladas as Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, e Residenciais. Existem dois tipos de etiquetas que podem ser aplicadas: ao projeto e ao edifício construído. Outra política complementar é a do Selo Procel Edificações, estabelecido em novembro de 2014, esse estimula e premia as Edificações com Etiqueta A. Essas políticas são instrumentos de adesão voluntária.

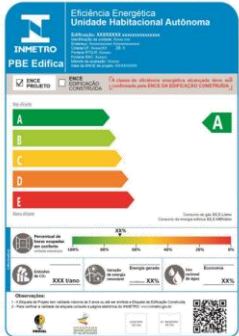
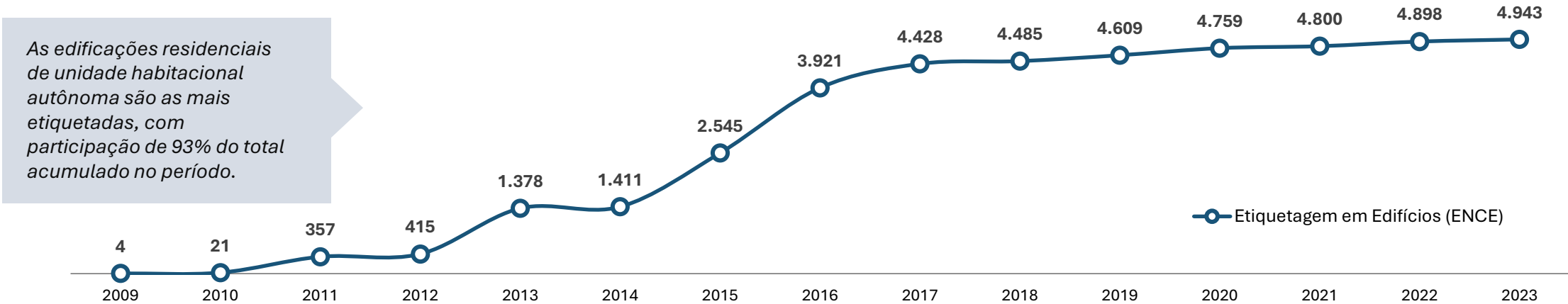


Figura 12: Evolução da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia em Edifícios – ENCE (quantidade de etiquetas emitidas)
Fonte: INMETRO (2023)



A etiquetagem em edifícios é um instrumento de adesão voluntário, assim como o Selo Procel em Edificações, que visa estimular o mercado na aquisição e utilização de imóveis mais eficientes. Nos 10 anos de existência do Selo Procel, foram emitidos 54 selos ao todo de projetos e construção. Em função da importância do setor de edificações no Brasil, com cerca de 50% do consumo de energia elétrica, essas políticas possuem uma grande relevância para a eficiência energética e o conforto ambiental.

Nota: PBE é o Programa Brasileiro de Etiquetagem.
PBE Edificações: <https://pbeedifica.com.br/>

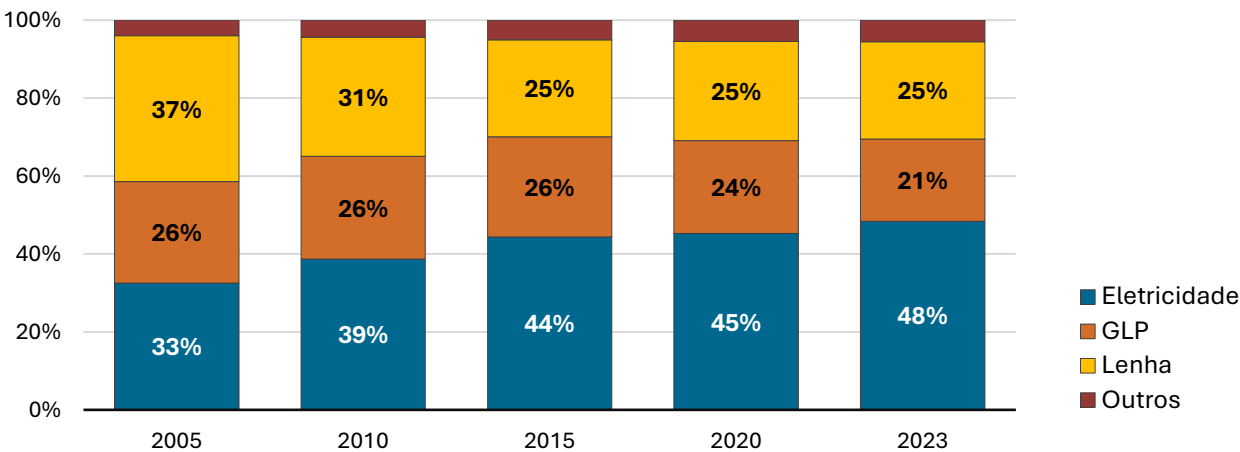
Setor Residencial

Evolução da participação energética das fontes na demanda residencial de energia

A eletricidade continua sendo a fonte de energia mais utilizada nos domicílios brasileiros, com uma evolução da participação energética de cerca de 15,9 p.p. de 2005 a 2023. Ela possui uso disseminado nas residências, podendo ser utilizada na climatização de ambientes, conservação, cocção e preparação de alimentos, aquecimento de água, iluminação, lavanderia, entretenimento, comunicações, beleza pessoal e em outros equipamentos elétricos e eletrônicos.

Figura 13: Evolução da participação energética das fontes na demanda residencial de energia

Fonte: EPE (2024a)



O Gás Liquefeito do Petróleo (GLP) mantém uma participação intermediária (21% em 2023), sendo o seu uso principal associado à cocção de alimentos.

O Gás Natural (GN) está incluído em Outros (vide gráfico) e possui utilização ligada à cocção de alimentos e aquecimento de água, principalmente nas áreas urbanas do país com infraestrutura de distribuição.

A energia solar térmica também está agregada em Outros e tem uso relacionado ao aquecimento de água.

Percebe-se uma redução do consumo da lenha para a cocção de alimentos de 2005 a 2015, em função da melhoria das condições econômicas das famílias. Desde o ano de 2015, a participação energética da lenha se mantém em patamares em torno de 25%.

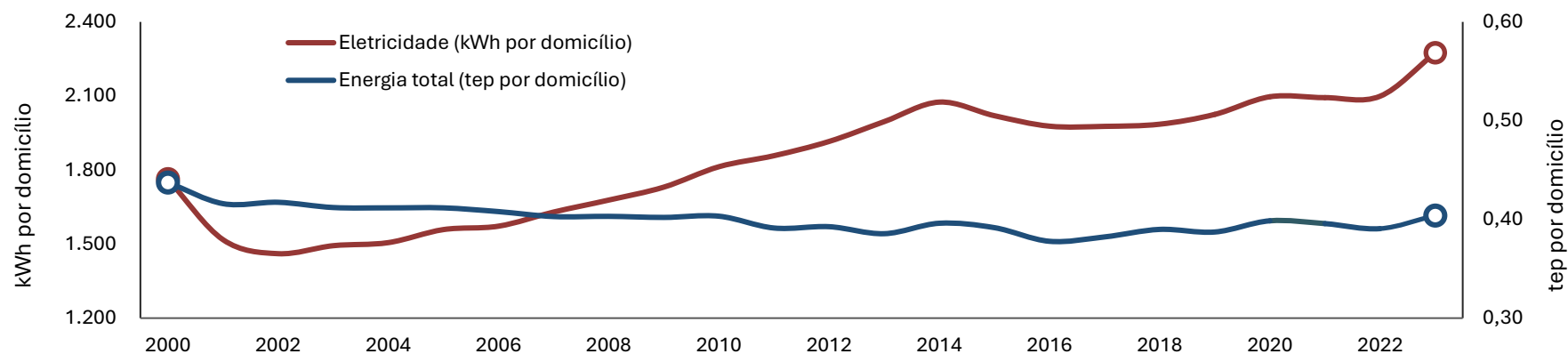
Nota: a notação “p.p.” refere-se a pontos percentuais.

Evolução da demanda residencial elétrica e energética

Enquanto o consumo de energia por domicílio diminuiu 7,6% (queda de 0,3% a.a.) de 2000 a 2023, a demanda de eletricidade por domicílio cresceu 29% (avanço de 1,1% a.a.) no mesmo horizonte. A demanda de eletricidade teve uma queda brusca em 2001 devido ao racionamento, que estimulou uma mudança de hábitos e promoveu medidas de eficiência energética nas residências brasileiras. Já o significativo aumento do consumo de eletricidade em 2023, pode ser explicado pelo uso mais intenso de ventiladores e aparelhos de ar-condicionado devido à onda de calor provocada nos últimos meses do ano pela chegada do El Niño.

Figura 14: Evolução da demanda residencial elétrica e energética

Fonte: Elaborado por EPE



A demanda de eletricidade por domicílio aumentou de 2000 a 2023, em razão do progresso econômico das famílias, do avanço do crédito para compra de eletrodomésticos, de políticas governamentais de expansão da rede geral, sobretudo em áreas rurais e de programas habitacionais em conjunto com estímulos para reduzir o déficit habitacional brasileiro. Já o consumo de energia total por domicílio apresentou redução média anual de 0,3% a.a. ao longo do período. Isso se deveu em função da redução da participação de fontes menos eficientes em termos energéticos (biomassas tradicionais – lenha e carvão vegetal) e a consequente substituição por fontes mais modernas (GLP, GN e eletricidade). É importante ainda sinalizar que o consumo de energia por domicílio inclui o consumo de energia solar térmica para aquecimento de água para banho, que vem aumentando consideravelmente desde 2005.

Efeitos das políticas de eficiência energética nos domicílios

As políticas de eficiência energética podem incluir Índices mínimos de eficiência energética (ou índices máximos de consumo), Etiquetagem comparativa (compulsória ou voluntária) e Selos de endosso.

Essas iniciativas são executadas no país desde 1984, com a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO, que passou a elaborar etiquetas comparativas do desempenho energético de equipamentos, propiciando uma educação ao consumidor e estimulando a fabricação de produtos com maior nível de eficiência pela indústria.

Em 1993, foram criados os selos PROCEL (para equipamentos elétricos) e CONPET (para produtos que utilizam combustíveis derivados de petróleo e gás natural) a fim de valorizar os dispositivos mais eficientes em termos energéticos.

Existem ações complementares que buscam reduzir a demanda de energia nas residências, incluindo normas de desempenho (ABNT NBR N0 15.220 e N0 15.575), padrões de etiquetagem (PBE Edifica) e selos de endosso (Procel Edifica) de edificações, além do estímulo ao uso de sistemas alternativos de geração de energia em habitações de interesse social (HIS).

Estima-se que o consumo médio anual por aparelho de **ar condicionado** tenha sido reduzido em média 17,9% entre 2005 e 2023 (-1,0% a.a.), em consequência das regulamentações de índices mínimos de eficiência energética iniciadas pela PI MME/MCT/MDIC nº 364/2007 e que foi revisada pela PI nº 323/2011, PI nº 2/2018 e PI nº 234/2020.

Já no caso das **geladeiras**, estima-se que o consumo médio anual por equipamento tenha sido reduzido em média 12,4% entre 2005 e 2023 (-0,7% a.a.), em consequência das regulamentações de índices mínimos de eficiência energética iniciadas em 2007 pela PI MME/MCTI/MDIC nº 362/2007, e que foi revisada pelas PI nº 326/ 2011, PI nº 01/2018 e a PI nº 332/2021.

Dando prosseguimento às políticas iniciadas a partir da Lei Nº 10.295/2001, conhecida como Lei de Eficiência Energética, considera-se importante que as regulamentações de índices mínimos de eficiência energética possam ser estendidas para outros eletrodomésticos de uso residencial, priorizando aqueles com maior consumo médio por equipamento.

Penetração de Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) nas residências

A conversão da energia solar em energia térmica se baseia na absorção da radiação solar e na sua transferência, sob forma de calor, para um elemento que fornecerá determinado serviço energético.

Os sistemas de aquecimento solar de água são compostos pelos coletores solares e pelo reservatório térmico, local onde fica armazenada a água aquecida. Os SAS possuem equipamentos complementares de aquecimento, que podem utilizar energia elétrica ou gás, e que são ativados em períodos de baixa intensidade solar, como as noites e os dias nublados. Os coletores e reservatórios são normalizados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO.

Ao passo que, para os consumidores, a utilização de SAS pode reduzir o gasto total com energia, para o setor elétrico, o seu uso pode diminuir o consumo na rede, a demanda de ponta em períodos críticos e as perdas técnicas no sistema, contribuindo para postergar novos investimentos em geração, transmissão e distribuição. Finalmente, do ponto de vista ambiental, o uso de SAS pode ajudar para a redução de emissões de GEE.

A energia solar térmica residencial é destinada majoritariamente para o aquecimento de água em banhos e piscinas, que podem estar localizadas dentro das habitações ou em áreas de lazer de edifícios. Estimou-se que o consumo evitado de energia nas residências do país foi de 856 mil tep em 2023 pelo uso de SAS.

Figura 15: Penetração de Sistemas de Aquecimento Solar (SAS)

Fonte: Elaborado por EPE

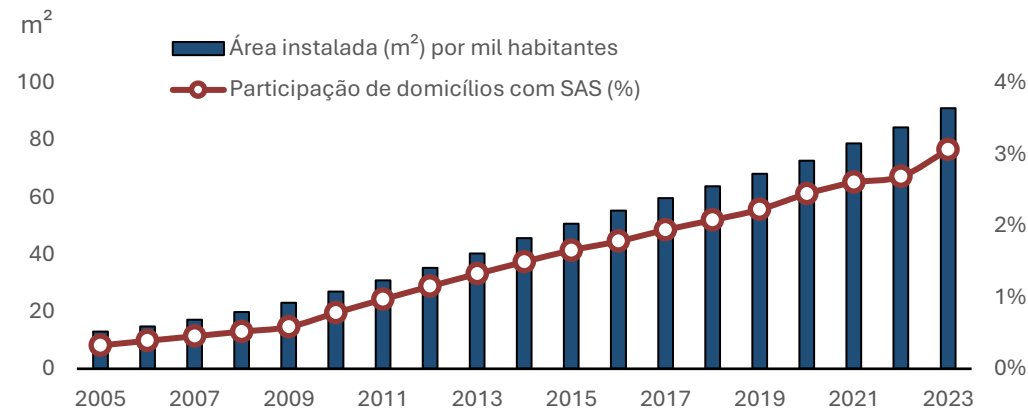
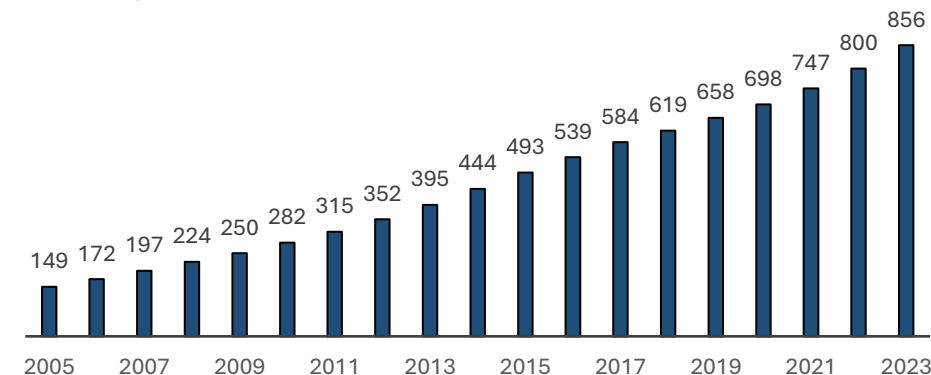


Figura 16: Consumo Evitado de Energia Residencial (mil tep)

Fonte: Elaborado por EPE



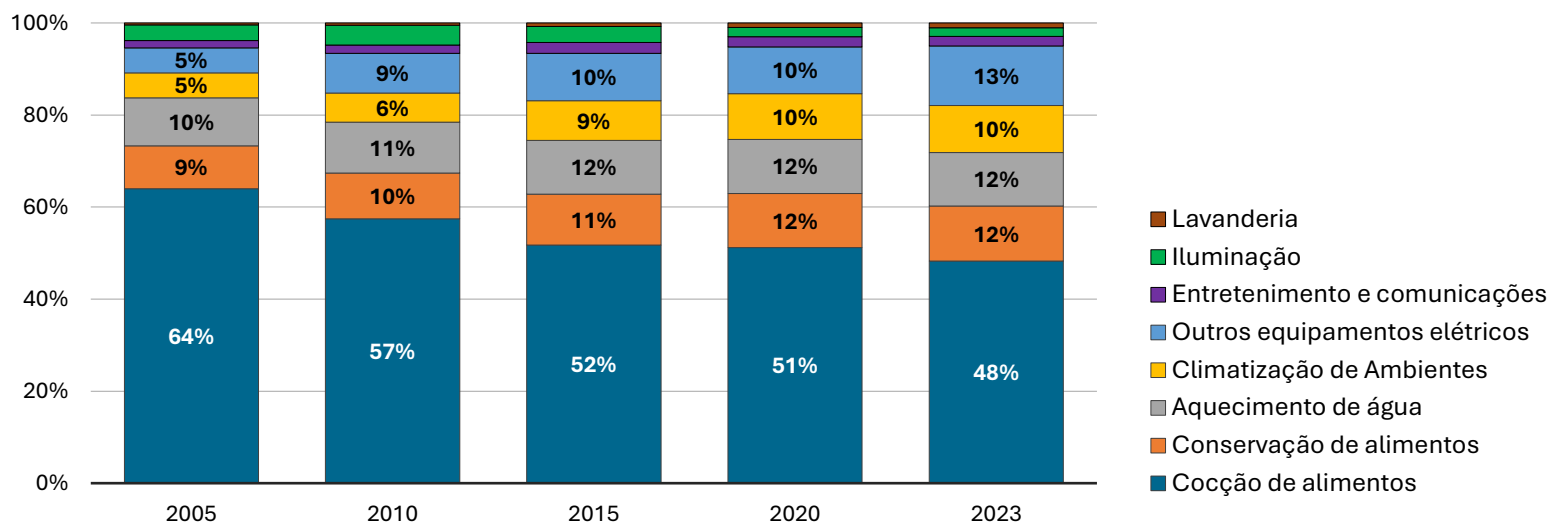
Evolução da participação energética dos usos finais na demanda residencial de energia

O principal uso final de energia nas residências brasileiras é a cocção de alimentos, seguido pela conservação de alimentos e pelo aquecimento de água. A redução da participação energética da cocção de alimentos no período entre 2005 e 2023 pode ser explicada pelo processo de transição energética das famílias mais desfavorecidas que substituem o consumo de biomassas tradicionais por combustíveis mais modernos e eficientes à medida que progridem economicamente. Já a iluminação vem perdendo participação ao longo do tempo em função do uso cada vez mais disseminado de lâmpadas mais eficientes, sobretudo as fluorescentes compactas e as de tecnologia LED.

O aumento da participação de equipamentos elétricos e eletrônicos pode ser explicado pelo aumento das suas posses pelas famílias, que acompanha uma transição tecnológica e de costumes.

Figura 17: Evolução da participação energética dos usos finais na demanda residencial de energia

Fonte: Elaborado por EPE



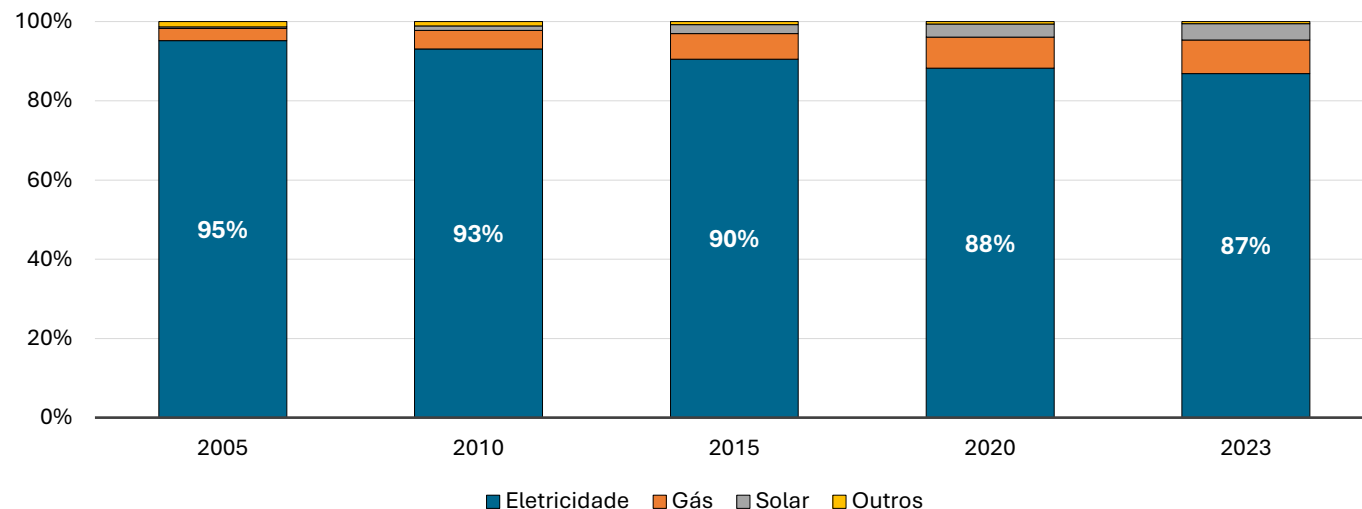
A climatização de ambientes vem ganhando participação em razão do aumento do uso de condicionadores de ar à medida que as famílias vão tendo condições financeiras para realizar a compra, substituindo ventiladores e circuladores de ar, relativamente mais baratos e que consomem menos energia. A indução também pode acontecer pela presença de dias mais quentes na média ao longo dos anos.

Evolução do percentual de domicílios que aquecem água por fonte de energia

A eletricidade é a fonte de energia mais utilizada pelas residências brasileiras para aquecimento de água através dos chuveiros elétricos. Estimou-se que a posse média de chuveiros elétricos no país foi de 0,71 equipamento/domicílio em 2023 e a participação dos domicílios que utilizam energia elétrica no aquecimento de água atingiu 86,9% no ano. Ademais, a participação dos domicílios que utilizam energia solar térmica para aquecimento de água chegou a 4,1% do total das habitações que aquecem água em 2023.

Figura 18: Evolução do percentual de domicílios que aquecem água por fonte de energia

Fonte: Elaborado por EPE



Os aquecedores a gás, podendo ser instantâneos ou de acumulação, são uma alternativa aos chuveiros elétricos, principalmente em áreas urbanas com infraestrutura de distribuição de gás. Estimou-se que a participação dos domicílios que utilizam gás no aquecimento de água alcançou 8,4% em 2023.

Esses equipamentos são normalizados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO. Além disso, existem legislações de índices mínimos de aquecedores a gás, iniciadas pela publicação em 2008 da Portaria Interministerial MME/MCT/MDIC Nº 298 e que foi revisada em 2011 pela Portaria Interministerial Nº 324.

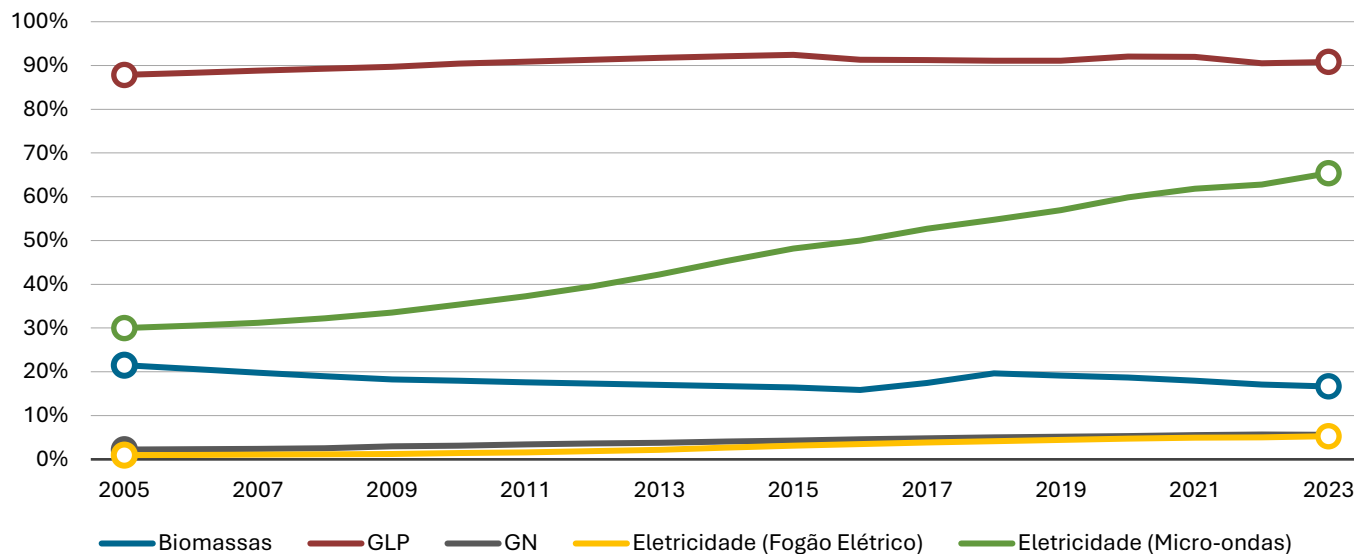
Existem regiões do país que são muito quentes, como o Norte e o Nordeste, o que pode contribuir para os baixos percentuais de domicílios que aquecem água para banho, como ilustra a Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos - PPH 2019 (PROCEL/ELETROBRAS). Cálculos da EPE utilizando os dados coletados nesta pesquisa estimam que em média cerca de 35% dos domicílios brasileiros não aqueciam água para banho no país em 2019, sendo que no Norte (94%) e no Nordeste (88%) essas estatísticas foram muito maiores.

Evolução do percentual de domicílios que cozinham alimentos por fonte de energia

O GLP consegue ter uma capilaridade grande no Brasil, atingindo 91% dos domicílios nacionais em 2023. A utilização do gás natural é ainda pequena (5,6% das habitações nacionais), restrita basicamente às áreas urbanas de cidades com infraestrutura de distribuição.

Figura 19: Evolução do percentual de domicílios que cozinham alimentos por fonte em relação ao total de domicílios nacionais

Fonte: Elaborado por EPE



O uso da eletricidade na preparação de alimentos vem crescendo ao longo do tempo, principalmente devido ao aumento da posse de micro-ondas (65% em 2023).

Com a evolução da tecnologia e a diminuição de custo, aumentam as possibilidades das pessoas adquirirem esses tipos de aparelhos elétricos para uso doméstico, pelo fato de serem práticos e gerarem bons resultados. Incluem-se nesse conjunto de equipamentos, **micro-ondas, fornos e fogões elétricos, sanduicheiras, grills, torradeiras, fritadeiras elétricas, panelas elétricas**, entre outros dispositivos.

A participação das biomassas tradicionais (lenha e carvão vegetal) para a cocção de alimentos nas habitações do país caiu entre 2005 e 2015 em função do progresso da situação econômica das famílias brasileiras mais desfavorecidas, mas apresentou um movimento de reversão de 2015 a 2020, em razão da piora do quadro econômico, com posterior redução nos anos seguintes até 2023.

Eletricidade – usos finais, posse e consumo médio anual por equipamento

Figura 20: Posse e consumo médio anual por equipamento

Fonte: Elaborado por EPE

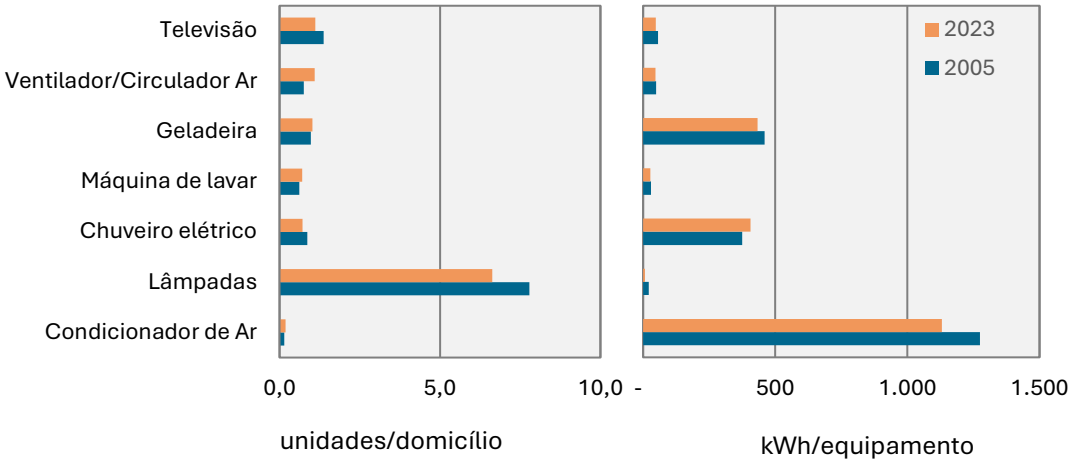
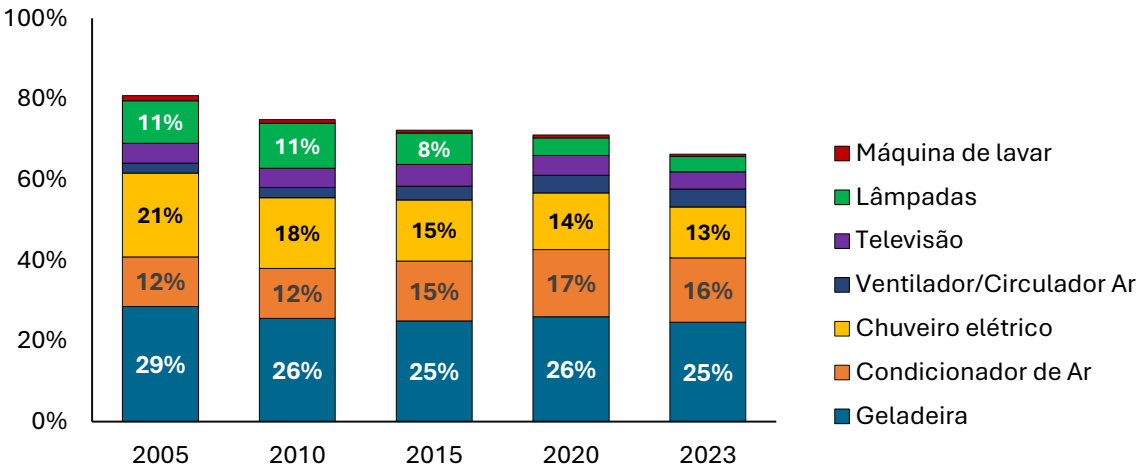


Figura 21: Equipamentos no consumo residencial de energia elétrica

Fonte: Elaborado por EPE



A conservação de alimentos é o uso final com maior consumo por domicílio do país, representando em média 25% do consumo residencial de eletricidade anual. Isso se explica pelo fato de as geladeiras estarem em praticamente todas as residências brasileiras, ficarem ligadas às 24 horas de todos os dias do ano e terem um consumo específico significativo.

Apesar da posse baixa de 0,18 equipamento/domicílio dos condicionadores de ar em 2023, eles possuem o maior consumo médio por aparelho, o que resulta na segunda posição entre os mais eletrointensivos em 2023 (cerca de 16% do total do consumo residencial no ano). Ventiladores e Circuladores de Ar possuem uma posse um pouco maior que 1 equipamento/domicílio, sendo uma solução de menor custo para a climatização ambiental.

A posse de chuveiros elétricos caiu entre 2005 e 2023. Apesar de o consumo médio anual por equipamento ter aumentado devido à aquisição de chuveiros de maior potência, a participação desse equipamento no consumo residencial de eletricidade anual reduziu significativamente desde 2005, chegando a 13% em 2023.

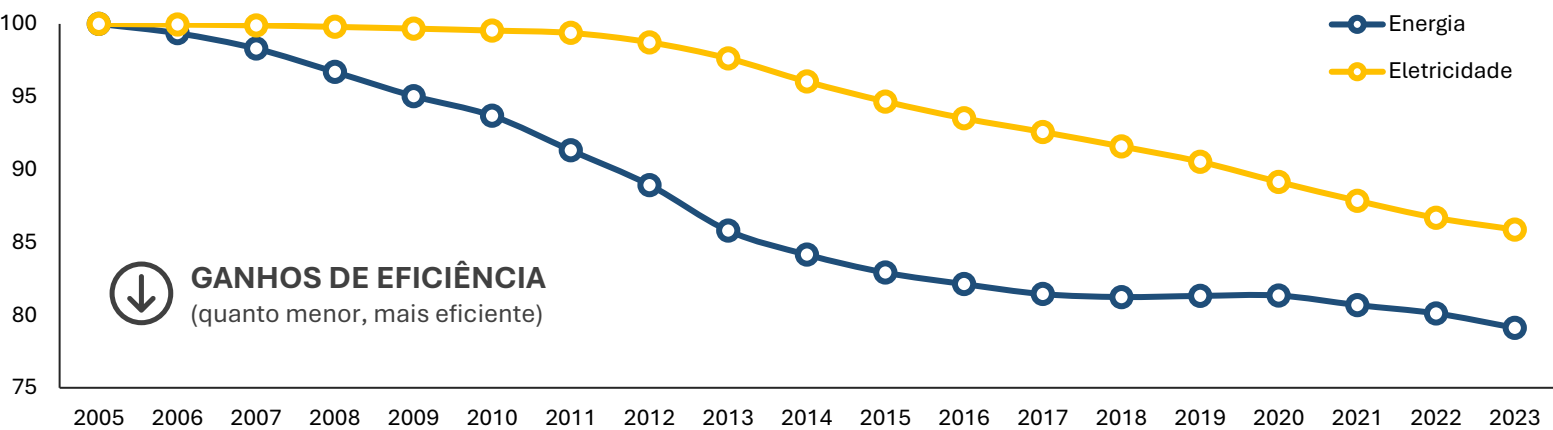
A penetração de equipamentos mais eficientes, em substituição aos mais antigos, tende a reduzir o consumo médio do estoque existente no país.

ODEX Residencial

ODEX é um indicador utilizado para avaliar o ganho de eficiência energética em um período. Esta medida para as residências agrega a tendência de consumo dos diferentes usos finais (no caso energético), ou os principais equipamentos elétricos (no caso elétrico), com base em seus pesos no consumo total.

Figura 22: Evolução do ODEX residencial calculado para energia total e eletricidade

Fonte: Elaborado por EPE



Tendência de eficiência energética no setor residencial brasileiro entre 2005 e 2023.

Enquanto o ODEX calculado para eletricidade assinalou queda de 14,1% (0,8% a.a.) entre 2005 e 2023, a retração do ODEX para a energia foi de 20,9% (1,2% a.a.). Observa-se, que nos últimos anos, o declínio do indicador é mais significativa para a energia elétrica, sugerindo a importância dessa fonte na conservação de energia residencial no país.

Para a eletricidade, observa-se uma redução do consumo específico médio do estoque nacional de equipamentos, em função da primeira compra ou substituição de aparelhos obsoletos ou em final de vida útil por aparelhos mais eficientes. Por sua vez, ao considerar as demais fontes de energia, é possível observar que houve uma estabilização do ODEX entre 2017 e 2020 que pode ser explicada por uma ligeira intensificação do uso de biomassa para cocção devido ao aumento das restrições orçamentárias e aumento do peso do GLP nas despesas familiares, principalmente para as famílias de baixa renda.

Nota. A metodologia do ODEX Residencial foi atualizada de forma a isolar o efeito posse e uso do consumo específico dos equipamentos e, consequentemente, destacar os ganhos de eficiência energética por equipamentos. Os equipamentos considerados no cálculo do ODEX elétrico são lâmpadas, geladeiras, máquina de lavar, TV, chuveiro elétrico, ar condicionado e ventiladores. Já no ODEX energético, além do consumo energético dos equipamentos elétricos considerados no ODEX elétrico, são considerados também o consumo das diferentes fontes energéticas para aquecimento de água e cocção de alimentos.

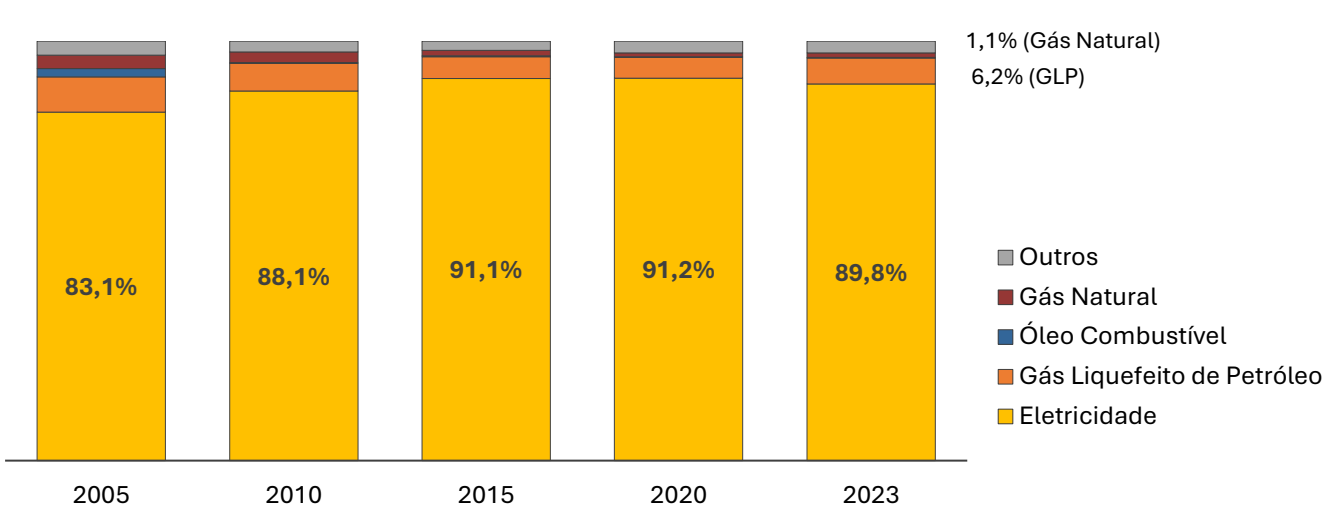
Setor de Serviços (comercial e serviços públicos)

Panorama: evolução do consumo final energético, por fonte, no setor de serviços¹

A eletricidade é a fonte preponderante de consumo final de energia no setor com 90% de participação, o GLP (6,2%) e o gás natural (1,1%). Cabe ressaltar que os dados de consumo final não incluem a utilização do gás natural destinada à geração de eletricidade, segundo a metodologia do Balanço Energético Nacional (BEN).

Figura 23: Consumo final energético por fonte nos serviços

Fonte: EPE (2024a)



A eletricidade é a fonte de consumo final mais importante do setor. Pode estar associada a diversos fatores como a disponibilidade da eletricidade, o aumento da posse de equipamentos elétricos nos estabelecimentos, a automação dos processos e equipamentos, a substituição de equipamentos de uso de GLP e gás natural pela eletricidade, como por exemplo em fornos e fogões, entre outros fatores.

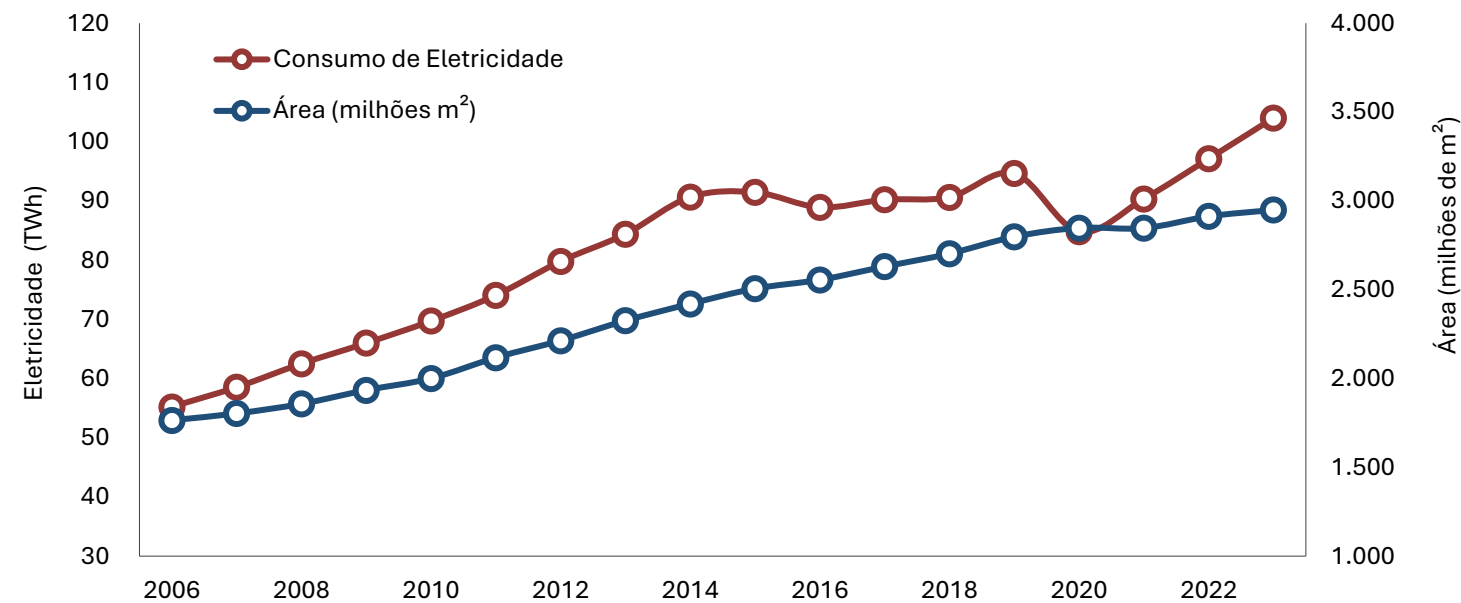
A eletricidade é a principal fonte nesse setor, e apresentou um crescimento médio anual de 3% no período (2005-2023). A eletricidade advinda de fonte solar fotovoltaica cresceu 13,1% e conta com uma participação de 1,3% no consumo de energia do setor de serviços.

^[1] Setores comercial e público conforme a classificação do Balanço Energético Nacional

Análise: Setor Comercial

Em 2023, o consumo de eletricidade do setor comercial teve um aumento de 7%, quando comparado ao ano anterior, já a área construída obteve um aumento de 1,2%. Analisando o período de 2006-2023, observa-se um aumento crescente da área de estabelecimentos comerciais com taxa média anual de 3,1%, enquanto no mesmo período o consumo de eletricidade do setor apresenta um aumento de 3,8% a.a. Os dados do boletim econômico da ABRAVA (Dezembro de 2023) apontam um crescimento em 2023 de 10% para os equipamentos centrais (tonelada de refrigeração – TR) e 14% para o faturamento de todo o setor em relação a 2022, grande parte motivada pela retomada dos serviços e as temperaturas médias elevadas.

Figura 24: Evolução do consumo de eletricidade e área do setor comercial
Fonte: Elaborado por EPE



O consumo de eletricidade teve uma taxa de crescimento de 7,1% em 2023, comparada com o ano anterior. Esse aumento em parte justifica-se pelo aumento da temperatura e pela taxa de crescimento do faturamento, segundo a ABRAVA (dezembro 2023).

Em 2023, o PIB da Construção Civil teve uma queda de 0,5% (IBGE), a retração pode estar associada a taxa de juros e ao fim das pequenas reforma iniciadas na pandemia da covid-19 (CBIC).

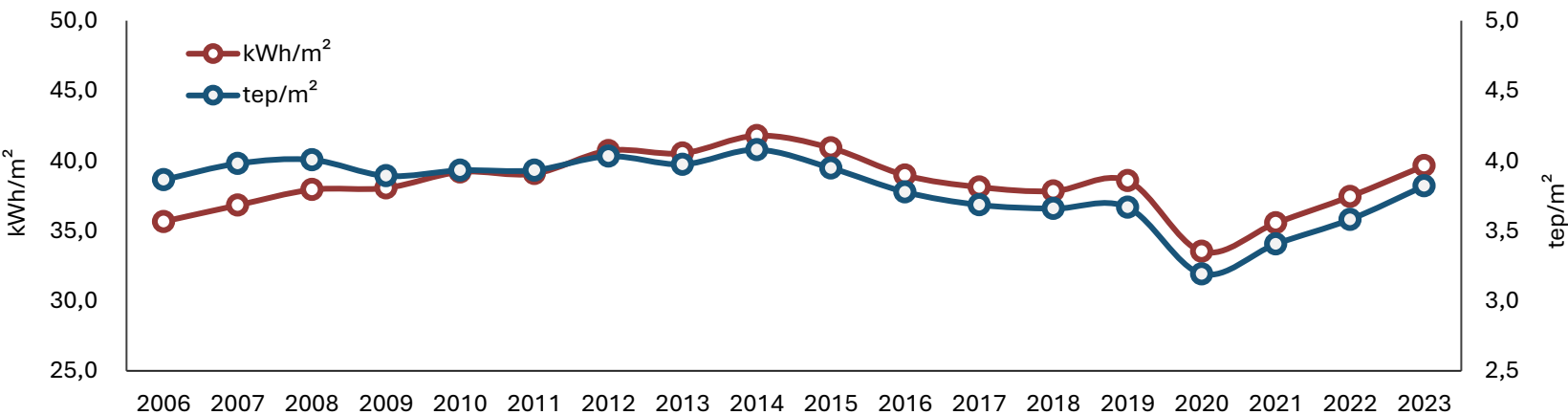
Indicadores setoriais: consumo por m² das edificações comerciais e públicas

No período de 2006 – 2014, o consumo de energia por metro quadrado nas edificações comerciais e públicas teve um crescimento, devido ao aumento da posse e uso de equipamentos elétricos. No entanto, a partir de 2014 o indicador demonstra estabilidade até 2019 culminando em vertiginosa queda no ano de pandemia do covid-19, com parcial retomada nos anos de 2021 a 2023. É importante salientar que ambos os indicadores estão sob efeito de eficiência energética, visto que políticas de eficiência em curso atenuam o crescimento do consumo. Entretanto, há outros efeitos que corroboram para as trajetórias ilustradas, como:

- A implementação da Resolução 414/2010 da Aneel, que reclassificou parte do consumo de eletricidade de condomínios prediais, antes contabilizada no setor residencial, no setor comercial.
- O efeito climático que intensifica/atenua o uso de equipamentos de condicionamento ambiental tais como condicionadores de ar, ventiladores, entre outros e os de refrigeração.
- Crises hídrica, econômica e sanitária ao longo dos últimos anos.

Figura 25: Consumo específico¹ por metro quadrado

Fonte: Elaborado por EPE



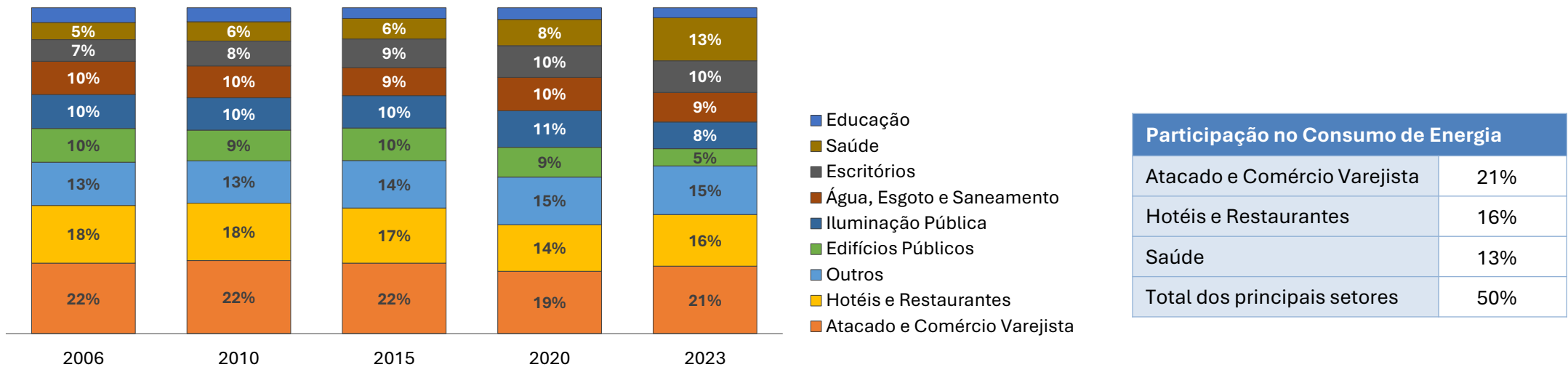
Dados	Δ% 23/22
Consumo de Eletricidade	7%
Consumo de Energia	8%
Área (milhões m²)	1%

^[1] Não inclui consumo dos segmentos: iluminação pública, água, esgoto e saneamento. O consumo em tep considera todos os energéticos.

Consumo de Energia por Segmento do Setor de Serviços 2006-2023

No período de 2006-2023, o segmento de saúde foi o que apresentou a maior taxa de crescimento, com 8% a.a., quando comparada com os demais segmentos. Já o segmento Atacado e Comércio Varejista detém a maior parcela do consumo com 21% do total. Somando-se a este os segmentos de hotéis/restaurantes e saúde, essa parcela sobe para a metade do consumo.

Figura 26: Consumo final energético por segmento no setor de serviços
Fonte: Elaborado por EPE, a partir de EPE (2015)



O setor de serviços é um setor diversificado com características e perfil de uso distintos. No entanto, observa-se a distribuição do consumo de energia por segmento no período, com uma certa homogeneidade. Destacam-se dois segmentos, edifícios públicos com uma retração no consumo de energia e uma aumento para a saúde. O consumo de energia em 2023, quando comparado com o ano anterior, apresenta um aumento de 7%.

[1] Outros inclui condomínios prediais, locais públicos (teatro, clubes, museus, igrejas, galerias, etc.) e difusão da informação (cinemas, rádios, TV, telefonia, etc.)

Participação do comércio eletrônico no varejo tradicional

Observa-se a evolução da participação do e-commerce no varejo tradicional, em 2023 atingiu 8,6%. Parte da retração da participação do consumo de energia no comércio varejista é corroborada pelo aumento das vendas na internet. A participação no faturamento do comércio eletrônico atingiu 9,5 % em 2023.

Figura 27: Perfil dos Compradores Online: (Participação do Faturamento)
Fonte: ABComm (2024)

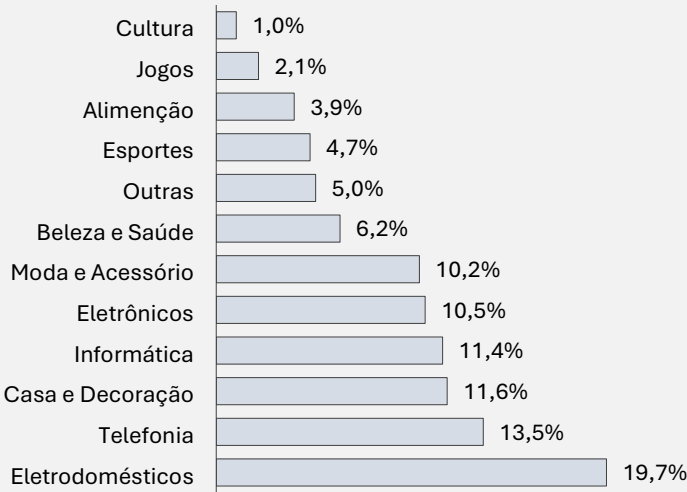


Figura 28: Perfil das Regiões em compra eletrônica
Fonte: ABComm (2024)

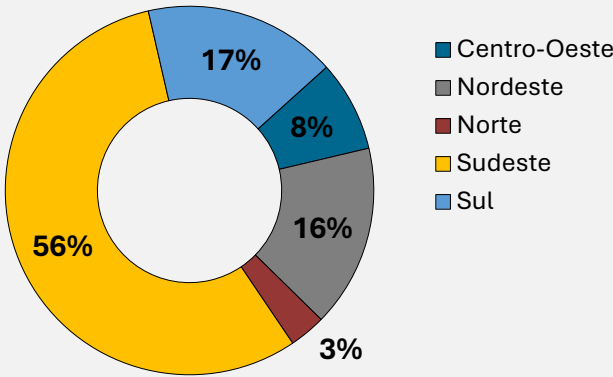
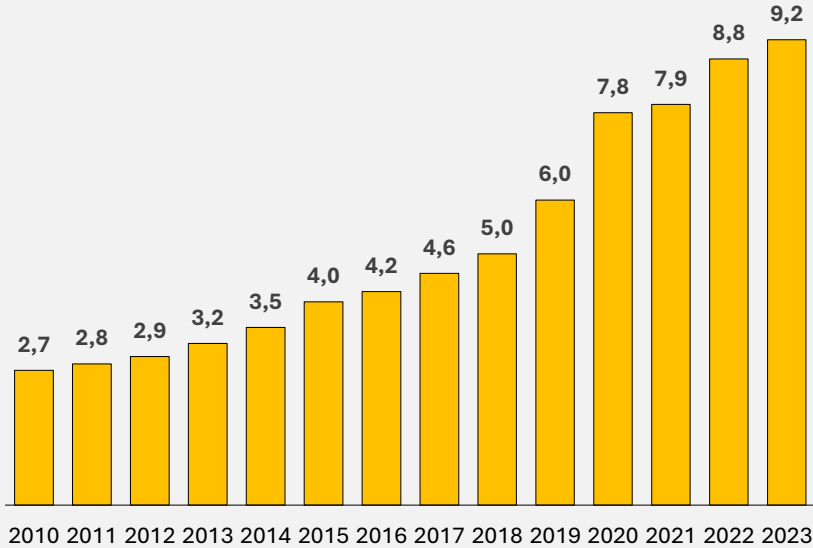


Figura 29: Participação do E-commerce no Varejo Tradicional – 2010 - 2023
Fonte: ABComm (2024)

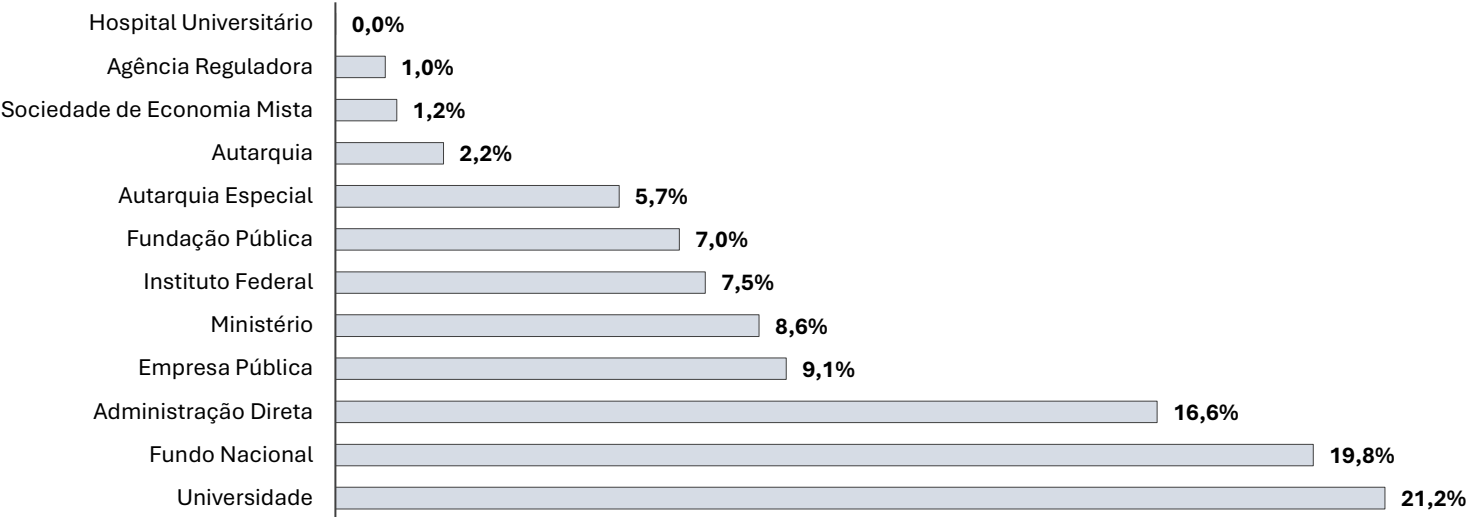


A Figura 29 mostra o aumento crescente da participação do comércio eletrônico pela internet, liderada pela região Sudeste com 56% de participação nas vendas. Na Figura 28 a ,observa-se que os eletrodomésticos e telefonia são os com mais participação nas vendas online.

Perfil da despesa com energia elétrica na administração pública federal

É possível analisar o perfil da despesa com energia elétrica na administração pública Federal através do Painel de Custeio da Administrativo. No momento, o painel disponibiliza a informação da despesa, na Figura 30 observa-se a distribuição por órgão. Na ausência de dados de consumo de eletricidade, tais informações auxiliam a visualização das maiores despesas para direcionar as políticas, assim como priorizar ações para a eficiência energética.

Figura 30: Distribuição dos Gastos com a Energia Elétrica – 2023
Fonte: MGISP (2023)



Em 2023, observa-se que cerca de 60% da despesa com energia elétrica está concentrada em três segmentos: Universidades (21%), Fundo Nacional¹ (20%) e Administração Direta (17%). Com o perfil dos gastos com a energia elétrica é possível identificar os segmentos com maior potencial de eficientização.

^[1]Fundo nacional inclui por exemplo: Fundo Nacional da Saúde, Desenvolvimento da Educação, Índio, de Artes, Antidrogas, Cultura, Aviação Civil e etc.

Setor Industrial

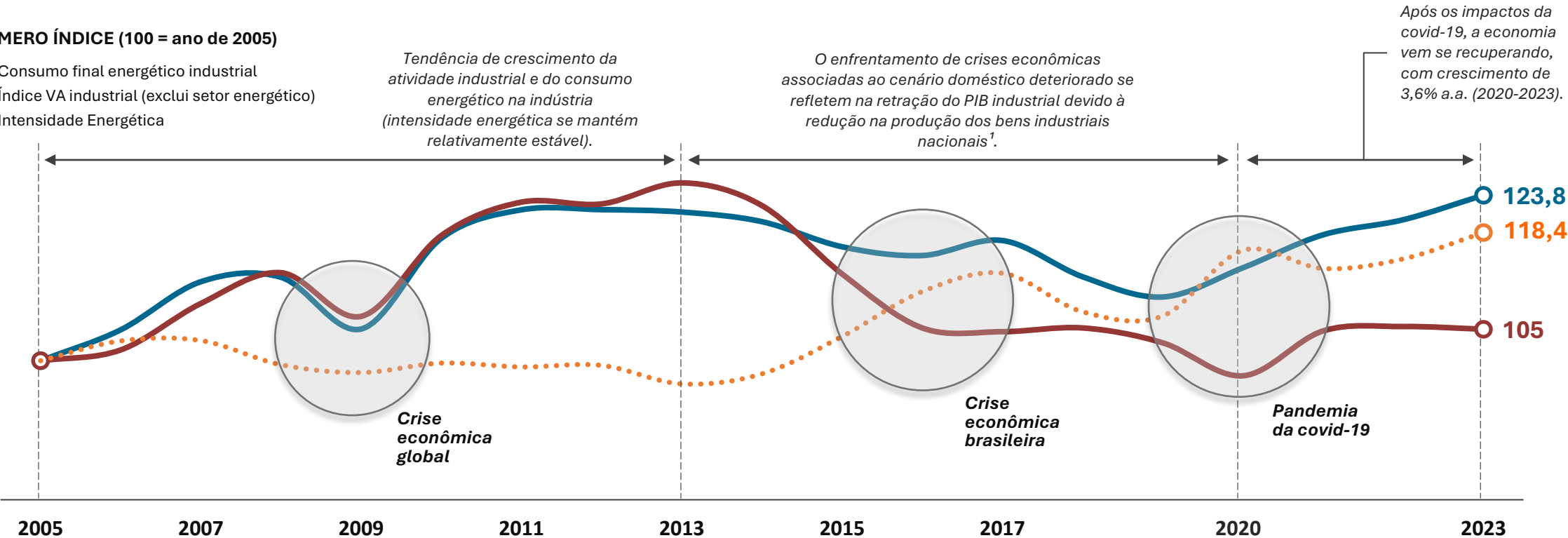
Evolução do consumo de energia e valor adicionado da indústria brasileira

Figura 31: Consumo energético e Valor Adicionado das indústrias no Brasil (Número índice 2000 = 100)

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de EPE (2024a) e IBGE (2023a)

NÚMERO ÍNDICE (100 = ano de 2005)

- Consumo final energético industrial
- Índice VA industrial (exclui setor energético)
- Intensidade Energética



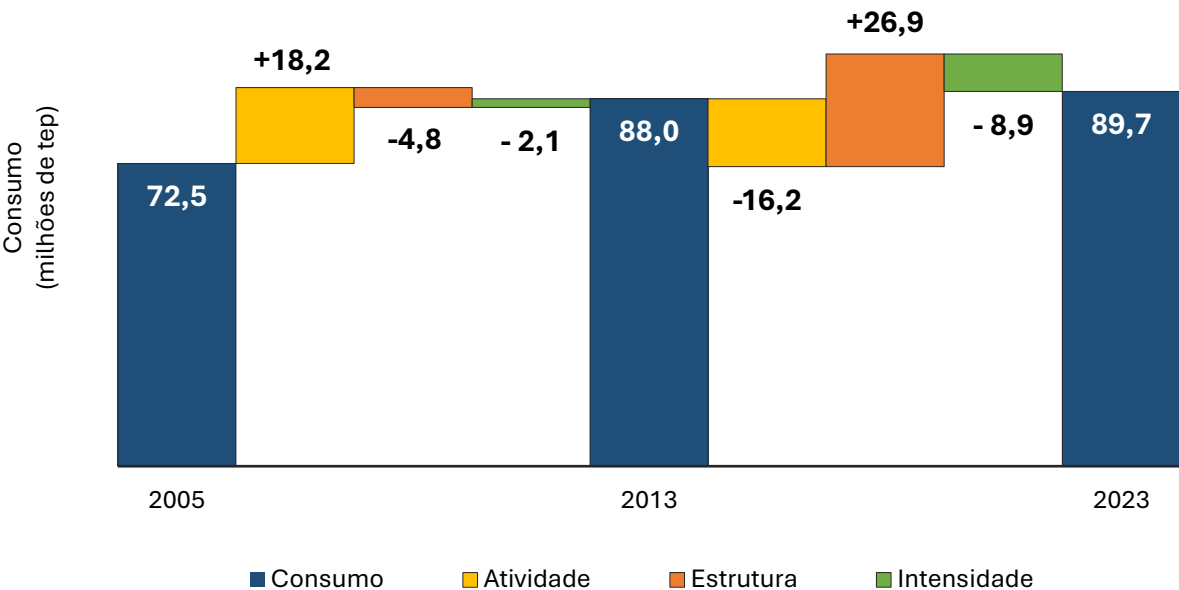
O descolamento observado desde 2015, entre as curvas de consumo energético e o valor adicionado, resulta em **incremento da intensidade energética**, o que **não** está necessariamente relacionado à eficiência energética das plantas industriais, mas sim a outros efeitos como por exemplo a maior participação de segmentos energointensivos nos últimos anos.

^[1] Bens industriais nacionais com algumas exceções

Decomposição dos efeitos no consumo de energia: o que está por trás do aumento da intensidade energética industrial?

Figura 32: Decomposição¹ dos efeitos intensidade, estrutura e atividade

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de EPE (2024a) e IBGE (2023a)



Os três efeitos principais que compõe a variação do consumo industrial são: o VA (valor adicionado - nível de atividade), a participação relativa dos segmentos industriais (isto é, a estrutura da indústria) e a intensidade de cada segmento (relação entre consumo energético e valor adicionado de cada segmento).

Entre 2005 e 2013 houve grande **aumento da atividade industrial**, associado à redução do efeito estrutura e do efeito intensidade. As indústrias que mais cresceram no período foram cimento, açúcar, papel e celulose, e mineração.

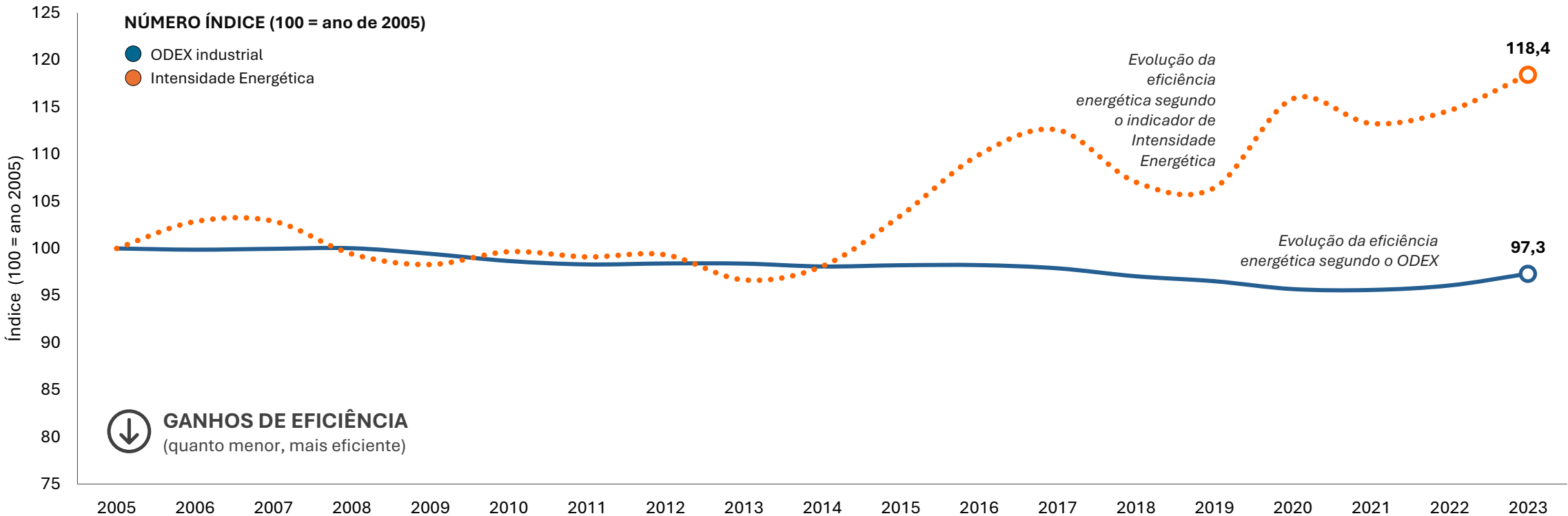
No período entre 2013 e 2023 houve **redução da atividade econômica**, com queda no VA da mineração, de outras indústrias e da indústria química, e na produção física de cimento e aço. A **alteração da estrutura na indústria** foi marcada pelo aumento da participação de segmentos energointensivos acima da média da indústria, tais como papel e celulose, ferroligas e açúcar.

>> Mais detalhes sobre a decomposição na seção [Definições](#)

No primeiro período praticamente todos os segmentos crescem, com pouca variação estrutural dentro da indústria. Já no segundo período, a tendência se inverte em função de redução da atividade econômica e seu rebatimento da atividade industrial, provocando alteração na estrutura de consumo de energia na indústria brasileira.

^[1] Decomposição da variação do consumo energético da indústria em efeito atividade, estrutura e intensidade, conforme método LMDI I (“logarithmic mean Divisia index method I”) com decomposição aditiva (Ang & Liu, 2001).

O indicador ODEX é uma alternativa ao uso da intensidade energética...



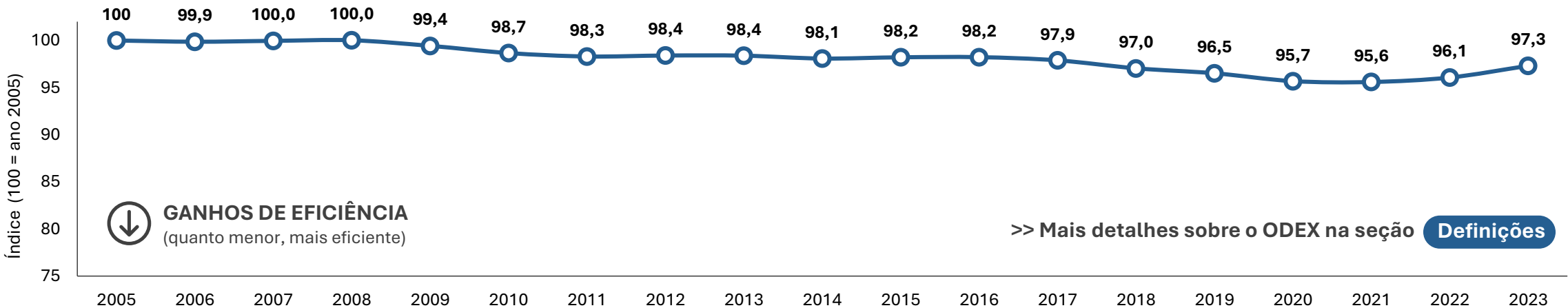
O ODEX da indústria é baseado nos índices de consumo unitário por segmento (cimento, cerâmica, têxtil etc.) ponderados pela sua participação no consumo total de energia do setor. O consumo unitário pode ser expresso em diferentes unidades com objetivo de fornecer a melhor “proxy” de avaliação da eficiência energética, tais como o consumo de energia por unidade de produção física ou por unidade de valor adicionado. Esta abordagem permite mitigar o efeito estrutura entre os segmentos da indústria, diferentemente do que ocorre com a intensidade energética.

ODEX do consumo de energia do setor industrial

Para o cálculo do ODEX, foi considerada a variação do consumo específico com base na produção física para os segmentos da siderurgia, papel e celulose, cimento e açúcar, **os quais representam cerca de 60% do consumo de energia na indústria**. Já nos segmentos de outros alimentícios, têxtil, química, cerâmica, ferroligas, outros da metalurgia, mineração e outras indústrias, o cálculo é feito a partir da variação da intensidade energética. Em ambos os casos, as variações são ponderadas pelo peso de cada segmento no consumo final de energia do setor.

Figura 33: ODEX industrial

Fonte: Elaborado por EPE



Embora o ODEX industrial tenha se mantido relativamente estável ao longo de todo o período, observa-se relativo aumento deste indicador nos anos de 2022 e 2023, decorrente em grande medida do efeito estrutura interno a alguns segmentos energointensivos.

[1] Para detalhes a respeito do cálculo do ODEX, acesse: [Manual Metodológico do Atlas de Eficiência Energética](#)

Particularidades de alguns segmentos contribuíram para o aumento do ODEX industrial

Ao longo do ano de 2023, verificou-se **redução mais acentuada da produção das aciarias elétricas** (cerca de 12% de queda) do que da produção de aço bruto nas siderúrgicas integradas (cerca de 5% de queda). O “mix” da siderurgia no ano de 2023, comparado ao ano anterior, teve acréscimo do seu consumo específico, contribuindo para o aumento do ODEX da indústria, **o que não significa que as rotas tecnológicas individualmente ficaram menos eficientes.**

No segmento de cimento, verifica-se um esforço que o setor tem empreendido, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), incluindo a utilização de combustíveis alternativos, tais como pneus, resíduos industriais, resíduos sólidos urbanos, e “outras fontes renováveis” como carvão vegetal, madeira, resíduos agrícolas, biodiesel e outras biomassas. Estes movimentos eventualmente provocam aumento do consumo específico de energia no segmento, como foi verificado ao longo do ano de 2023. **Ou seja, priorizou-se a redução das emissões em detrimento da eficiência energética global do segmento.**

No segmento de Não ferrosos e outros da metalurgia, a produção de Alumínio primário teve crescimento de 26% no ano de 2023, em grande medida devido à **retomada das operações da Alumar**¹. A atividade de produção de alumínio primário é eletrointensiva e responde por parte significativa do consumo de eletricidade do grupo. No entanto, em termos de valor adicionado (VA), sua participação é baixa quando comparada aos demais produtos. A combinação destes fatores contribuiu para o aumento do ODEX deste segmento em 2023.

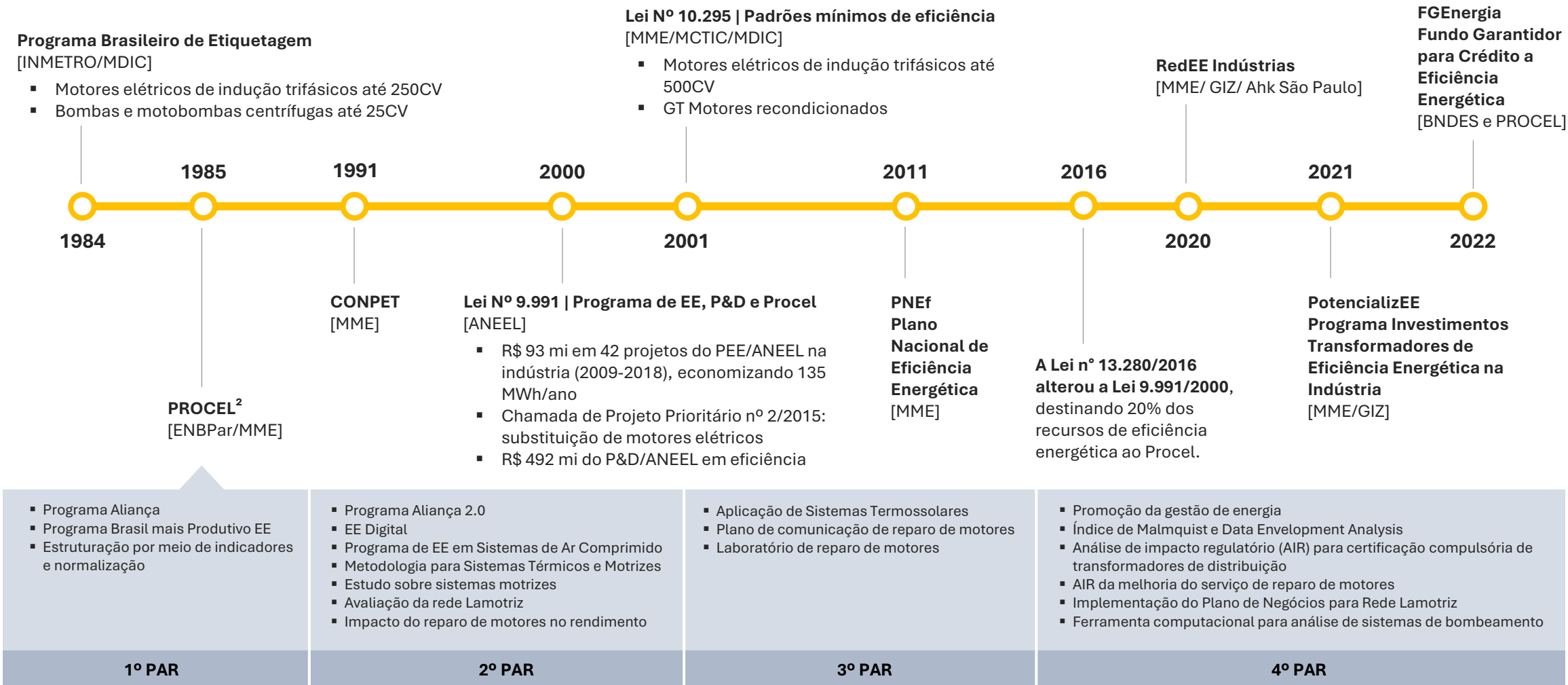
Segmentos que apresentam rotas tecnológicas e produtos diferenciados sofrem influência de efeito estrutura interno. Por exemplo, o consumo específico para a produção de papel reciclado é muito inferior ao consumo específico para a produção de celulose. Da mesma forma, a produção de aço bruto a partir de sucata (aciaria elétrica), requer menos energia por tonelada de aço quando comparado às plantas siderúrgicas integradas.

^[1] Maiores detalhes são destacados na seguinte publicação da EPE:
[Boletim Trimestral do Consumo de Eletricidade – Ano IV – Número 16 – 4º trimestre de 2023](#)

Linha do tempo: políticas e programas de eficiência energética

Principais destaques de políticas de eficiência ligadas ao setor industrial

Fonte: EPE.



[1] Lista não exaustiva
[2] A Lei nº 13.280/2016 alterou a Lei 9.991/2000, destinando 20% dos recursos de eficiência energética ao Procel.

Perfil da indústria

O uso de derivados de petróleo perde participação devido à redução do uso do óleo combustível em todos os segmentos, e menor participação do coque de petróleo na indústria de cimento. O carvão vegetal também perde participação pela redução do seu uso no setor siderúrgico, mesmo sendo mais utilizado pelo setor de ferroligas. O licor preto ganha participação, acompanhando a indústria de celulose, que utiliza esse coproduto em seus processos.

Figura 34: Participação da indústria por segmento

Fonte: EPE (2024a)

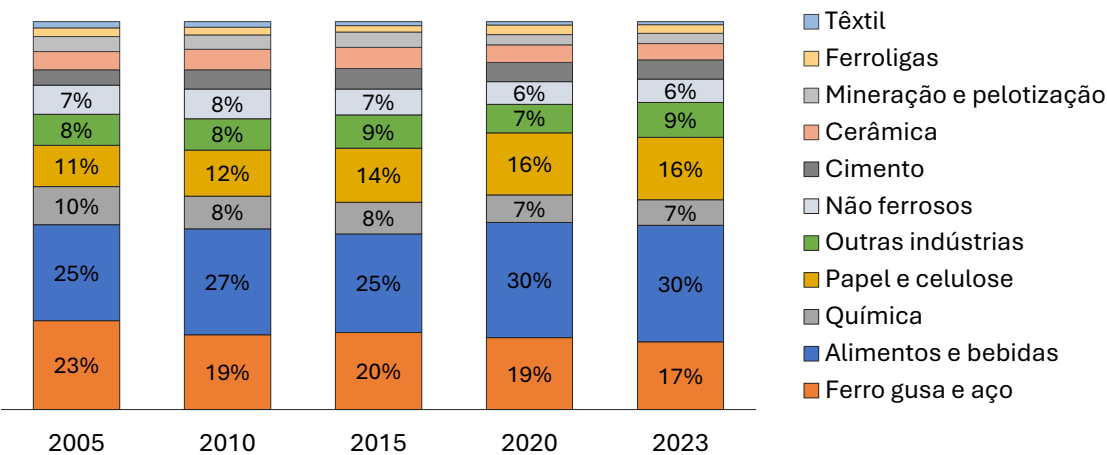
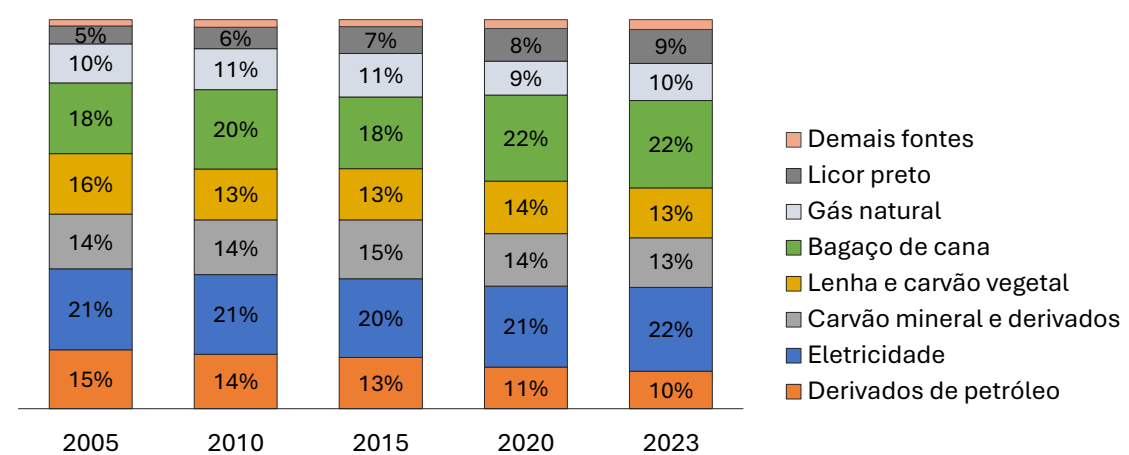


Figura 35: Matriz energética da indústria

Fonte: EPE (2024a)



Em 2023, as indústrias de alimentos e bebidas, ferro gusa e aço e papel e celulose foram as mais representativas em termos de consumo energético. A eletricidade é a fonte mais relevante e vem ganhando modesta participação.

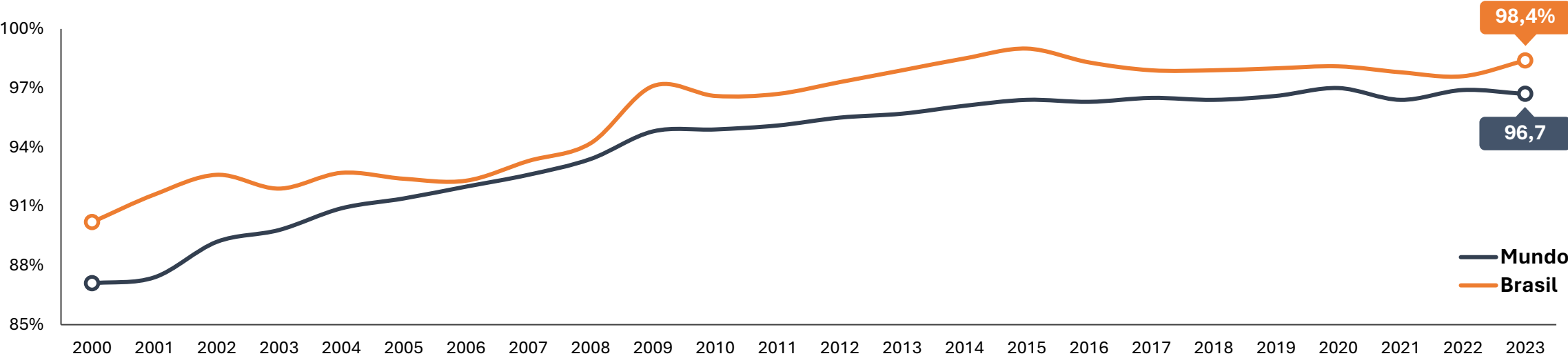
Informações adicionais de segmentos selecionados da indústria

Siderurgia: difusão do lingotamento contínuo

O processo de solidificação do aço líquido pode se dar por meio do lingotamento convencional¹ ou do lingotamento contínuo. O lingotamento contínuo pode ser considerado umas das inovações radicais na siderurgia mundial, pois passou a permitir alto rendimento semiacabado/aço líquido (cerca de 98%), sendo mais compacto e conferindo melhor qualidade ao produto final.

Figura 36: Taxa de difusão do lingotamento contínuo na siderurgia, Brasil e Mundo (percentual)

Fonte: Worldsteel (2009, 2019, 2021, 2023, 2024)



A difusão mundial do lingotamento contínuo passou de 87,1% (em 2000), para 94,9% (em 2010) e ainda 96,7% (em 2023). Durante esse período, a importância relativa do lingotamento contínuo no Brasil foi superior à média mundial.

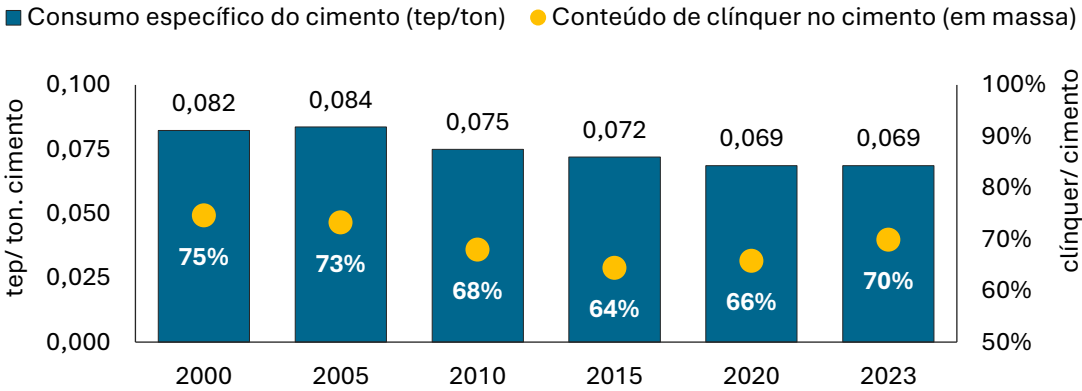
^[1] Utilizando lingoteiras, um molde que tem a função de receber metal ou liga metálica no estado líquido, quente, para formar determinada peça após o tempo de cura, quando o material se solidifica.

Cimento: consumo específico e conteúdo de clínquer

A indústria do cimento no Brasil possui um parque industrial moderno e eficiente, e em constante atualização. Mais de 99% da produção é feita em fornos via seca (mais eficiente), cerca de 40% do parque industrial possui menos de 15 anos e conta com mais de 70% de seus fornos equipados com torres de pré-aquecedores de 4 a 6 estágios e pré-calcinadores (EPE, 2021)¹. Modernos resfriadores de grelha equipam 80% dos fornos brasileiros e aproximadamente 50% dos moinhos de matéria-prima são verticais, estes considerados os de menor consumo elétrico.

Figura 37: Consumo energético específico na indústria de cimento

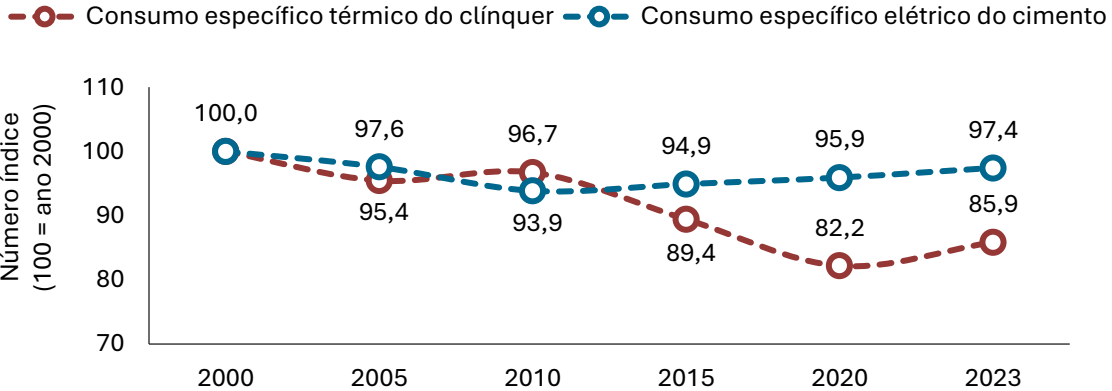
Fonte: Elaborado por EPE, a partir de EPE (2024a).



Avanços normativos, pesquisas em química do cimento, desenvolvimento de novos cimentos, entre outros, permitiriam o avanço na incorporação de adições ao cimento, em substituição ao clínquer, que hoje chega em média a 32%, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa associadas à calcinação e ao uso da energia.

Figura 38: Índice de variação do consumo específico de cimento (clínquer e cimento)

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de EPE (2024a).



A Figura 38 permite avaliar, separadamente, os consumos específicos térmico e elétrico relativos às produções de clínquer e cimento, respectivamente. O consumo de eletricidade se dá majoritariamente na produção de cimento (moagem), e o de combustíveis na produção de clínquer (forno).

O consumo específico térmico do clínquer reduziu 14% ao longo de todo horizonte, enquanto o consumo específico elétrico do cimento reduziu 3%.

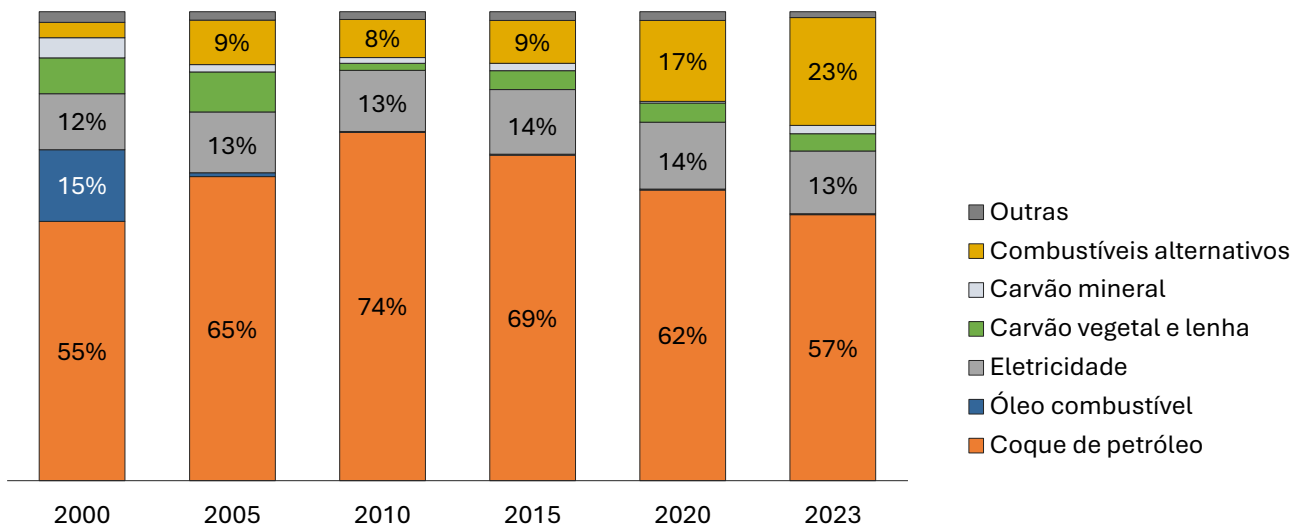
^[1] EPE (2021) utilizou dados do Roadmap Tecnológico do Cimento, disponível em: [roadmap-tecnologico-do-cimento-brasil.pdf](#)

Cimento: matriz energética e coprocessamento

A matriz energética da indústria de cimento sofreu mudanças ao longo do tempo. Nas crises do petróleo houve momentânea migração de óleo combustível para carvão (mineral e vegetal). Nos anos 2000 o setor migrou para o coque de petróleo importado em detrimento do óleo combustível. Atualmente, o coque de petróleo é a principal fonte, em função de baixo preço e garantia de abastecimento.

Figura 39: Consumo final energético por fonte na indústria de cimento

Fonte: EPE (2024a).



A partir dos anos 2000, uma nova revolução energética começa a ganhar relevância, que é a dos combustíveis alternativos, caracterizados pelo coprocessamento de resíduos e pela utilização de biomassas.

O coprocessamento tem diversos benefícios ambientais por fornecer uma destinação adequada aos resíduos e pela redução de emissões de GEE (uma vez que estes resíduos, em sua grande maioria, têm um fator de emissão menor que o dos combustíveis fósseis tradicionais).

Esta transição energética exigiu – e exigirá ainda mais – investimentos do setor em adequação e adaptação do processo produtivo, além do aperfeiçoamento em monitoramento e controle (EPE, 2021).

A participação dos combustíveis alternativos vem ganhando representatividade em substituição ao coque de petróleo, e chegou a 23% do consumo em 2023.

Nota: “Outras” inclui gás natural, lenha, óleo diesel e GLP

Papel e Celulose: perfil e reciclagem

A produção de celulose vem aumentando em ritmo mais acelerado que a produção de papel, com grandes fábricas apenas de celulose e aumento das exportações, dada a grande competitividade do produto brasileiro. Em 2020 a produção doméstica de celulose já era o dobro da produção de papel. Como a produção de celulose é mais energointensiva que a de papel, isso interfere na evolução do consumo específico do setor.

Figura 40: Razão da produção celulose/papel no Brasil

Fonte: Elaborado por EPE.

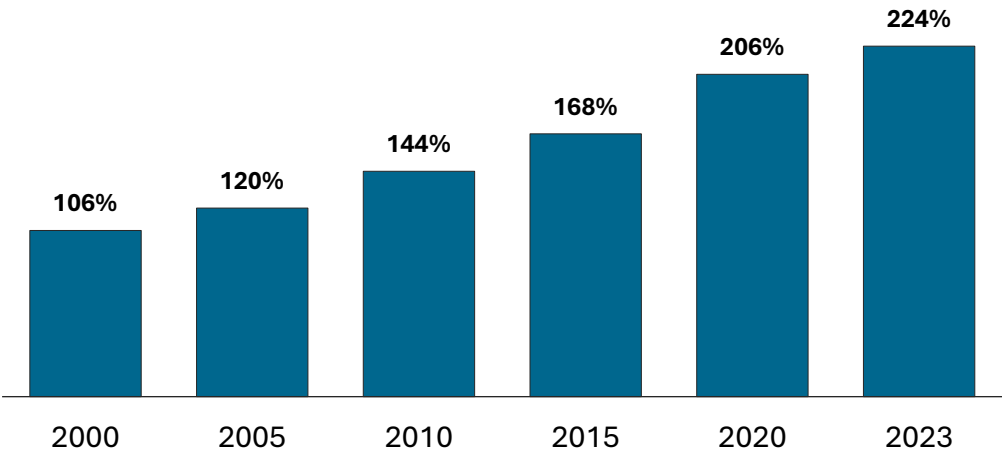
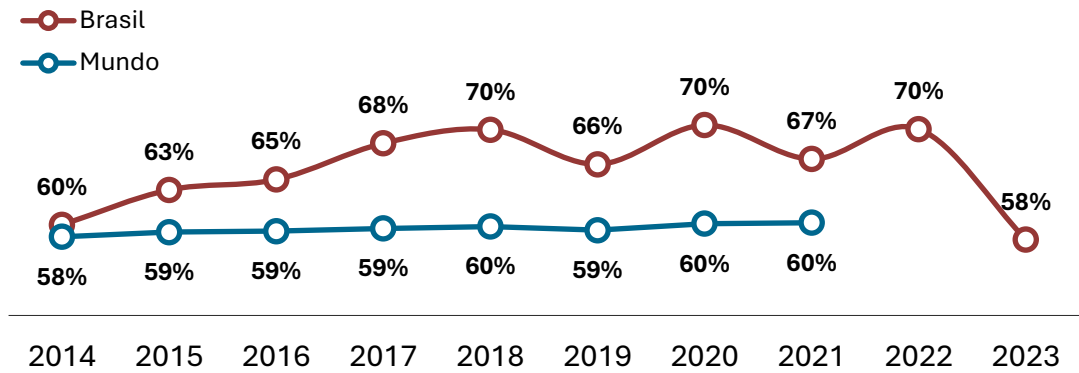


Figura 41: Taxa de reciclagem de papel no Brasil e no Mundo

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de ICFPA (2023), ANAP (2020 e 2021) e Ibá (2024).



A reciclagem de papel é uma importante medida de sustentabilidade. A substituição do papel produzido a partir da pasta de celulose por aparas de papel é uma ação de economia circular que evita o consumo energético e outros impactos da produção de celulose.

O setor tem um histórico positivo em logística reversa, tendo atingindo o marco de 70% de taxa de reciclagem em 2020, acima da média global, de 60%. A taxa de reciclagem de embalagens é ainda maior, chegando a 80%.

Entretanto, cabe considerar que a reciclagem do papel pode alterar as características e qualidade do produto, e nem sempre pode ser utilizado para a mesma aplicação, e depende de uma cadeia logística de coleta das aparas de papel, que está para além dos limites fabris.

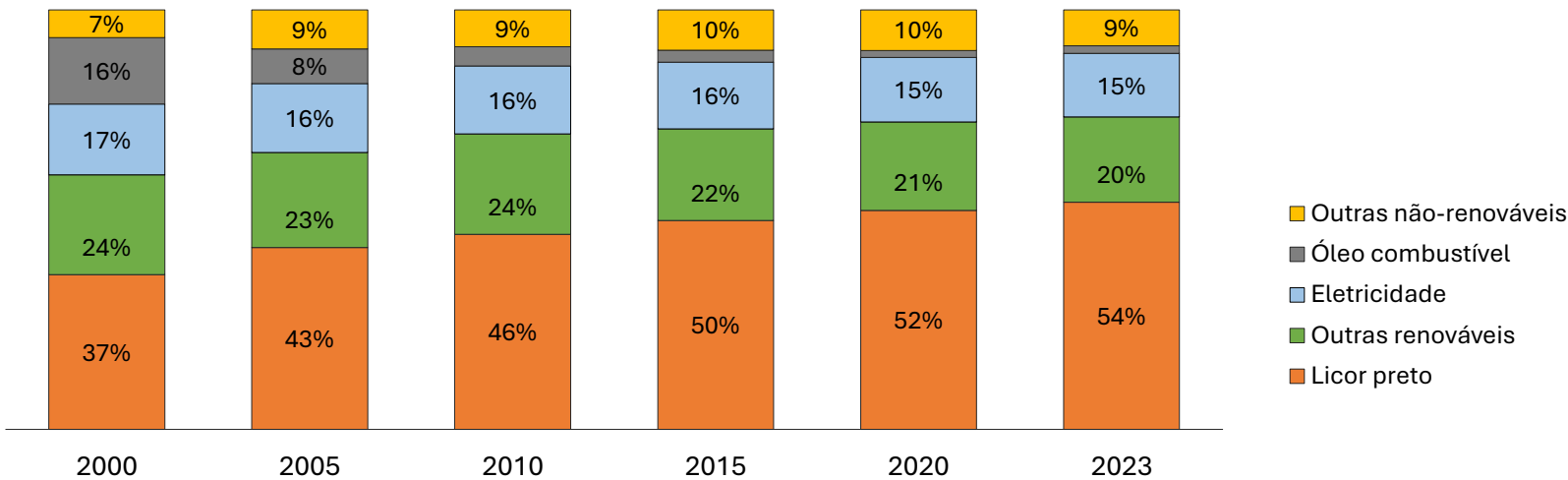
Nota: Calculado pela coleta de aparas sobre o consumo aparente de papel. Índice de reciclagem do papel no Brasil 58,1% de acordo com o Relatório Anual Ibá 2024, disponível em: [Relatório Anual Ibá 2024](#)

Papel e Celulose: matriz energética e renovabilidade

A matriz energética do setor de papel e celulose nacional apresenta alto nível de renovabilidade, que chega a 90%¹. O setor utiliza subprodutos do processo de produção de celulose, a lixívia (licor preto) e resíduos de madeira, para cogeração. O gás natural passou a ser utilizado na década de 1980, e sua participação desde os anos 2000 é relativamente estável em 7%, com uso principalmente em caldeiras. Já o óleo combustível reduziu significativamente sua participação de 16% em 2000 para atuais 2%, utilizados na partida de caldeiras, nos fornos de cal e em caldeiras a óleo combustível de poucas plantas (EPE, 2018).

Figura 42: Consumo final energético por fonte na indústria de papel e celulose

Fonte: EPE (2024a).



Em 2023, 92% do consumo do segmento foi suprido pela energia gerada pelas próprias empresas (Ibá, 2024), majoritariamente por fontes renováveis, tais como a lixívia.

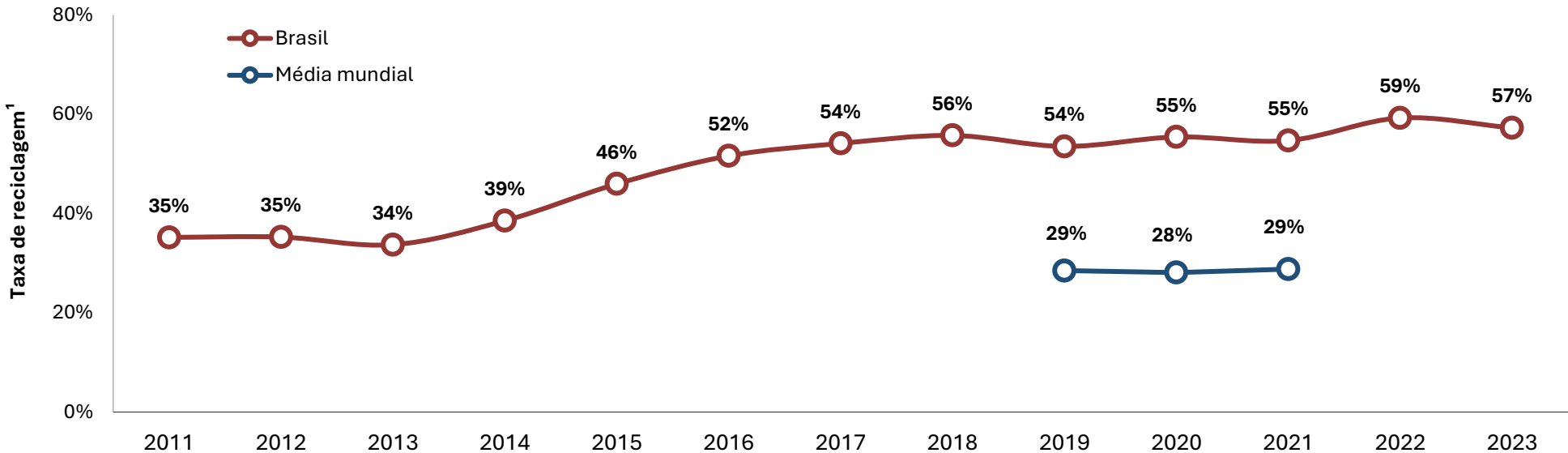
^[1] Assumindo a premissa de que a eletricidade consumida no setor é 100% renovável.

Alumínio: evolução da taxa de recuperação de sucata de alumínio

Em 2023, com um consumo de 32,3 bilhões de latas de alumínio, o equivalente a mais de 150 latas por pessoa ao ano, o Brasil apresenta uma taxa de reciclagem de alumínio que atingiu 57%, mantendo-se acima da média mundial.

Figura 43: Evolução da taxa de recuperação de sucata de alumínio

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de ABAL (2024).



A reciclagem é uma estratégia para a economia circular, com diversos benefícios socioambientais. O consumo elétrico do alumínio secundário (reciclado) é inferior ao do alumínio primário, que é eletrointensivo. Segundo o World Economic Forum (2021), o consumo do alumínio reciclado é da ordem de 5% do consumo do alumínio primário, dado que também é corroborado para o Brasil, conforme apontado pelo estudo da EPE (2017).

[1] Utilizando lingoteiras, um molde que tem a função de receber metal ou liga metálica no estado líquido, quente, para formar determinada peça após o tempo de cura, quando o material se solidifica.

Setor de Transportes

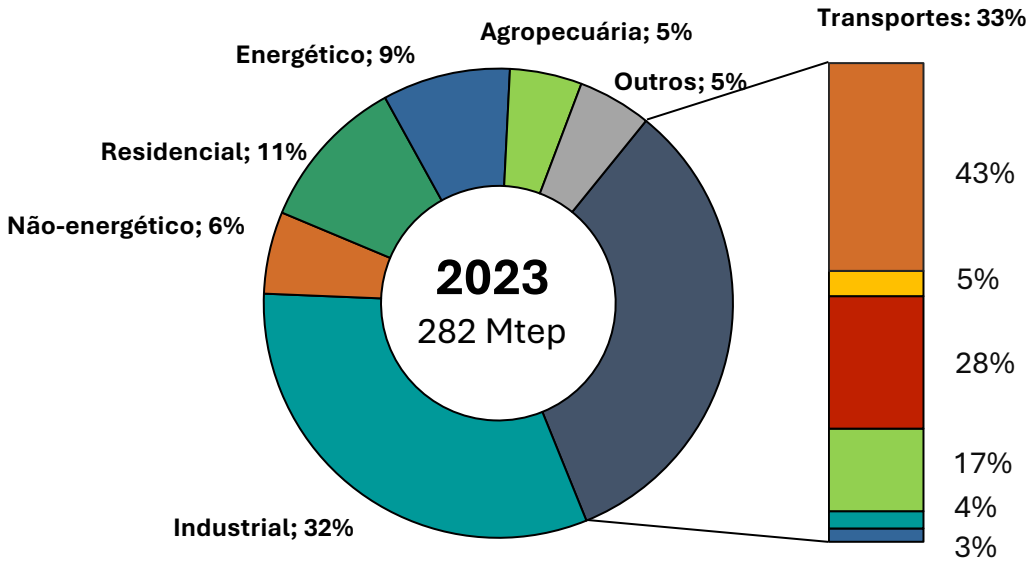
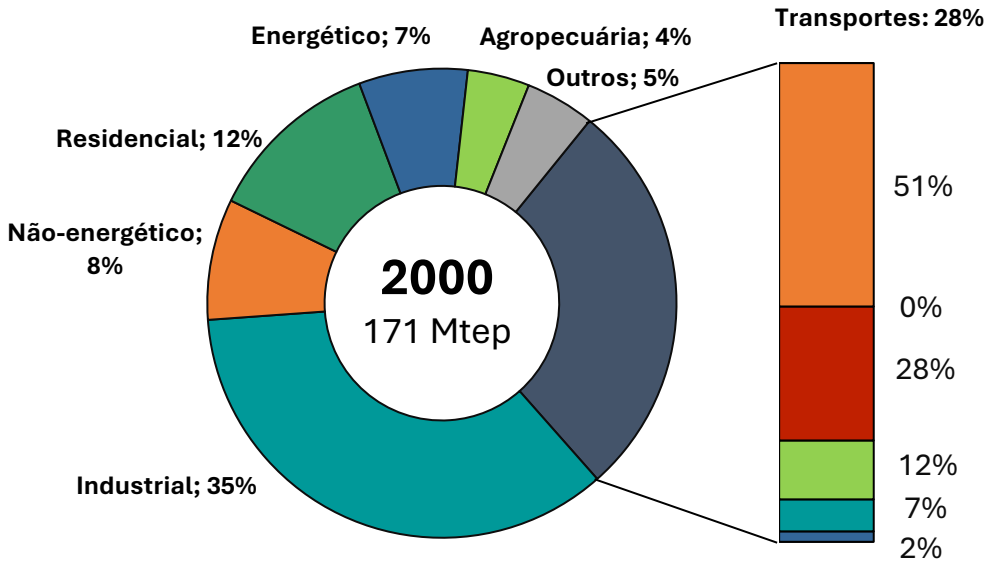
O consumo energético do Setor de Transportes

Em 2023, o consumo energético nacional aumentou 4,0% em relação a 2022, taxa superior ao aumento do PIB, de 2,9%. A demanda energética do setor de transportes cresceu 4,4% em 2023, sendo responsável por 36% do aumento do consumo final de energia. Destaque para atividade no transporte de passageiros, que tornou a ficar acima da registrada em 2019, antes da pandemia, aumentando 15%, com um aumento de somente 6,1% no dispêndio energético. A atividade no transporte de cargas também cresceu significativamente (3,5%), de forma eficiente, com um aumento de dispêndio de energia de somente 2,1%. No caso do transporte de cargas, a elevação do consumo energético tem apresentado recordes todos os anos desde 2016, estando 25% acima do nível de atividade de 2019.

Figura 44: Consumo final e do setor de transportes no Brasil

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de dados da EPE (2024a)

● Diesel ● Biodiesel ● Gasolina ● Etanol ● Querosene de Aviação ● Outros



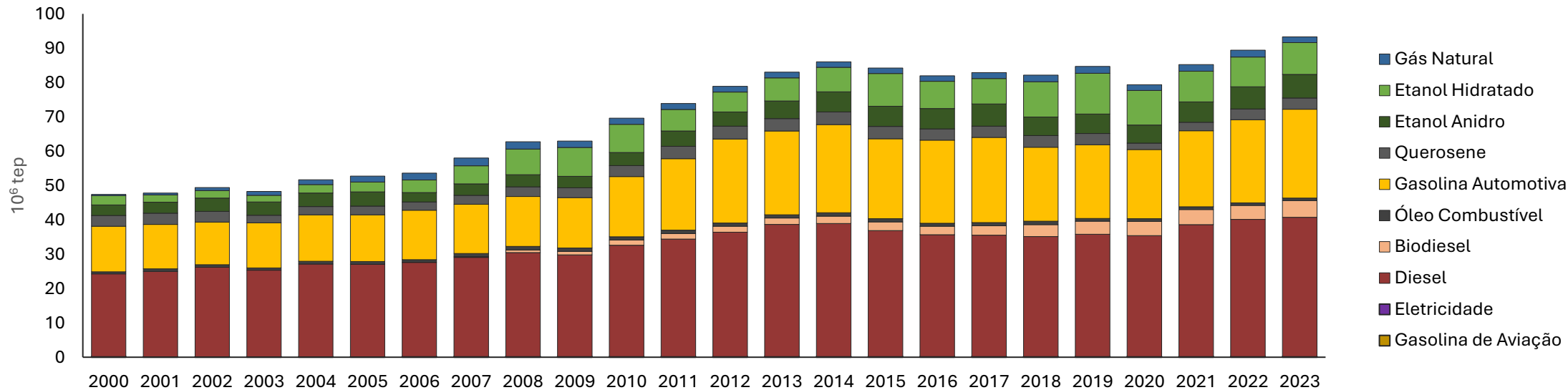
Evolução da participação do consumo energético do Setor de Transportes

O incremento da demanda energética do setor em 2023 ocorreu em função não somente do crescimento do transporte de cargas, mas também de passageiros. Destaque particular para o aumento da demanda de óleo diesel e de gasolina, incentivado pelo incremento do consumo de bens, elevação das produções agropecuária e industrial e recuperação integral da mobilidade da população após a pandemia. A taxa de crescimento registrada, 4,4%, ficou acima da expansão do PIB, especialmente em função da mobilidade da população.

A atividade dos setores metroferroviário e de ônibus ainda não se recuperou da pandemia. Entretanto, a atividade do transporte individual mais do que compensou esses setores, promovendo o aumento da demanda energética do ciclo Otto. No que tange à atividade do transporte aéreo, houve recuperação para os patamares pré-pandemia ao final de 2023 (mas não na média do ano), com registro de elevação de eficiência, uma vez que o consumo de querosene de aviação se manteve 7% abaixo do patamar registrado em 2019.

Figura 45: Consumo do setor de transportes por fonte de energia (10⁶ tep)

Fonte: EPE (2024a)

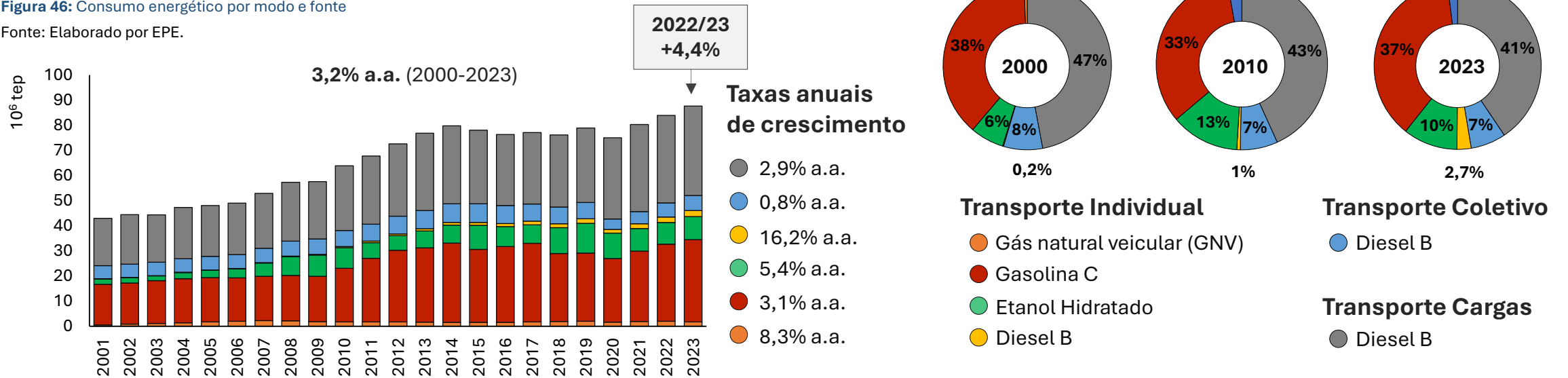


Evolução do consumo energético rodoviário

Entre 2000 e 2023, a demanda do transporte rodoviário de passageiros aumentou 113% (3,3% a.a.), e a do transporte de cargas cresceu 94% (2,9% a.a.). Os destaques para o ano de 2023 ficaram com o aumento da demanda do ciclo Otto (+5,7%), com crescimento da demanda de gasolina C (+6,6%) e do etanol hidratado (+6,9%). Houve incremento também da demanda de óleo diesel por veículos leves (+10,2%), devido ao recorde de vendas de SUVs e comerciais leves a diesel, assim como do diesel para ônibus (+6,5%). O volume de óleo diesel para transporte de cargas também registrou novo recorde (+2,2%), em função do aumento da produção agrícola, da recuperação da indústria, comércio e varejo, e do recorde de exportações.

Figura 46: Consumo energético por modo e fonte

Fonte: Elaborado por EPE.



Destaque para o ciclo Otto, que atingiu recorde histórico absoluto em 2023 (7,8% acima do recorde pré-pandemia, estabelecido em 2019). Que havia ficado em linha com o recorde anterior registrado em 2014. Por outro lado, a demanda de diesel pelo transporte coletivo por ônibus está 20% abaixo do que seu recorde estabelecido em 2014.

Transporte de Passageiros

Em 2023, o transporte de passageiros no Brasil foi um dos momentos menos eficientes em termos de energia por passageiro-quilômetro. Apesar de ganhos de eficiência técnica (de equipamentos) de novos automóveis, metrô e especialmente aeronaves, o transporte público perdeu usuários, que migraram para automóveis ou motos, reduzindo a eficiência sistêmica do setor.

Figura 47: Intensidade energética por modo [tep/(10⁶ p.km)]

Fonte: Elaborado por EPE

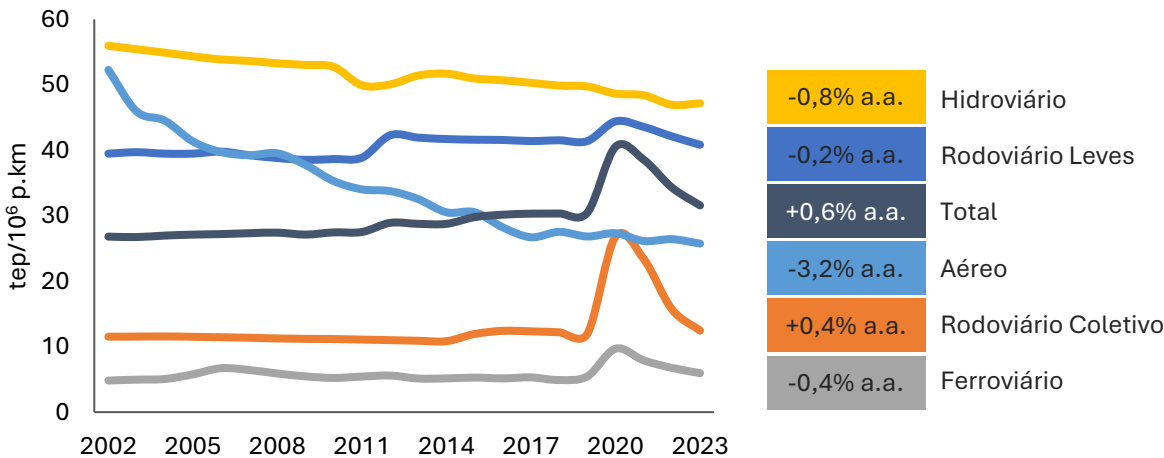
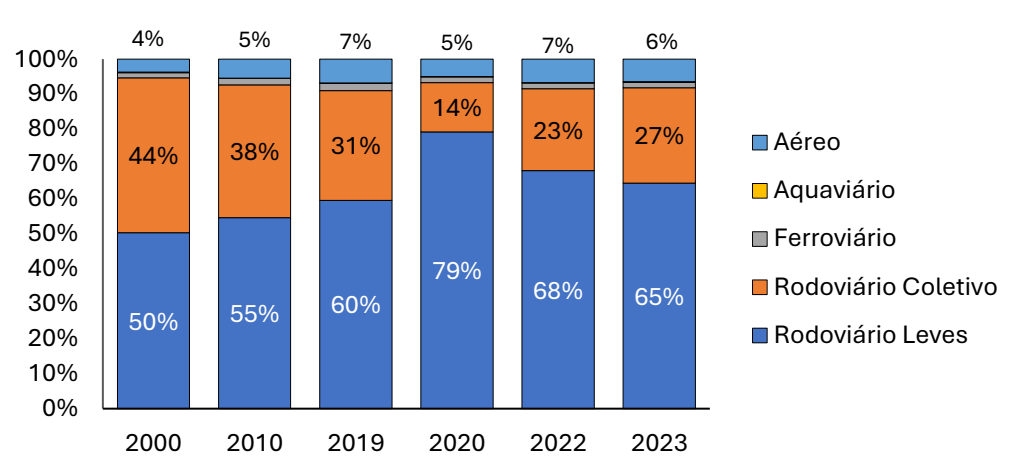


Figura 48: Atividade por modo [p.km]

Fonte: Elaborado por EPE



A atividade de transporte por passageiros ultrapassou os níveis pré-pandemia em 2023, sendo resultado da influência de diversos fatores, a saber:

⬇️ manutenção de algum grau de teletrabalho em algumas cidades

⬆️ redução do desemprego e o aumento da massa de renda

⬆️ aumento da frota de automóveis e de motos

⬆️ redução dos preços de combustíveis registrada ao longo de 2023

⬇️ número de passageiros em ônibus, trens, metrô e aeronaves abaixo dos patamares registrados em 2019

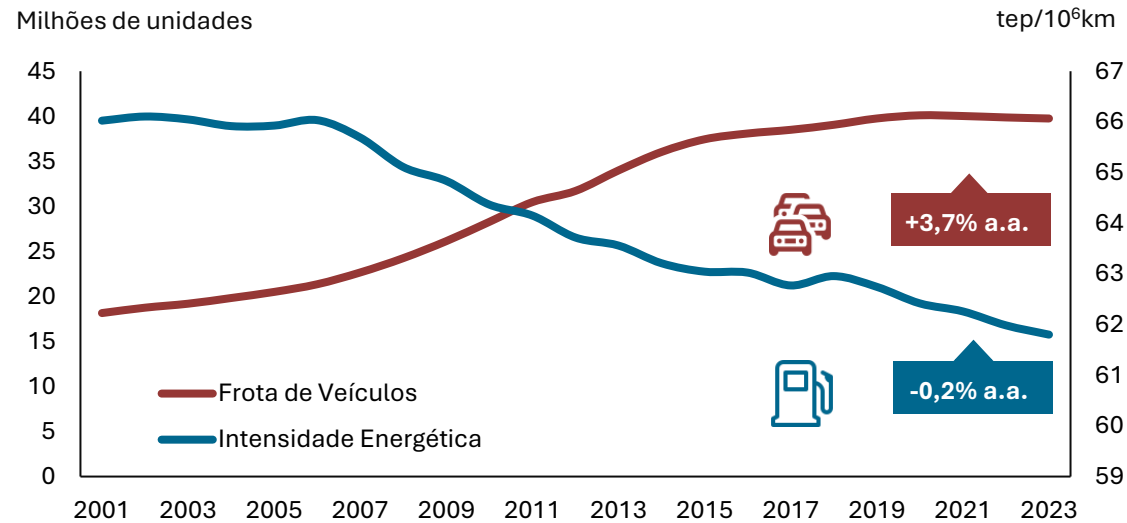
⬇️ Voos internacionais em patamares inferiores a anos anteriores, especialmente em função do valor do câmbio, que desincentivou viagens ao exterior

Nota: a unidade “p.km” refere-se a passageiro-quilômetro.

Transporte individual de passageiros

Figura 49: Frota de automóveis e consumo específico de 2000 a 2023

Fonte: Elaborado por EPE.

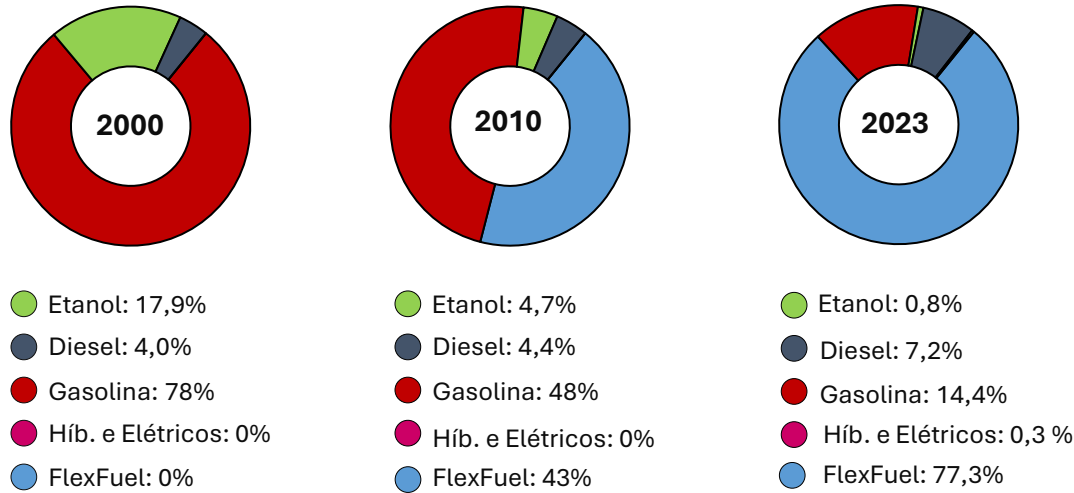


A venda de automóveis acompanhou o crescimento da renda *per capita* brasileira ao longo da década de 2000. Nos últimos 3 anos, foi observada uma estabilização das vendas de automóveis leves em torno de 2 milhões de unidades.

O histórico de iniciativas governamentais como o Programa Brasileiro de Etiquetagem veicular (PBVE), Inovar Auto e Rota 2030, promoveram a melhoria da eficiência energética dos veículos novos, e o avanço rápido da participação de veículos flexfuel na frota.

Figura 50: Frota de leves por tipo de motorização em anos selecionados

Fonte: Elaborado por EPE.

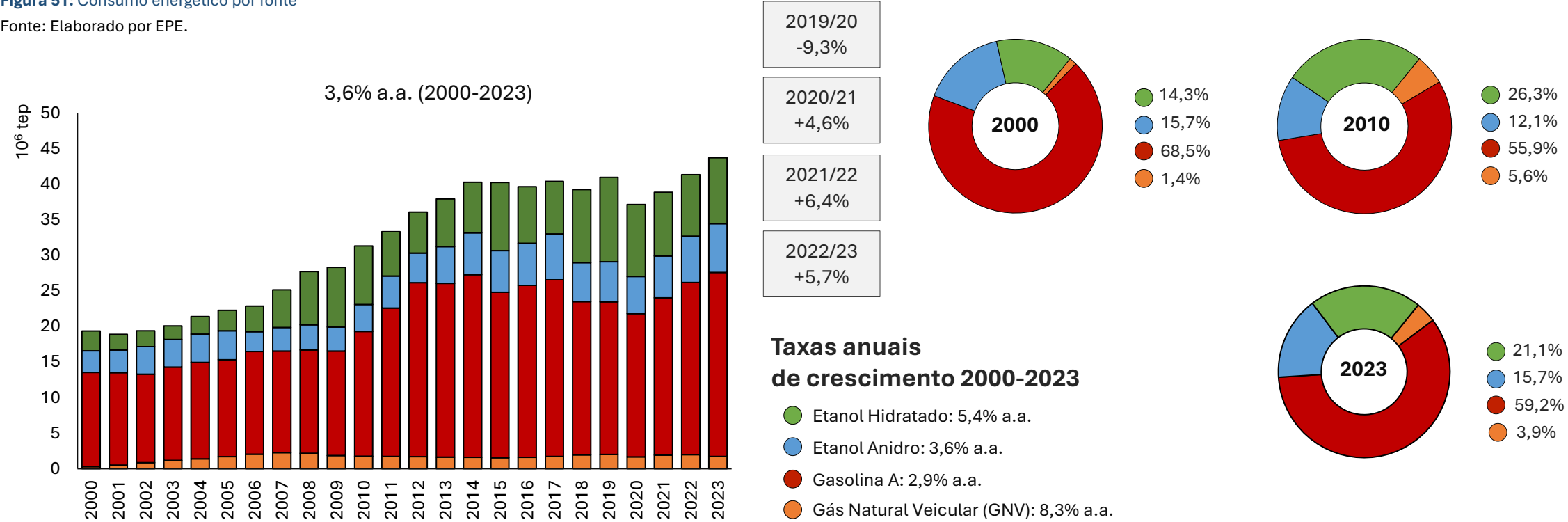


Este avanço reduz os ganhos de eficiência média da frota, visto que estes apresentam eficiência um pouco inferior aos análogos dedicados. O aumento do licenciamento de comerciais leves esportivos (SUVs) e comerciais leves a diesel também elevou o consumo específico da frota, visto que são veículos menos eficientes, especialmente pelo seu peso considerável.

Destaque para o crescimento percentual dos licenciamentos e da frota de automóveis e comerciais leves eletrificados, cuja frota aumentou 74% em 2023, chegando a 220 mil unidades, representando 0,6% da frota total.

Ciclo Otto e o transporte rodoviário individual

Figura 51: Consumo energético por fonte
Fonte: Elaborado por EPE.



Em 2023, a demanda por combustíveis do ciclo Otto cresceu a uma taxa expressiva de 5,7%, acima do crescimento médio entre 2000 e 2023, de 3,6% a.a.. A volta ao trabalho presencial de parte das empresas que ainda estavam em regime híbrido e remoto pressionou a demanda por mobilidade. O maior número de pessoas empregadas, e a maior massa de renda também estimularam a demanda tanto para viagens para os locais de trabalho, como por viagens a lazer. A redução do número dos voos internacionais também estimularam mais viagens domésticas rodoviárias. O aumento da frota de veículos leves em função da venda recorde de motos e retomada da venda de automóveis, assim como a disponibilidade de transporte por aplicativos reduziu a demanda pelo transporte público, com incremento da demanda de combustíveis do ciclo Otto.

Transporte de Cargas

Em 2023, o transporte de cargas bateu novo recorde em termos de eficiência energética, reduzindo seu consumo energético por atividade de transporte em mais 1,3%, com destaque para o transporte rodoviário e aquaviário.

No que tange ao transporte aquaviário, 2023 foi recorde em termos de movimentação portuária, devido ao aumento das exportações, que registraram 8% de crescimento em toneladas movimentadas. Esse aumento da movimentação portuária foi viabilizado por investimentos e pela otimização da gestão entre embarcações e portos, permitindo reduzir a intensidade energética deste setor.

Para os demais modos, o desempenho das exportações de minério de ferro, soja, açúcar, milho e farelo de soja, que atingiram recordes históricos, contribuiu para o transporte desses produtos tanto por ferrovias como rodovias. Neste contexto, houve a necessidade de entrada de muitos novos caminhões pesados. Muito mais eficientes do que a frota existente, melhorando a eficiência energética do transporte de cargas rodoviário. No entanto, isso elevou a participação do modo rodoviário na matriz de transportes de cargas. Limitando os ganhos de eficiência sistêmicos que poderiam ter sido atingidos caso essa carga tivesse sido movimentada por ferrovias ou hidrovias.

Figura 52: Intensidade energética por modo [tep/(10⁶ t.km)]

Fonte: Elaborado por EPE

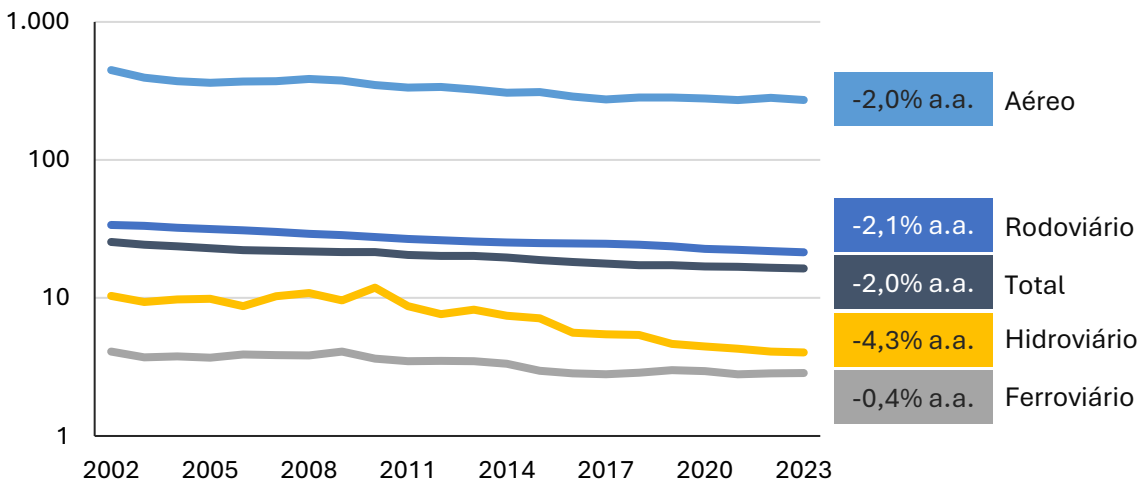
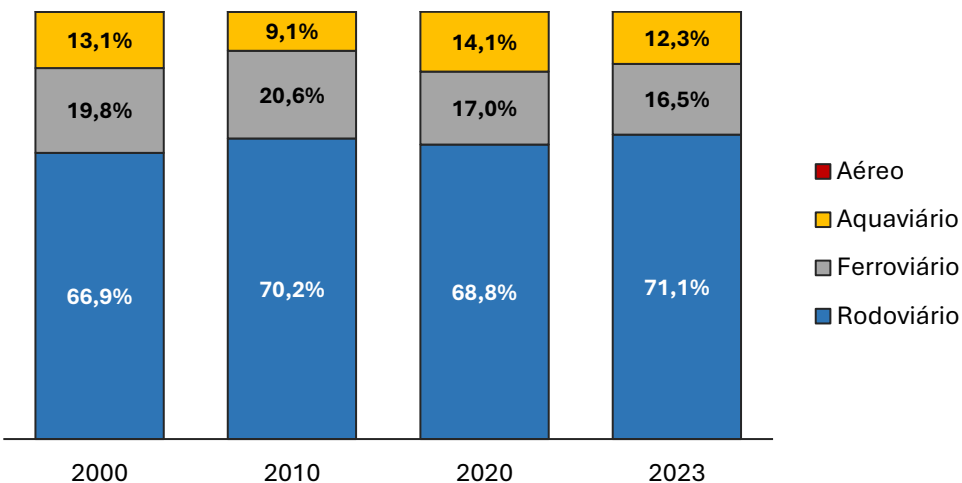


Figura 53: Atividade por modo [t.km]

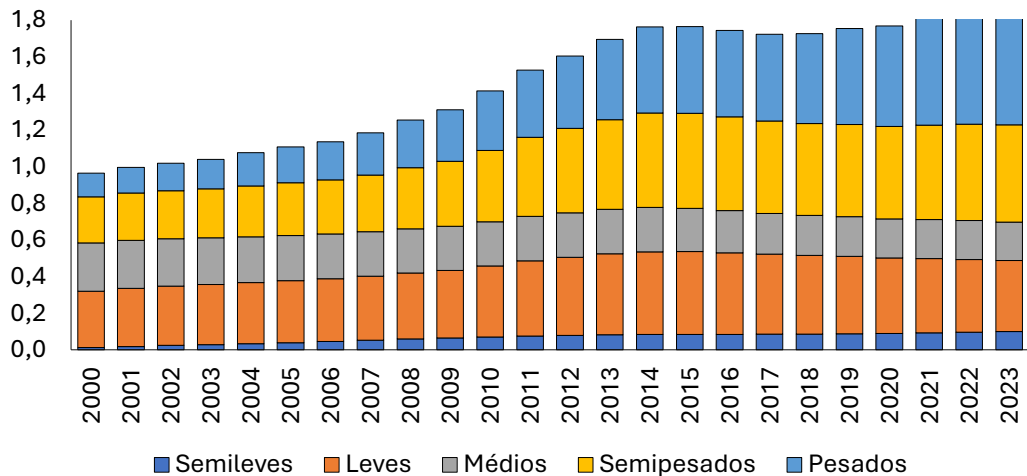
Fonte: Elaborado por EPE



Transporte rodoviário de cargas

Figura 54: Frota de caminhões por categoria (milhões de unidades)

Fonte: Elaborado por EPE

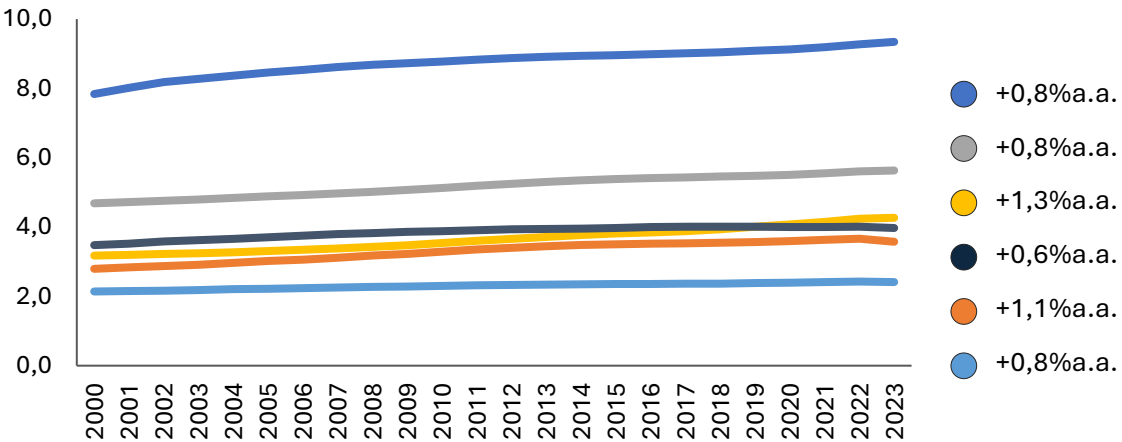


O licenciamento doméstico de caminhões em 2023 ficou 37% abaixo do recorde registrado em 2011 e 15% abaixo do valor atingido em 2022. Importante destacar que o licenciamento de caminhões semipesados e pesados, com 82 mil unidades, ficou 38% acima do valor médio registrado entre 2000 e 2019. Embora a estimativa seja que a frota circulante tenha crescido 1,3%, a atividade do transporte rodoviário de cargas aumentou 4,1%.

A atividade econômica, em especial pelo bom desempenho do setor agropecuário, da mineração, da construção civil, e do comércio eletrônico, tem alavancado o mercado de caminhões pesados. Neste contexto, projeta-se o aumento da carga útil média transportada por caminhão.

Figura 55: Eficiência energética média de veículos novos vendidos (com carga) [km/L]

Fonte: Elaborado por EPE



Por outro lado, a estimativa é que a intensidade de uso da frota tenha se reduzido em 0,6 pontos percentuais em 2023. Isso foi causado tanto pelo aumento da frota, como também pelo incremento do uso dos modos hidroviários e ferroviários para o transporte de longo curso, particularmente para grãos.

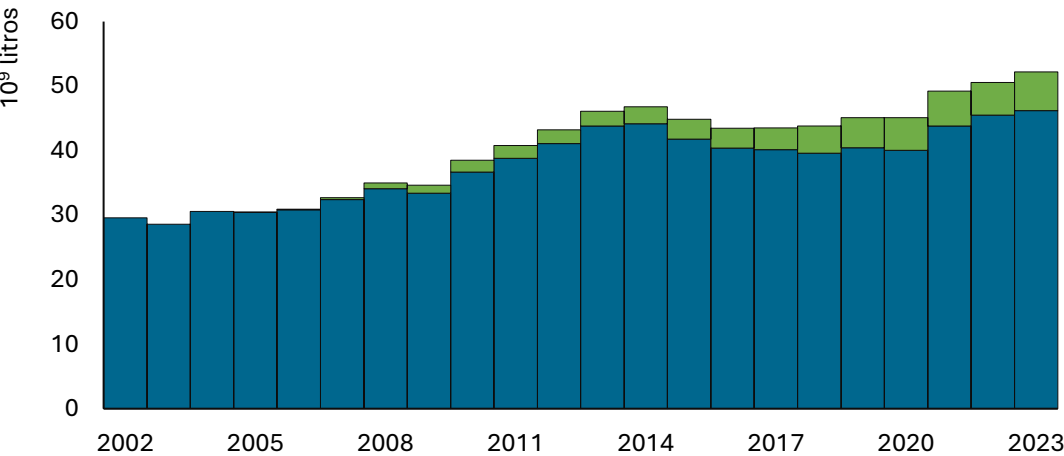
Em 2023, iniciou-se a nova fase P8 do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve). Esse programa estimula a adoção de motores mais eficientes para atendimento aos novos limites de emissão. Em termos do indicador (km/L), houve piora de 0,6% para caminhões pesados e 0,5% para semipesados.

Nota: O Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve) foi instituído para reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores. A fase P8 aplica-se a veículos novos pesados vendidos a partir de 1º de janeiro de 2023, e estipula novos limites máximos de emissão para gases de escapamento, partículas e ruído, equivalentes aos da norma europeia Euro VI.

Consumo de óleo diesel e biodiesel

Figura 56: Consumo de diesel e biodiesel rodoviário (bilhões litros)

Fonte: Elaborado por EPE



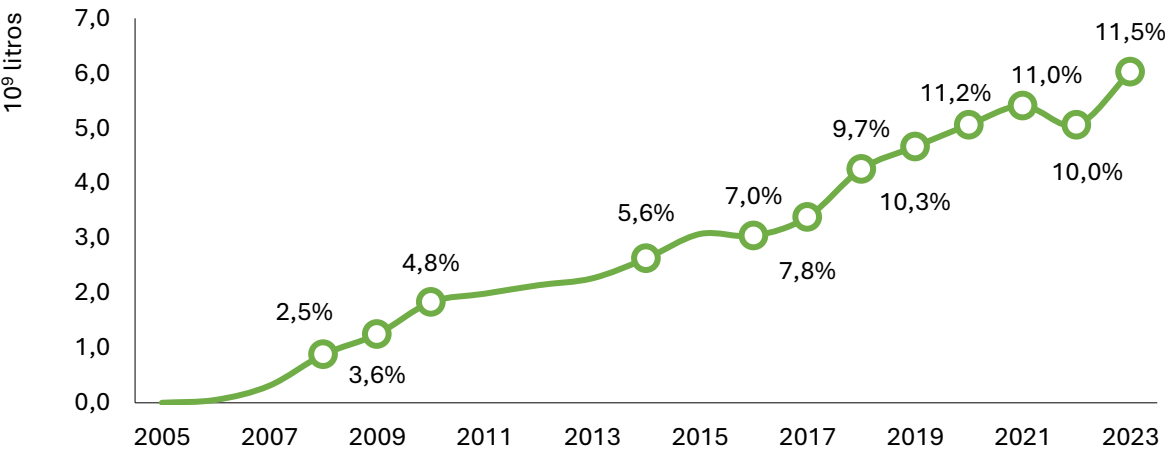
O ano de 2023 registrou recorde na demanda de óleo diesel B para transporte, com consumo de 41 bilhões de litros por caminhões e 2,4 bilhões de litros para o transporte de passageiros por comerciais leves.

O incremento da demanda de óleo diesel rodoviário total em 2023 foi de 1,7 bilhão de litros (+3,3%). Desse aumento, os caminhões foram responsáveis pelo consumo de 946 milhões de litros (78% da demanda), os ônibus por 442 milhões, e os comerciais leves para transporte de passageiros por 268 milhões.

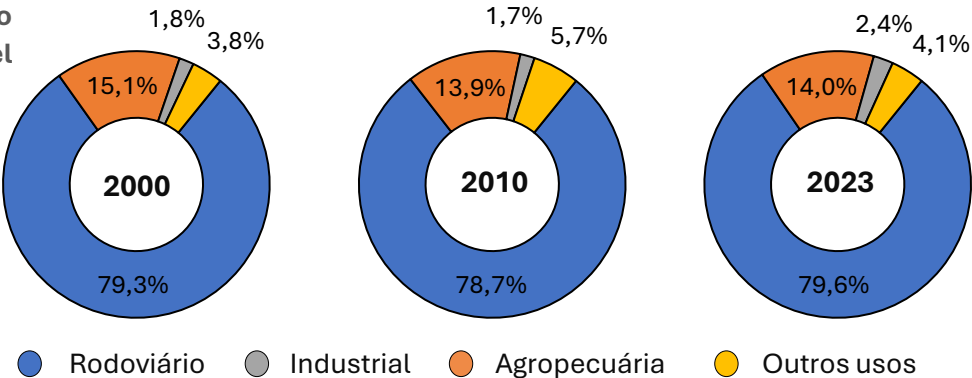
Importante destacar que o percentual mandatório de mistura de biodiesel no óleo diesel passou para 12% a partir de abril de 2023, expandindo a produção de biodiesel em 19%. Neste sentido, o aumento do mandatório permitiu que a demanda adicional de óleo diesel B fosse suprida por 970 milhões de litros de biodiesel, amenizando o aumento da demanda de diesel fóssil para somente 1,5%.

Figura 57: Evolução do consumo de biodiesel rodoviário e percentuais médios de adição

Fonte: Elaborado por EPE



Divisão setorial do uso de óleo diesel



Considerações Finais do Setor de Transportes



O setor de transportes é o maior consumidor de energia do País, seguido de perto do setor industrial. A principal razão para a elevada intensidade energética dos transportes é o perfil da matriz de transportes, extremamente dependente do modo rodoviário. Em 2023, o transporte de cargas registrou crescimento de 3,5%, pelo aumento da atividade econômica e da maior utilização de caminhões, conduzindo a uma elevação da demanda de óleo diesel. A demanda energética também cresceu, apesar de avanços na eficiência energética de cada modo.



Em 2023, a atividade de transporte por passageiros ultrapassou os níveis pré-pandemia, crescendo 15%. O número de passageiros em ônibus, trens, metrô e aeronaves ainda ficou abaixo dos patamares registrados em 2019, com migração de usuários do transporte coletivo para o transporte individual. Neste sentido, ocorreu o aumento da frota de automóveis e de motos. Apesar do transporte individual motorizado estar mais eficiente, comparativamente a outros anos, a perda de usuários do transporte público reduziu a eficiência sistêmica do setor, e elevou a demanda energética do transporte de passageiros. O aumento do licenciamento de comerciais leves esportivos (SUVs) e comerciais leves a diesel também elevou o consumo específico da frota.



Por mais um ano, houve quebra de recorde, tendo a demanda por combustíveis do ciclo Otto crescido a uma taxa expressiva de 5,7%. Em 2023, a demanda por etanol hidratado aumentou 7% (mesmo valor registrado pela gasolina C), permitindo que o etanol hidratado suprisse 21% da demanda energética do transporte rodoviário individual. Quando se considera também a parcela de etanol anidro, o total de etanol combustível atendeu 37% da demanda total.



No ano de 2023, as exportações e movimentação portuária, em patamares superiores ao histórico, elevaram a demanda por atividade de transporte. O transporte de cargas bateu novo recorde em termos de eficiência energética, reduzindo seu consumo energético por atividade de transporte em mais 1,3%. O transporte ferroviário e aquaviário se expandiram, mas o destaque foi o transporte rodoviário por caminhões. Apesar da maior eficiência em parte de caminhões semipesados e pesados vendidos, a demanda adicional por diesel desse segmento representou aproximadamente 1 bilhão de litros.



A demanda de óleo diesel rodoviário elevou-se em 1,7 bilhão de litros em 2023. Esse aumento coincidiu com a entrada do novo percentual de adição obrigatória de biodiesel de 12% em abril, resultando em uma participação anual de 11,5%. O biodiesel permitiu que quase 1 bilhão de litros do aumento total de óleo diesel rodoviário fosse suprido pelo combustível renovável. A expansão da oferta de biodiesel em 2023 foi de 19%.

Capítulo especial sobre o setor de ferroligas e silício metálico

1. Análise do setor de ferroligas e silício metálico

1.1. Panorama geral

As **ferroligas** são materiais metálicos compostos por ferro e algum outro elemento químico, tais como manganês, silício, cromo e níquel. São utilizadas na produção metalúrgica para conferir propriedades desejáveis aos metais. Destinam-se principalmente à produção de diferentes tipos de aço¹, contribuindo como um importante insumo para o aperfeiçoamento da qualidade dos produtos siderúrgicos ao agregar características específicas de acordo com o elemento ligado.

O **silício metálico** é um semimetal, usualmente classificado no grupo de ferroligas pela semelhança no processamento industrial, obtido pela redução carbotérmica de fontes de Silício (quartzo) em forno elétricos, porém com aplicações diferenciadas. O Si-metálico grau metalúrgico, por meio de processos de refinamento e purificação pode dar origem ao Si-metálico grau químico, grau solar e grau eletrônico.

Figura S1: Exemplos de aplicações de ferroligas e silício metálico nos setores econômicos

Fonte: Abrafe (2024)



O setor industrial brasileiro de ferroligas e silício metálico contribui para a descarbonização da cadeia metalúrgica e obtenção de novos materiais estratégicos à transição energética, impulsionado pela crescente demanda por metais cada vez mais especializados, bem como pelos componentes necessários à fabricação de painéis solares e baterias.

^[1] Tipos de aço, tais como: aço inoxidável, aço-ferramenta, aços microligados (ABNT NBR 8643 Produtos siderúrgicos de aço).

1.1.1. Tipos de ligas e aplicações

Ferro-Silício (FeSi): É uma ferroliga de ferro e silício, geralmente com teores de silício entre 15% e 90%. O ferrosilício é amplamente utilizado na indústria siderúrgica para desoxidar o aço e melhorar suas propriedades mecânicas e magnéticas.

Ferro-Níquel (FeNi): ferroligas com um teor de Níquel entre 15% e 80%. A maior parte do aço inoxidável contém cerca de 8 a 10% de níquel, sendo utilizado principalmente na produção de aço inoxidável.

Ferro-Cromo (FeCr): ferroliga de ferro e cromo em diferentes proporções, essencial na produção de aços inoxidáveis especificados com maior resistência à corrosão e dureza.

Ferro-Manganês (FeMn): ferroliga de ferro e manganês, usado principalmente na fabricação de aço para melhorar suas propriedades de endurecimento e resistência.

Ferro-Nióbio (FeNb): ferroliga com teor de nióbio de 60 a 70%, principal fonte de nióbio na fabricação dos Aços de Alta Resistência e Baixa Liga, aplicado em projetos de alta tecnologia como bateria de veículo elétrico, equipamento de ressonância magnética, turbina de avião, acelerador de partículas, foguetes e sondas espaciais.

Ferro-Silício-Manganês (FeSiMn): ferroliga usada principalmente na siderurgia como desoxidante e na especificação de propriedades mecânicas do aço. Sua composição eleva a resistência ao desgaste, a dureza e a ductilidade, tornando-o essencial para a produção de aços estruturais e de alta resistência, além de contribuir para a pureza e qualidade metalúrgica em aços especiais.

Ferro-Silício-Cromo (FeSiCr): ferroliga utilizada principalmente na produção de aços inoxidáveis e ligas resistentes à corrosão. Sua função principal é introduzir o cromo e o silício no aço, elementos que aumentam a resistência à corrosão e à oxidação em altas temperaturas, além de contribuir para a dureza e a estabilidade do material.

Silício Metálico: O silício metálico é usualmente classificado no grupo de ferroligas pela semelhança no processo produtivo, sendo obtido pela redução carbotérmica de fontes de silício (quartzo) em fornos elétricos a arco submerso. Dependendo da sua especificação, grau de pureza e aplicação, o silício é classificado como grau metalúrgico, químico, solar ou eletrônico. Algumas das suas principais aplicações, são as seguintes:

- **Metalurgia do Alumínio:** fonte de silício para formação de ligas com alumínio, aplicadas em diversos segmentos industriais.
- **Indústria química:** produção de silicones. O silício moído entra em reação com cloreto de metila em reator de leito fluidizado para obtenção dos silanos, que posteriormente são derivados para produção de silicones ou silício ultra purificado para a indústria eletrônica ou fotovoltaica.
- **Energia:** o silício é o elemento crucial na produção de células solares fotovoltaicas.
- **Indústria Eletrônica:** usado na produção de semicondutores e dispositivos eletrônicos, sendo essencial na fabricação de chips e circuitos integrados.

1.2.1. Aplicações no Uso de Ferroligas e Silício Metálico

As ferroligas e o silício metálico apresentam diversas aplicações, destacando-se alguns, tais como:



Materiais estruturais: ferroligas são essenciais na fabricação do aço, empregado em vigas, pilares e outras estruturas. O silício metálico é o principal elemento de liga para as ligas de alumínio, presente nas esquadrias de portas e janelas. Além disso, o silício metálico é a matéria-prima principal para a fabricação dos silicones, presentes nos selantes e adesivos para acabamentos nas obras civis. A sílica ativa ou sílica fume, subproduto da fabricação de ferrosilício e silício metálico, é utilizada como aditivo para o concreto, contribuindo para a melhoria de suas propriedades físicas e mecânicas.



Automóveis: as ferroligas desempenham um papel fundamental na produção de aços de alta resistência, durabilidade e segurança. São utilizados, por exemplo, para desoxidar o aço e melhorar suas propriedades mecânicas, garantindo a segurança e a confiabilidade dos veículos. Peças fundidas de alumínio, com alto teor em silício, como blocos de motor e peças estruturais de baixo peso, contribuem para a redução do consumo de combustíveis.



Dispositivos eletrônicos: o silício se destaca também nos dispositivos eletrônicos como smartphones, tablets e computadores. Ele é o principal material utilizado na fabricação de semicondutores, componentes essenciais para o funcionamento desses dispositivos.



Equipamentos de energia renovável: o silício metálico desempenha um papel crucial na fabricação de células solares fotovoltaicas. Essas células são essenciais para a produção de energia solar, uma fonte limpa e sustentável de eletricidade. O silício é utilizado na composição dos painéis solares, onde converte a luz solar em energia elétrica.



Indústria de alimentos: equipamentos utilizados na produção e processamento de alimentos, como máquinas, fornos, tanques, tubulações, geladeiras e recipientes de cozinha, os aços inoxidáveis, produzidos a partir do ferro-cromo e ferro-níquel, são amplamente utilizados devido à sua resistência à corrosão e facilidade de limpeza.



Cosméticos e materiais de higiene: os silicones estão presentes nos mais inovadores produtos para o cuidado da pele, como cremes, shampoos e desodorantes.



Materiais hospitalares: Ferro-cromo e ferro-níquel estão presentes em instrumentos cirúrgicos em aço inox. Os silicones, que são produzidos a partir do silício metálico, estão presentes em equipamentos hospitalares, próteses cirúrgicas e até mesmo medicamentos, como a dimeticona, um silicone medicinal indicado para o alívio do excesso de gases no estômago ou no intestino.

1.2. Processo produtivo

A produção de ferroligas e de silício metálico é um processo de alta intensidade energética, essencial para diversas indústrias, como a siderúrgica e a eletrônica. Este processo utiliza fornos elétricos de redução, que operam a elevadas temperaturas para converter óxidos metálicos em ligas contendo ferro ou em silício metálico, por meio de reações químicas de redução.

A produção inicia-se com a mistura de matérias-primas, como minérios do metal desejado e uma fonte de carbono, que pode ser de origem mineral ou vegetal. Essa mistura é submetida a altas temperaturas nos fornos elétricos, onde o uso de energia elétrica é intensivo. A eficiência no consumo energético é uma variável crítica, viabilizando a produção em larga escala e contribuindo para a redução de custos de produção.

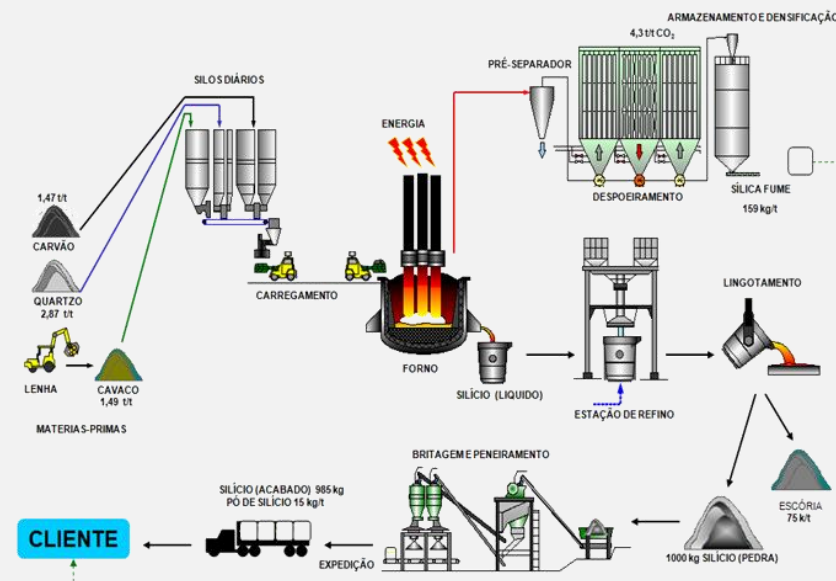
Nos fornos de arco elétrico, a passagem de corrente elétrica entre os eletrodos gera calor, fundindo a carga e promovendo a reação de redução na presença de carbono, que transforma os óxidos metálicos em ferroligas ou em silício metálico. Durante a operação, os gases gerados são captados e passam por processos de remoção de material particulado, contribuindo para a sustentabilidade do processo.

No caso das ferroligas, as propriedades desejadas – como a proporção de ferro e de elementos de liga (níquel, cromo, manganês, silício, entre outros) – determinam o tipo de forno, os insumos e os parâmetros operacionais aplicados. A produção exige controle rigoroso de qualidade e de processo, assegurando que as ferroligas ou o silício metálico atendam às especificações requeridas.

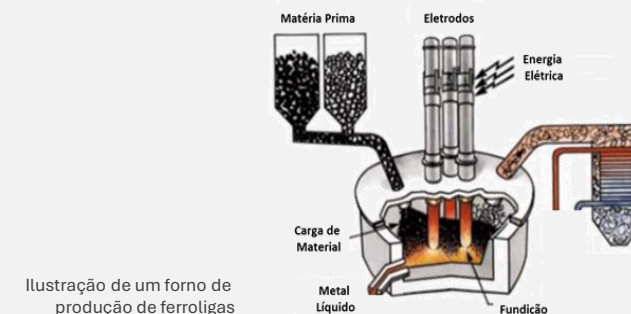
A indústria brasileira de ferroligas e silício metálico tem evoluído em direção a tecnologias que aumentam a eficiência energética e a sustentabilidade, como o uso de biomassa e outras fontes renováveis de energia, em substituição aos combustíveis fósseis. Esses avanços são particularmente relevantes no contexto da transição energética, colocando o Brasil em posição competitiva para atender aos requisitos de baixa emissão de carbono exigidos pelo mercado global.

Figura S2: Fluxograma do processo produtivo de ferroligas e silício metálico

Fonte: Abrafe (2024)



Fluxograma de produção do silício metálico



1.2.1. Custos de Produção

A produção de ferroligas envolve diversos fatores de custo que afetam diretamente a competitividade no mercado internacional, dentre os quais, destacam-se:



Energia Elétrica: A produção de ferroligas é altamente eletrointensiva, exigindo grande quantidade de energia elétrica para alimentação dos fornos de redução, o que se apresenta como uma vantagem comparativa para o Brasil em relação à média do mundo e dos países da OCDE, devido ao elevado grau de renovabilidade da matriz elétrica nacional.



Redutores: Essencial no processo de redução, os reductores, como carvão vegetal, carvão mineral, coque e outros materiais carbonosos, são utilizados para remover o oxigênio dos óxidos metálicos. O Brasil tem uma vantagem no uso de carvão vegetal renovável, mas depende de coque e carvão mineral importados, o que eleva os custos. Em contrapartida, países como China e África do Sul, com acesso abundante a carvão mineral, conseguem reduzir significativamente o custo de produção.



Eletrodos: Fundamentais para o processo de fusão-redutora, os eletrodos de carbono são usados para conduzir corrente elétrica ao forno, sendo consumidos durante o processo. O custo dos eletrodos pode variar dependendo de fatores como a demanda global e o preço das matérias-primas (coque de petróleo, piche e antracito). O Brasil importa uma grande parte dessas matérias-primas ou mesmo os eletrodos, o que pode aumentar os custos de produção, especialmente em momentos de alta demanda global, como foi observado em anos recentes. Em comparação, países produtores de eletrodos ou que têm maior acesso ao material, como a China, podem ter uma vantagem competitiva nesse aspecto.



Matérias-Primas (minério): O custo das matérias-primas, como quartzo, minérios de ferro, cromo, níquel e manganês, varia conforme a localização das minas e a logística de transporte. No Brasil, o minério é abundantemente disponível, o que é uma vantagem, mas a distância entre as minas e os centros de produção e a deficiência de infraestrutura modal podem aumentar o custo logístico.



Custos Ambientais e Regulatórios: Os custos associados às ações de mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) podem ser atenuados no caso brasileiro, em função das alternativas sustentáveis que o país dispõe, tais como o uso do carvão vegetal na indústria em substituição às fontes fósseis que são tradicionalmente utilizadas na maioria dos países produtores de ferroligas.



Mão de Obra: No Brasil, o custo de mão de obra é moderado em comparação a outros países produtores de ferroligas, o que torne esse fator de custo menos relevante do que os demais.

1.3. Competitividade do Brasil no Mercado Internacional de Ferroligas



Brasil

Possui forte potencial competitivo, em especial por sua energia renovável e o uso de carvão vegetal na produção de ferroligas. No entanto, a dependência de redutores importados, como coque e eletrodos.



China

Um dos maiores produtores de ferroligas e tem uma vantagem competitiva significativa devido ao seu acesso barato a carvão mineral, eletrodos e energia. Apesar da pressão ambiental crescente, o custo de produção na China ainda é mais baixo do que em muitos outros países.



África do Sul

Possui acesso abundante a carvão mineral, o que ajuda a reduzir os custos de produção. No entanto, problemas de infraestrutura e desafios políticos podem comprometer a competitividade em momentos de crise.



Estados Unidos

Apresenta custos de energia relativamente competitivos em comparação com outros países desenvolvidos, graças ao acesso abundante a gás natural e recursos energéticos de baixo custo. No entanto, o custo de redutores e eletrodos ainda é elevado, o que pode reduzir a competitividade em comparação com regiões como Brasil, China e África do Sul.



Europa

Enfrenta custos significativamente mais altos de energia devido à dependência de fontes energéticas importadas e políticas ambientais. Além disso, os custos de redutores e eletrodos são elevados, tornando a produção de ferroligas na região menos competitiva em comparação com outras áreas do mundo.

A competitividade do Brasil no mercado de ferroligas é determinada principalmente pelo acesso a recursos energéticos sustentáveis como o carvão vegetal e pela abundância de recursos minerais, mas enfrenta desafios com a importação de eletrodos e custos de energia, além da necessidade de importação de redutores.

1.3. Competitividade do Brasil no Mercado Internacional de Ferroligas

O mercado global de ferroligas atingiu US\$ 53,4 bilhões no ano de 2023 e apresenta expectativa de alcançar cerca de US\$ 91,8 bilhões até 2032, o que representaria um crescimento médio de 6,2% a.a. Dentre os principais fatores para isso, destacam-se:

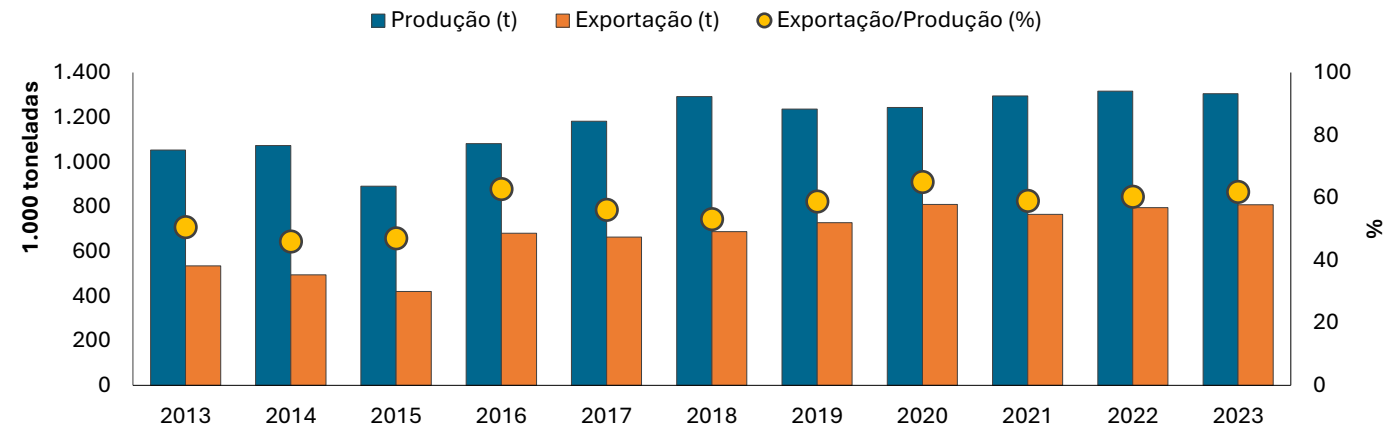
- expansão da indústria siderúrgica global, particularmente nas economias em rápido desenvolvimento na Ásia-Pacífico
- a crescente necessidade de aços de alta resistência e baixa liga em várias indústrias e
- os avanços tecnológicos nos processos de produção.
- o rápido processo de urbanização e industrialização nessas regiões aumenta a necessidade de aço e, conseqüentemente, de ferroligas.

No Brasil, o faturamento do setor atingiu R\$ 35,4 bilhões em 2022, sendo R\$ 26,1 bilhões em exportações (73,7% do faturamento total).

As exportações do setor, quando associadas à substituição de importações¹ contribuíram com o equivalente a 11% do saldo da balança comercial brasileira em 2022.

A produção nacional de ferroligas e silício metálico superou a marca de 1 milhão de toneladas anuais desde 2018, atingindo 1,30 milhão em 2022.

Figura S3: Valores de Produção e Exportação de ferroligas e silício metálico (mil toneladas)
Fonte: Abrafe (2024)



Apesar dos desafios enfrentados, caracterizados pelo elevado nível de insegurança que comprometeu a capacidade de recuperação das economias pós-pandemia, aliados aos conflitos internacionais Rússia/Ucrânia, o Brasil destacou-se no aumento da produção e das exportações de ferroligas e de silício metálico, mantendo-se a expectativa de crescimento contínuo do setor.

^[1] Substituição de importações refere-se a produção nacional do setor, suprimindo a necessidade de importações de ferroligas e silício metálico para consumo interno. É calculado pelo faturamento total do setor de ferroligas e silício metálico sobre o saldo da balança comercial brasileira.

1.4. Panorama nacional

1.4.1. Histórico do segmento de ferroligas no Brasil

O setor de ferroligas e silício metálico no Brasil tem suas origens no século XVIII, mas ganhou impulso significativo no início do século XX com alguns marcos:

Em 1906...

...um pequeno laboratório da Escola de Minas em Ouro Preto, Minas Gerais, produziu ferro manganês usando um forno rudimentar.

Durante a 1ª Guerra Mundial, o laboratório foi ampliado e passou a produzir ferro manganês para as oficinas da rede ferroviária, devido ao desabastecimento de materiais importados. No entanto, as experiências em fornos elétricos foram interrompidas em 1919, levando à desativação da Usina da Escola de Minas.

Na década de 1930, surgem pequenas empresas ligadas a instalações hidrelétricas, tais como a Companhia Brasileira de Carbureto de Cálcio (CBCC), fundada em 1912, a Companhia Nickel do Brasil, criada em 1932, a Elquisa-Eletroquímica Brasileira SA, fundada em 1934, e a Companhia Nacional de Ferroligas, estabelecida em 1940.

Essas empresas foram fundamentais para o desenvolvimento do setor, que inicialmente enfrentou desafios como a baixa disponibilidade de energia elétrica e um mercado interno pequeno. A **Companhia Siderúrgica Nacional, criada no mesmo período, foi um marco para o crescimento do setor.**

Na década de 1970 e final de 1980 o setor experimentou um grande desenvolvimento, impulsionado por grandes projetos hidrelétricos e expansão da siderurgia. Na década de 1970, com incentivos da SUDENE, algumas empresas de ferro-silício e silício metálico se instalaram na região norte de Minas, tais como LIASA, Minas Ligas, Inonibrás e Eletrosilex.

No final da década de 1980, a implantação da hidrelétrica de Tucuruí e o Projeto Grande Carajás possibilitaram a produção de silício metálico na região norte com a Camargo Corrêa Metais (CCM). Neste período, o Brasil se tornou o 4º maior produtor mundial e o 3º maior exportador de ferroligas.

A partir da década de 1990 houve aumento dos preços da energia elétrica, abertura do mercado brasileiro, estabilização da moeda e desvalorização do dólar, o que fez o setor passar por reestruturação significativa. Muitas unidades foram desativadas e as remanescentes tiveram que se adaptar às novas exigências de qualidade e produtividade.

O setor também foi afetado pelo racionamento de energia elétrica sofrido em 2001, quando a produção sofreu significativa redução. Desde 2013 o setor vem se reestruturando e apresentando a retomada do seu crescimento e mais recentemente, houve uma expansão significativa na produção de ferro-níquel e ferro-nióbio no Brasil.

A produção de ferro-níquel tem crescido, especialmente para atender à indústria de aço inoxidável, enquanto o ferro-nióbio, consolidou o Brasil como um dos principais produtores mundiais. Atualmente, o Brasil possui capacidade de produção de cerca de 1,3 milhões de toneladas por ano, conta com cerca de 100 fornos em operação, ocupa a 6ª posição entre os produtores mundiais e encontra-se apto e maduro para a evoluir e atender às demandas futuras.

1.4.2. Produção e Exportação

A produção do setor de Ferroligas e silício metálico no Brasil ficou em torno de 1 milhão de toneladas ao longo dos anos de 2005 a 2023, com leve queda em 2014, em virtude da crise hídrica ocorrida naquele ano, seguida de crescimento estável nos anos seguintes. As exportações atingiram seu maior pico em 2020, com volume de 810 mil toneladas, o que equivaleu a 66% da produção nacional naquele ano.

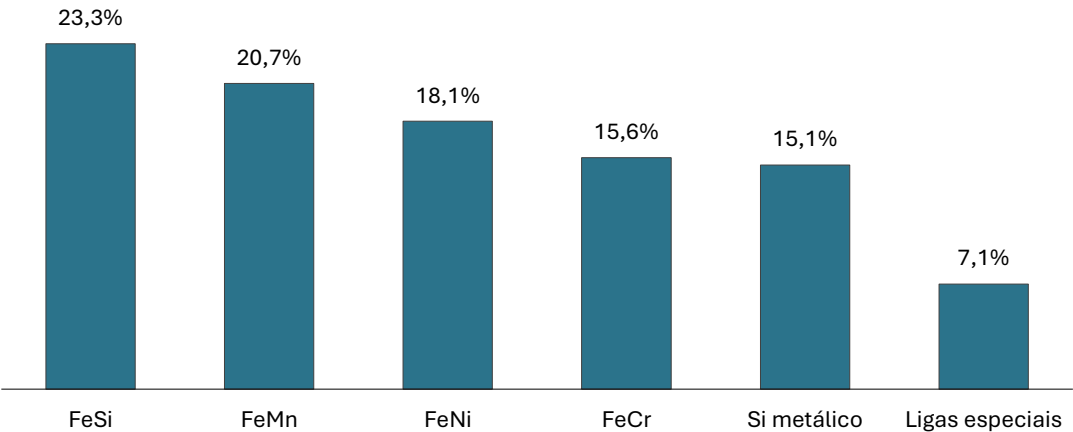
Nos últimos anos, as exportações se estabilizam entre 500 e 600 mil toneladas, e a proporção entre os totais exportados e produzidos variou entre 50% e 66% ao longo do período 2005 – 2023, evidenciando a predominância exportadora do setor.

Em 2023, a produção atingiu o volume de 1,29 milhão de toneladas, sendo:

- 23,3% de ferroligas à base de silício
- 20,6% de ferroligas à base de manganês
- 18,1% de ferroligas à base de níquel
- 15,6% de ferroligas à base de cromo
- 15,1% de silício metálico e
- 7,1% de ferroligas especiais.

O setor exportou 796 mil toneladas em 2023, ou seja, 62% da produção.

Figura S4: Participação de cada tipo de liga e de silício metálico na produção em 2023
Fonte: Abrafe (2024)



A balança comercial brasileira registrou um saldo recorde de US\$ 98,8 bilhões em 2023 (aproximadamente R\$ 493 bilhões), segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (Secex) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). As exportações do setor de ferroligas e silício metálico somadas à substituição de importações¹, contribuíram com R\$ 27,4 bilhões, representando 5,5% do saldo da balança comercial brasileira em 2023.

^[1] Substituição de importações refere-se a produção nacional do setor, suprimindo a necessidade de importações de ferroligas e silício metálico para consumo interno. É calculado pelo faturamento total do setor de ferroligas e silício metálico sobre o saldo da balança comercial brasileira.

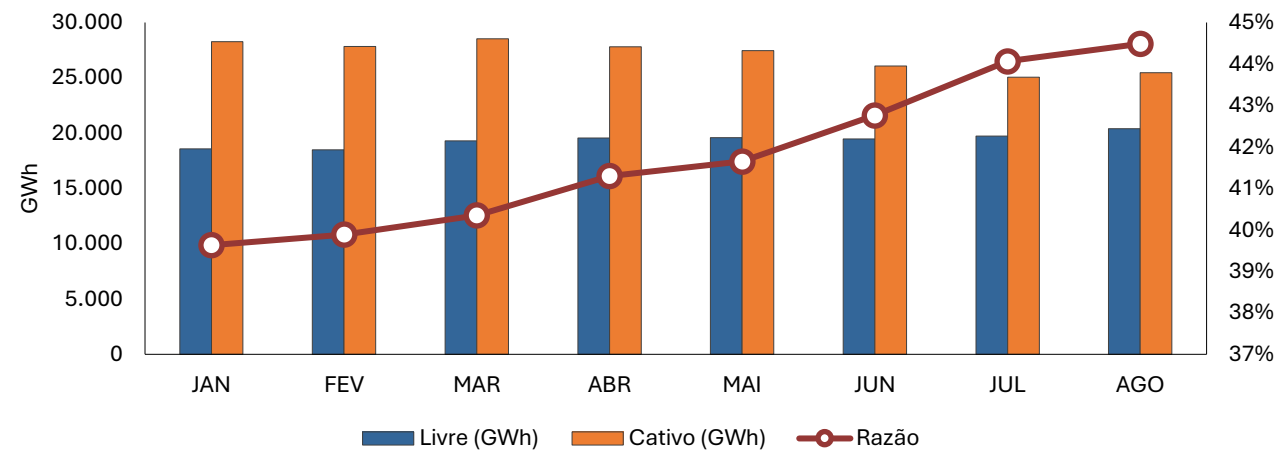
1.4.3. Consumo de energia elétrica

O setor de ferroligas e silício metálico é considerado fortemente eletrointensivo, sendo a energia elétrica parte significativa de sua operação. Em 2023, o consumo total desse setor atingiu expressivos (9.609,8 GWh), representando a utilização de 82% da capacidade instalada das plantas industriais. Esse montante de consumo também corresponde a aproximadamente 4,5% de todo o mercado livre de energia no Brasil.

O mercado livre de energia teve um papel cada vez mais importante nos últimos anos e representou 41% de todo o consumo de energia elétrica no país em 2024¹. Isso demonstra uma crescente adesão das indústrias à migração para o mercado livre, em busca de melhores condições tarifárias e maior previsibilidade nos custos de energia, fator crucial para a competitividade dos setores eletrointensivos.

Figura S5: Consumo de energia elétrica (GWh) livre e cativo de janeiro à agosto de 2024 (eixo da esquerda) e razão [Consumo Livre]/[Consumo Cativo] (eixo da direita)

Fonte: Dados do SIMPLES (EPE, 2024d).



Essa interdependência entre a produção de ferroligas e silício metálico e o mercado de energia elétrica reflete o desafio contínuo de equilibrar a demanda crescente com fontes de energia renováveis e custo-efetivas, garantindo a viabilidade econômica de uma indústria essencial para diversos setores econômicos.

^[1] Valor apurado até agosto de 2024 e disponível no Painel de Consumo de Eletricidade, acessível em [Dashboard Resenha](#)

1.4.4. Geração de Empregos e Desenvolvimento Humano

O setor de ferroligas e silício metálico tem se destacado não apenas por sua relevância industrial, mas também pela sua contribuição significativa à geração de empregos e ao desenvolvimento humano nas regiões onde atua. Desde 2020, o setor tem registrado crescimento contínuo na criação de postos de trabalho, atingindo seu maior pico em 2023, com a geração de 62.135 empregos, dos quais 13.808 são empregos diretos e 48.327 indiretos. Essa expansão da força de trabalho reflete o impacto positivo que o setor exerce sobre a economia local e nacional.

Além da criação de empregos, o setor desempenha um papel crucial no desenvolvimento regional, especialmente em municípios do interior dos estados onde suas fábricas estão instaladas. Com presença em 23 municípios de 8 estados brasileiros, o setor tem contribuído de maneira relevante para o aumento do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dessas localidades. De acordo com dados do IBGE e do IPS Brasil, os municípios que abrigam fábricas do setor apresentam um IDH 5% superior em comparação a municípios vizinhos de porte populacional semelhante, com destaque para o IDH relacionado à Educação, que é 4 p.p. mais elevado¹.

Figura S6: Comparativo IDH 2010

Fonte: IBGE – Atlas Brasil (2024)

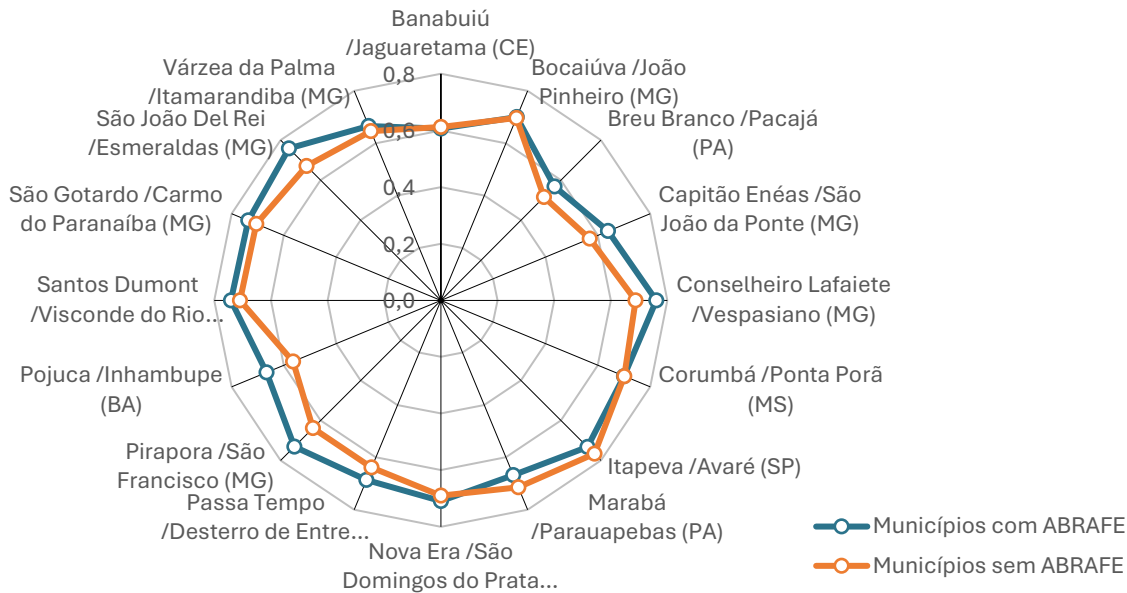
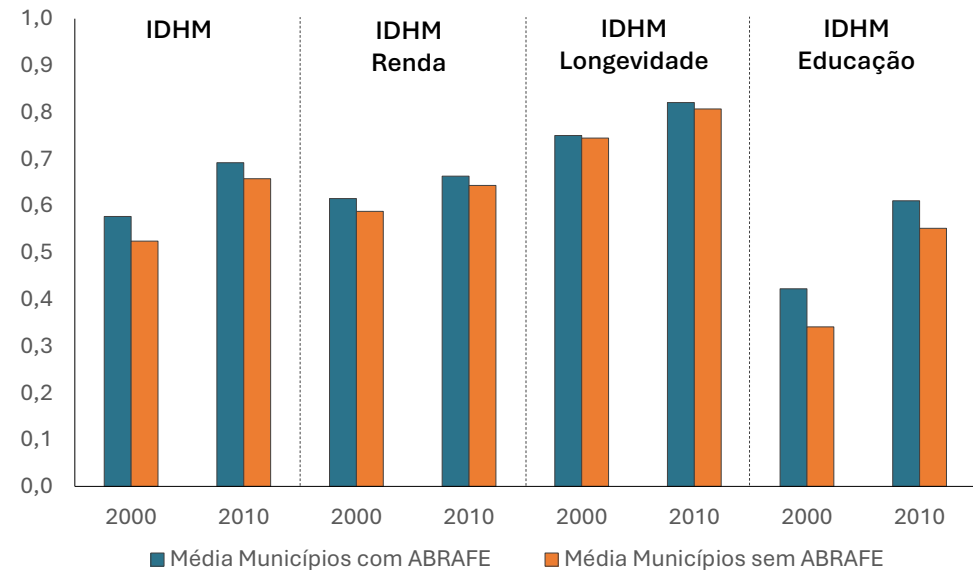


Figura S7: Comparativo IDHM 2000 - 2010

Fonte: IBGE – Atlas Brasil (2024)



^[1] 4 p.p refere-se a 4 pontos percentuais mais elevado.

Quando comparados ao IDH médio do Brasil, esses municípios também apresentam resultados superiores, o que evidencia o papel do setor no avanço das condições de vida das populações locais. O Índice de Progresso Social (IPS), que avalia a qualidade de vida de forma multidimensional, confirma essa tendência.

Ao analisar os dados mais recentes, verifica-se que os municípios com atuação do setor de ferroligas e silício metálico têm uma avaliação de IPS em média 6% superior em relação a outras localidades, com um destaque significativo no índice de oportunidades, que é 10% maior.

Esses números demonstram que o setor não só gera empregos e movimenta a economia, como também impulsiona melhorias concretas nas condições de vida e nas oportunidades oferecidas às populações das regiões onde está presente, contribuindo diretamente para o desenvolvimento humano e social.

Figura S8: Comparativo IPS 2024

Fonte: IPS Brasil (2024)

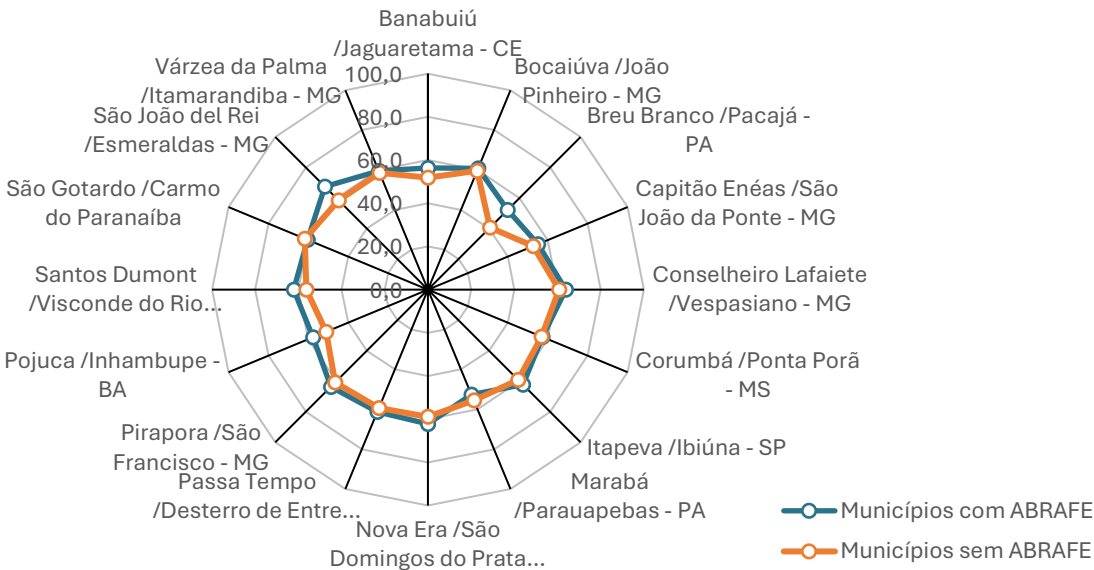
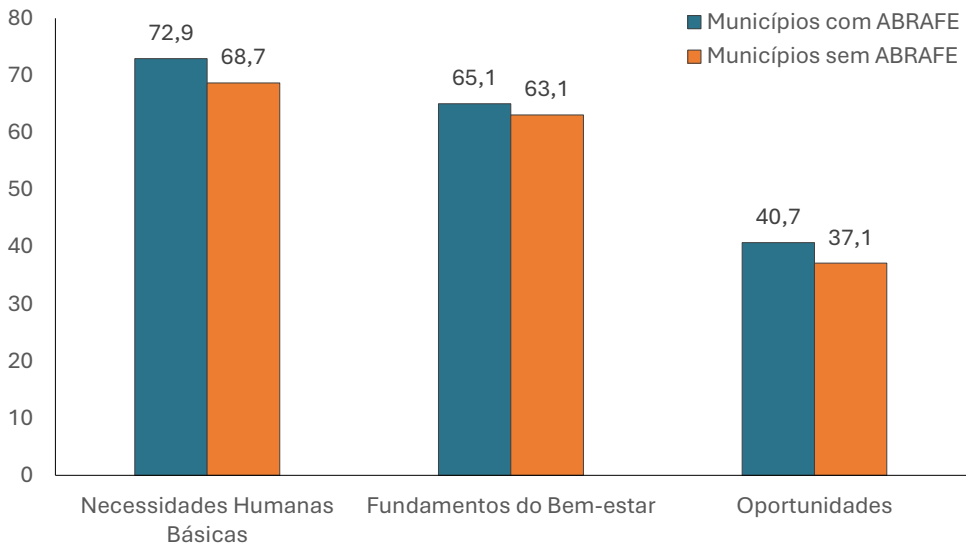


Figura S9: Dimensões do IPS Brasil 2024

Fonte: IPS Brasil (2024)



[1] 4 p.p refere-se a 4 pontos percentuais mais elevado.

1.4.5. Principais empresas e localizações

As principais empresas produtoras de ferroligas no Brasil, ficam concentradas no centro-sul do país, com destaque para o estado de Minas Gerais onde se localiza mais da metade das empresas listadas a seguir.

Figura S10: Localização geográfica das principais empresas de ferroligas no Brasil

Fonte: Abrafe (2024)¹



^[1] Mapa das localizações disponível em <https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1lwMFDtVLzwBww3hbO3gKdgwLkOmrlM&usp=sharing>

Tabela S1: Destaques das principais empresas de ferroligas no Brasil

Fonte: Abrafe (2024)

Empresa	Estado	Principais destaques
BOZEL	MG	Maior produtora de Cálcio Silício do ocidente, sendo também produtora de outras ferro ligas em inúmeras granulometrias
DOW	PA e MG	2 unidades de produção de silício metálico, uma no Estado do Pará (ex. CCM) e outra em Minas Gerais (ex. CBCC)
ELETROLIGAS	MG	Produção de ferro-manganês Alto Carbono e Ferro Silício Manganês
FERBASA	BA	Mineração, metalurgia, recursos florestais e energia renovável. única produtora integrada de ferro-cromo das Américas
FERLIG	MG	Produz atualmente FeSiMn 12-16%, com capacidade de 2.000 toneladas mensais
FERMAR	PA	Ferro-manganês utilizando três fornos elétricos de redução, sendo dois de 12.5 MVA e um de 10.5 MVA
Granha Ligas	MG e MS	Produz ferroligas de manganês e está posicionada entre os maiores produtores nacionais
Inonibrás	MG	Produção de ferro-silício e inoculantes voltada para processos de refino de metais em fundições de aço e ferro fundido.
LIASA	MG	Produção de silício metálico
LIBRA LIGAS	CE	Ferro-silício 75% e inoculantes
Maringá Ferro-Liga	PR	Ferro sílico-manganês e ferro manganês alto carbono, através de cinco fornos elétricos de redução.
MINASLIGAS	MG	Ferro Silício, Silício Metálico e Microsílica
Nova Era Silicon S.A.	MG	Ferro silício para atender o mercado nacional e internacional
RIMA Industrial	MG	Produção e comercialização de ligas à base de silício e magnésio
CBMM	MG	Líder mundial na produção e comercialização de produtos de nióbio
Mineração Taboca	AM	Uma das principais produtoras de estanho e nióbio no Brasil
Anglo American	MG e GO	Mineração de minério de ferro e níquel e produção de ferro-níquel
CMOC	GO	Opera minas de niobatos e fosfatos, produção de ligas ferro-nióbio
Vale-Onça Puma	PA	Processo de redução e fundição do minério de níquel e produção ferro-níquel
Nexus Ligas	MG	Produz diferentes ligas de manganês

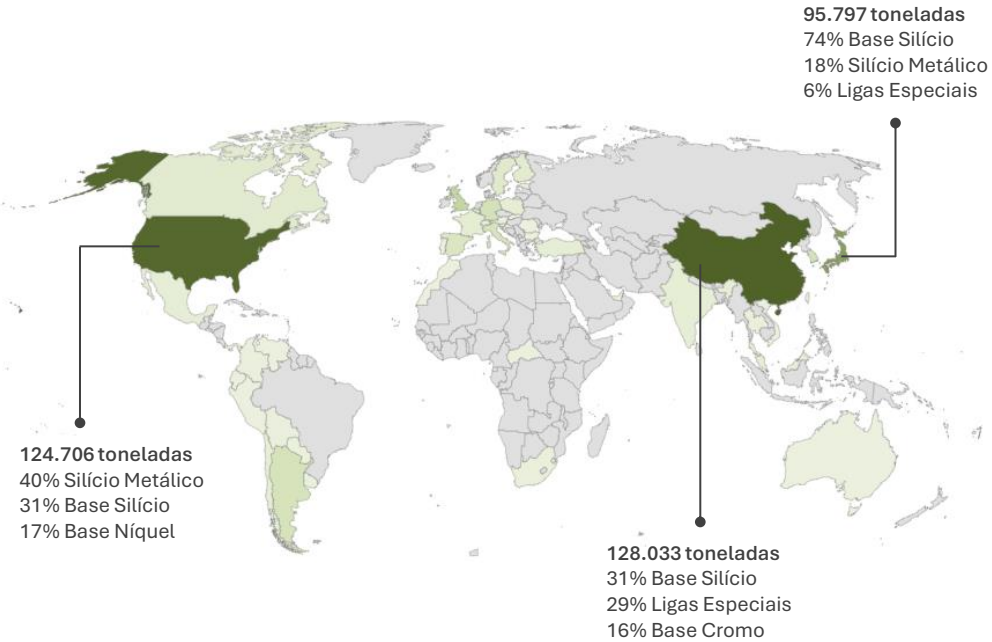
1.4.6. Destino das exportações de ferroligas e silício metálico em 2023

Em 2023, as exportações de ferroligas foram destinadas principalmente à China (15,8%), Estados Unidos (15,45%) e Japão (11,9%). Os países da União Europeia ficaram em quarto lugar, seguidos pelo Reino Unido. No entanto, cerca de 40% das exportações foram destinadas a outros países, tais como Austrália, Índia, África do Sul, Turquia, México, Canadá e praticamente todos os vizinhos da América do Sul.

Tabela S2: Destino das exportações brasileiras por tipo de liga

Fonte: Abrafe (2024)

Tipos de ligas (t)	China	EUA	Japão	UE ¹	RU	Outros	Total
Base Manganês	-	911	-	3.235	-	47.511	51.657
Base Silício	13.973	39.102	70.488	15.756	194	81.604	221.118
Base Cromo	20.565	7.243	1.806	7.373	54	13.282	50.323
Base Níquel	56.385	21.599	1.130	23.111	27.699	82.171	212.095
Especiais (FeNb)	36.534	6.058	5.406	17.658	50	23.533	89.239
Silício Metálico	576	49.793	16.966	10.386	31.843	74.299	183.863
Total	128.033	124.706	95.797	77.519	59.841	322.400	808.295
Participação (%)	15,8%	15,4%	11,9%	9,6%	7,4%	39,9%	100%

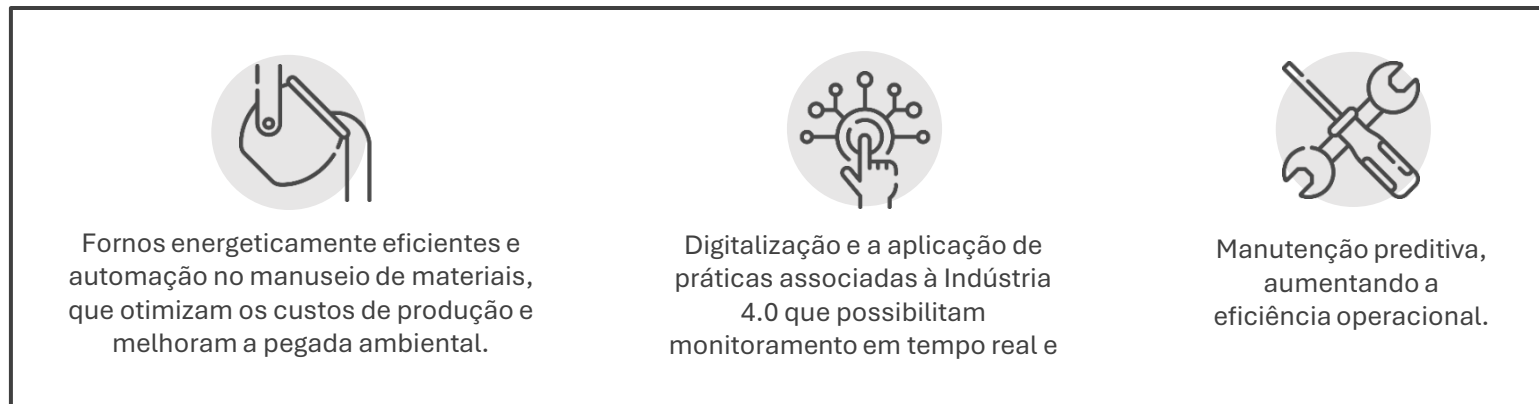


Dentre os tipos de ligas exportadas pelo Brasil, as ligas à base de Silício, de Níquel e as ligas de Silício Metálico respondem por mais de ¾ do total de toneladas e apresentam participações nas exportações de 27,4%, 26,2% e 22,7%, respectivamente.

^[1] Entrada na Europa continental a partir do porto de Roterdã na Holanda

1.5. Desenvolvimentos tecnológicos

Alguns avanços tecnológicos estão beneficiando a indústria de ferroligas por meio de inovações tais como:



No Brasil, um dos desenvolvimentos tecnológicos notáveis é a tecnologia de eletrodos de auto cozimento para a produção de silício metálico. Esta inovação proporciona melhor aproveitamento energético e redução de custos de produção, destacando-se como um avanço significativo na indústria. A demanda crescente por aços de maior valor agregado exige níveis de impureza cada vez menores, uma vez que matérias-primas mais puras impulsionam o aprimoramento das técnicas de refino das ferroligas.

Ao mesmo tempo, a crescente tendência aplicação de práticas mais sustentáveis associadas ao atendimento às regulamentações ambientais no processos produtivos, tais como o aproveitamento da sílica fume e o desenvolvimento de briquetes autorredutores. Dessa forma, as principais tecnologias são as seguintes:

- Tecnologias de Controle de Fornos Elétricos de Redução
- Eletrodos de auto cozimento para fabricação de silício metálico
- Sílica fume
- Briquetes autorredutores
- Aprimoramento das Técnicas de Refino das Ferroligas e Silício.

1.5.1. Tecnologias de Controle de Fornos Elétricos de Redução

Nas últimas décadas, o *design* e a operação dos fornos elétricos passaram por avanços significativos, com a indústria movendo-se em direção a uma maior potência e à maximização da eficiência operacional. Esse impulso para uma maior eficiência, aliado a condições operacionais mais desafiadoras a maior variabilidade dos minérios, tem exigido a evolução dos sistemas de instrumentação e controle dos fornos para garantir uma operação segura e eficiente.

Sistemas de controle que buscam o melhor ajuste do rendimento elétrico aliados ao controle do balanço de massas para otimização do rendimento metalúrgico são amplamente utilizados. Aspecto importante na otimização da eficiência operacional dos fornos é a integração e coordenação dos equipamentos a montante e a jusante com a operação do forno. São observados avanços recentes em instrumentação, alguns dos quais ainda estão em desenvolvimento, que continuarão a moldar a próxima geração de operações de fornos metalúrgicos. Tecnologias emergentes prometem ainda mais melhorias na precisão, confiabilidade e eficiência dos sistemas de controle.

Figura S11: Exemplo de forno elétrico de redução (esquerda) e de uma Sala de comando (direita)

Fonte: Abrafe (2024)

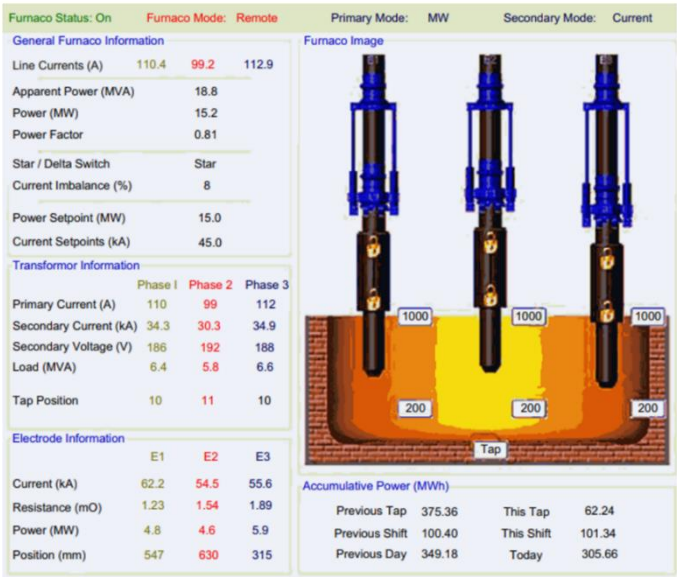


(Forno elétrico de redução)

(Sala de comando)

Figura S12: Tela de sistema supervisorio de controle de fornos

Fonte: Abrafe (2024)



(Sistema supervisorio de controle de fornos)

1.5.2. Eletrodos de auto cozimento para fabricação de silício metálico

As ferroligas são produzidas em fornos elétricos de redução e utilizam eletrodos de carbono para conduzir a energia elétrica para a zona de reação. Normalmente são utilizados eletrodos de auto cozimento, conhecidos como eletrodos Soederberg.

Os eletrodos de auto cozimento Soederberg são amplamente utilizados na indústria de ferroligas devido à sua eficiência e custo-benefício. Compostos por uma camisa cilíndrica de aço, que é continuamente alimentada na parte superior do forno elétrico por pasta de eletrólito feita de coque calcinado e piche, constituem uma coluna de eletrodo. A camisa de aço funciona como uma forma, fornecendo sustentabilidade mecânica e conduzindo a energia elétrica que gera calor para o processo. À medida que o eletrodo é consumido, a pasta é aquecida pelo próprio calor do processo, passando por amolecimento e carbonização, transformando-se em carbono sólido e a camisa se funde, incorporando ferro à liga que está sendo produzida. A partir de então, o eletrodo, agora formado por carbono sólido, conduz a eletricidade para a zona de reação, suportando as mais altas temperaturas.

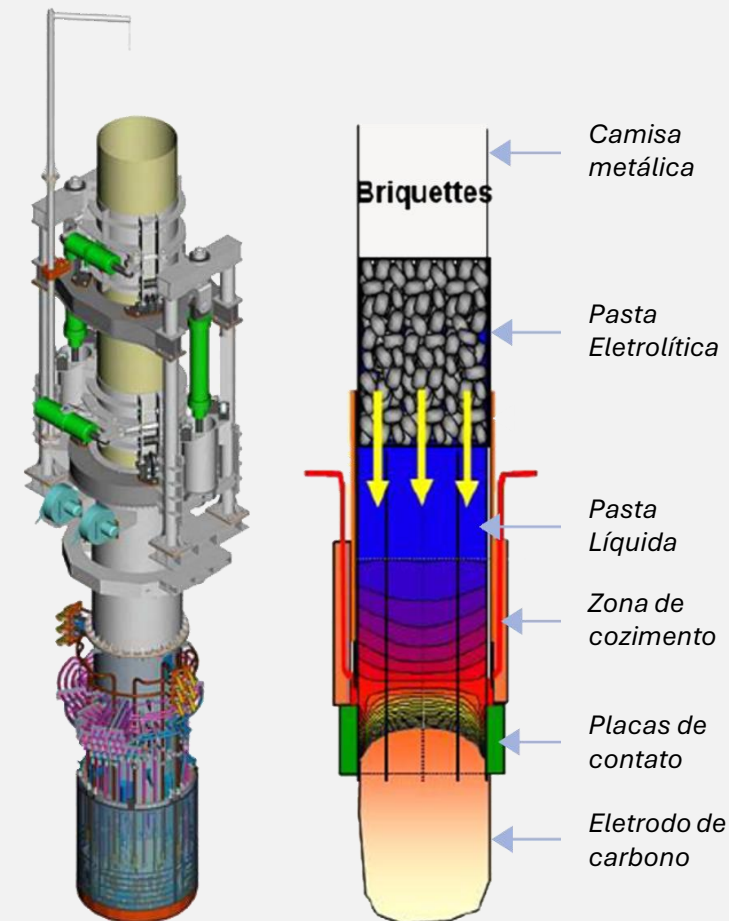
A principal vantagem dos eletrodos Soederberg é a redução de custos, pois eliminam a necessidade de pré-cozimento. Além disso, permitem uma operação contínua, fornecendo um suprimento constante de eletrodos e evitando interrupções na produção. Sua adaptabilidade a diferentes tamanhos de fornos e demandas de produção também é um ponto forte. No entanto, o uso desses eletrodos exige um controle rigoroso da qualidade da pasta e das condições operacionais, além de um gerenciamento adequado das emissões de poluentes liberados durante o processo de cozedura.

Esses eletrodos são essenciais para fornos de arco submerso (SAF) na produção de ferroligas, devido à sua capacidade de serem continuamente alimentados e auto cozidos, o que os torna ideais para operações de grande escala na indústria de ferroligas. No entanto, devido à incorporação de ferro pela utilização das camisas de aço, os eletrodos Soederberg não são adequados para a fabricação do silício metálico, que tradicionalmente utiliza eletrodos pré-cozidos.

No Brasil, houve um aprimoramento do design de camisas com o uso de novos materiais, como alumínio combinado com aço inox, sendo possível o total aproveitamento da tecnologia na produção de silício metálico, trazendo uma vantagem competitiva sem prejuízo às especificações das ligas produzidas.

Figura S13: Representação de um eletrodo de auto cozimento

Fonte: Abrafe (2024)



1.5.3. Sílica fume

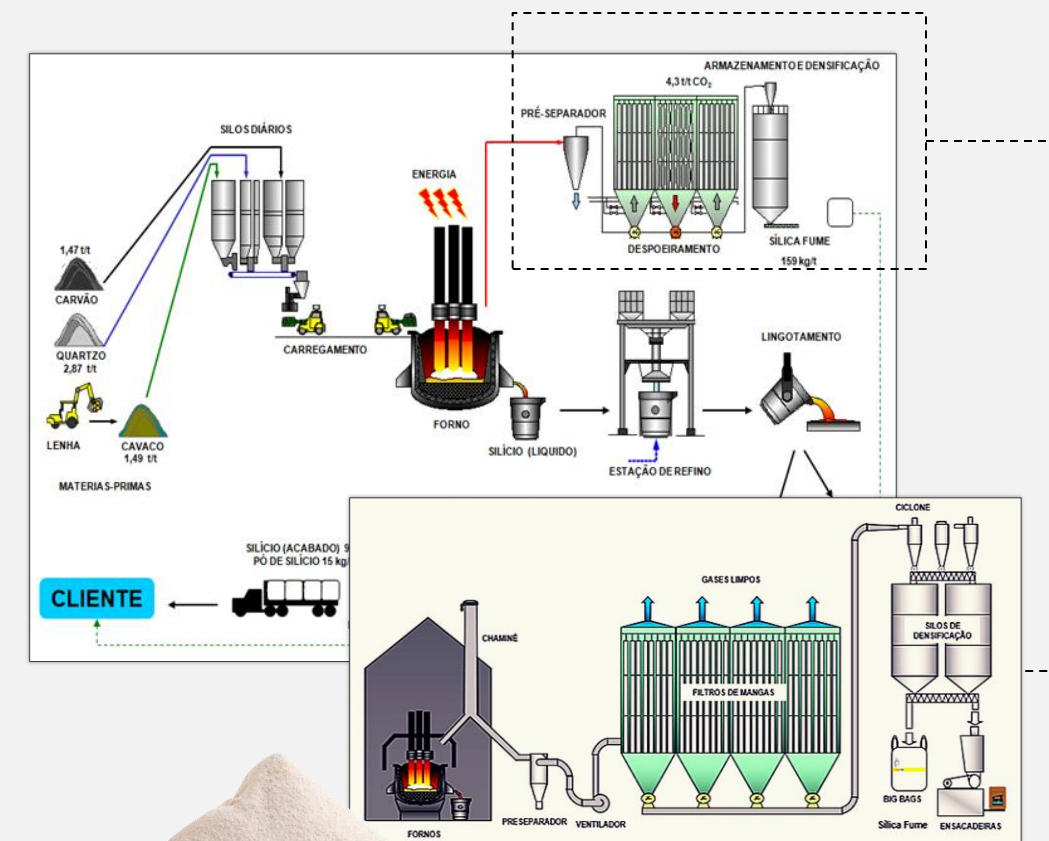
O setor de ferroligas investiu fortemente em sistemas de controle de poluição, destacadamente nas unidades de filtros de mangas para recuperação de particulados dos efluentes gasosos dos fornos de redução. A sílica fume, também conhecida como “microssílica”, é subproduto resultante da fabricação do ferro silício ou silício metálico. Quando o gás rico em SiO escapa do forno pelo sistema de exaustão, ele é rapidamente oxidado (SiO_2), formando a sílica fume, constituída por partículas sólidas quase esféricas de SiO_2 , com um tamanho médio de apenas $\sim 0,15$ milímetros. Anteriormente descartada no meio ambiente, a sílica fume agora é transformada em um produto tecnológico de alto valor agregado, amplamente utilizado na construção civil.

A sílica fume aumenta a resistência, fluidez e vida útil do concreto, sendo utilizada como adição pozolânica amorfa de alta intensidade em concreto ou argamassa. Essa transformação proporciona diversos benefícios, como a redução da permeabilidade do concreto, a diminuição da exsudação, a melhoria das propriedades de fluidez, e o aumento das resistências à compressão e à flexão. Por isso, sua utilização é especialmente indicada para estruturas de concreto armado em ambientes de alta agressividade, oferecendo maior proteção contra o ataque de sais e águas salinas e, conseqüentemente, reduzindo os custos de manutenção das peças de concreto armado.

Além disso, a sílica fume é aplicada na indústria de refratários, melhorando a fluidez dos materiais de fundição refratários e aumentando a resistência à temperatura e ao choque térmico. O setor continua investindo em pesquisa e desenvolvimento para encontrar novas aplicações para a sílica fume, tanto na construção civil e na indústria de refratários quanto nas indústrias de cerâmicas e fertilizantes. Assim, a transformação da sílica fume de um subproduto descartado em um valioso produto tecnológico reflete um avanço significativo em direção à sustentabilidade na indústria de ferroligas e silício metálico.

Figura S14: Representação esquemática da produção de sílica fume

Fonte: Abrafe (2024)

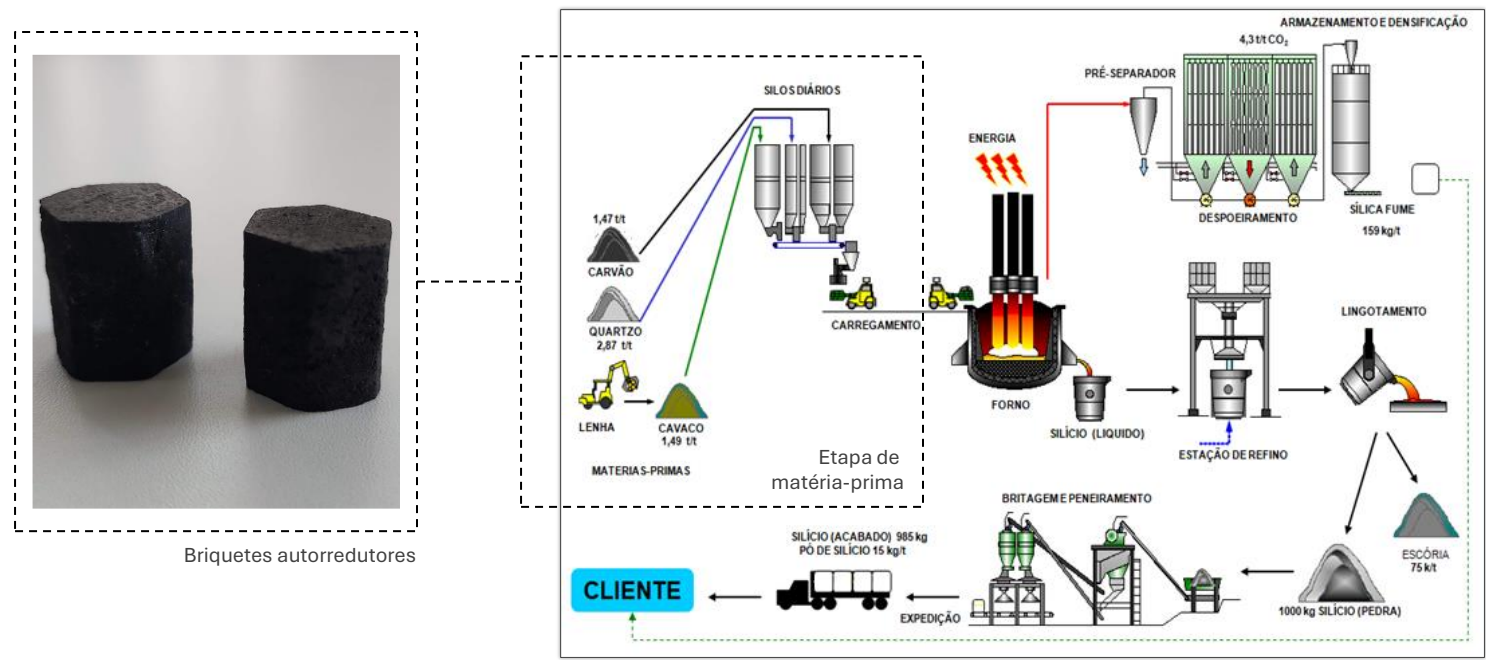


1.5.4. Briquetes autorredutores

Recentemente, a indústria de ferroligas e silício metálico vem investindo no desenvolvimento de novas aplicações para reciclagem de resíduos e aproveitamento energético, dentre elas os briquetes autorredutores de sílica e carbono, combinados na proporção de formação de carvão de silício, adiantando uma etapa no processo de fabricação das ligas de silício e melhorando a eficiência energética do processo.

Figura S15: Representação esquemática da função dos briquetes autorredutores no processo de produção de silício metálico

Fonte: Abrafe (2024)



O uso de briquetes autorredutores de sílica e carbono pode substituir etapas iniciais no processo de produção de matéria-prima necessária para a produção de silício metálico, constituindo uma alternativa para aumento de eficiência do processo de um planta industrial.

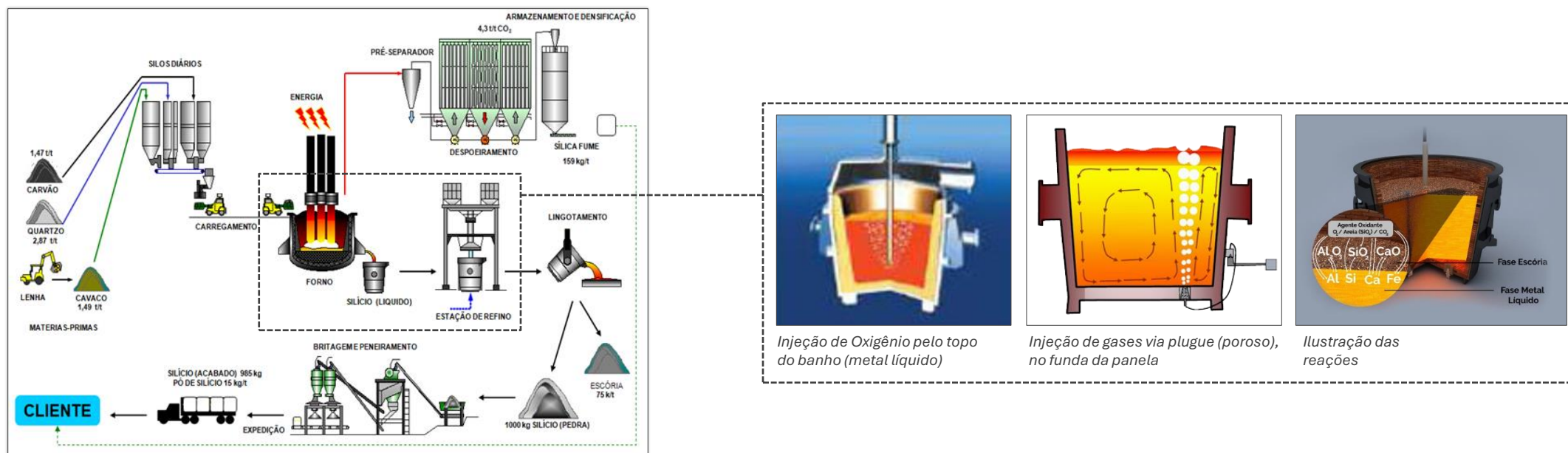
1.5.5. Aprimoramento das Técnicas de Refino das Ferroligas e Silício.

Alta eficiência de remoção das impurezas estudadas que são prejudiciais na obtenção do aço são alcançadas com o contínuo aperfeiçoamento do controle das matérias-primas e evolução das técnicas de refino. A determinação e conhecimento das propriedades físico-químicas das escórias como densidade, viscosidade, propriedades interfaciais e propriedades termodinâmicas exercem papel fundamental no controle do refino. Modelos termodinâmicos desempenham um papel crucial no desenvolvimento do processo de refino, determinando os parâmetros de controle como tempo de sopro, vazão e enriquecimento de oxigênio, e a composição da escória sintética.

O equilíbrio termodinâmico entre o metal e a escória é usado para prever o comportamento das impurezas e ajustar o processo de refino para obter ligas com baixos teores de alumínio e cálcio. Os outros elementos não refináveis no processo oxidante são monitorados e controlados através de rigoroso controle de entrada das matérias-primas, estando sob condição controlada. Este desenvolvimento tecnológico resultou em uma melhoria significativa na qualidade das ligas produzidas, essenciais para atender as exigências da siderurgia moderna que demanda materiais cada vez mais puros.

Figura S16: Representação esquemática das técnicas de refino das ferroligas e do silício metálico

Fonte: Abrafe (2024)



1.6. Novas tecnologias e perspectivas da indústria de ferroligas e silício metálico

A indústria de ferroligas e silício metálico evolui impulsionada pelo crescimento substancial do mercado e pela expansão da indústria globalmente. Economias emergentes investem fortemente em construção e infraestrutura, aumentando a demanda por aço e suas ferroligas associadas, ao mesmo tempo que novas aplicações para o silício estão presentes na evolução da indústria química e eletrônica.

Dentre as mudanças verificadas no mercado mundial, destacam-se a demanda por produtos personalizados, a fim de atender aos requisitos específicos de setores de tecnologia avançada como aeroespacial e defesa, e a participação de grandes e pequenas empresas focados em pesquisa e desenvolvimento de produtos sustentáveis de alta qualidade.

Um dos pré-requisitos fundamentais cada vez mais reforçados para a atuação no segmento tem sido o enquadramento às regulações ambientais, o que implica investimentos significativos em tecnologias de produção mais limpa e investimento em sistemas de controle de poluição, gerando oportunidades de inovação, tais como o aproveitamento e desenvolvimento de novas aplicações para a sílica fume obtida da filtragem dos gases efluentes dos fornos.

Figura S17: Exemplos de aplicações de novas tecnologias da indústria de ferroligas e silício metálico

Fonte: Abrafe (2024)



Aplicações na indústria eletrônica para setores de alta tecnologia



Pesquisa e desenvolvimento de produtos sustentáveis



Utilização de ferroligas em matérias com alta especificação



Tecnologias de produção mais limpa e Sistemas de controle da poluição

Os avanços na utilização de carvão biogênico destacam-se como exemplos de aplicação da inovação tecnológica na promoção da sustentabilidade e da eficiência operacional no segmento de ferroligas e silício metálico.

1.6.1. Fontes energéticas para produção de ferroligas

1.6.1.1 Redutores (Fonte de Carbono)

A produção de ferroligas, essenciais para diversas indústrias, depende fortemente de fontes de carbono. Essas fontes energéticas não só fornecem calor necessário para as reações metalúrgicas, mas também atuam como agentes redutores, removendo o oxigênio dos minérios metálicos. As principais fontes de carbono utilizadas são o carvão vegetal e o carvão mineral, cada uma com suas características, vantagens e desafios específicos.

- O carvão vegetal é amplamente utilizado na produção de ferroligas devido às suas propriedades específicas e vantagens ambientais.
- Ele é produzido a partir da carbonização da madeira, em um processo que envolve a queima controlada em fornos especiais. A carbonização da madeira remove hidrogênio e oxigênio, resultando em um material rico em carbono.
- O carvão mineral é outra importante fonte de carbono na produção de ferroligas. Ele é extraído de minas e apresenta diferentes variedades, como antracito, betuminoso e sub-betuminoso, cada uma com propriedades específicas.
- O carvão mineral possui um maior teor de impurezas comparado ao carvão vegetal, o que pode afetar a qualidade das ferroligas produzidas.
- A mineração do carvão mineral envolve a extração subterrânea ou a céu aberto, seguida por processos de beneficiamento para remover impurezas e melhorar a qualidade do combustível.
- O carvão mineral é amplamente disponível em outros países e, em muitos casos, mais barato que o carvão vegetal, tornando-o uma opção viável para muitas indústrias, principalmente no exterior.
- O uso do carvão mineral está associado a impactos ambientais, particularmente no que se refere à emissão de gases de efeito estufa e poluentes.
- O alto teor de impurezas pode reduzir a eficiência e a qualidade do produto final.
- No Brasil, o carvão vegetal é majoritariamente produzido a partir de florestas plantadas de eucalipto, uma prática que ajuda na sustentabilidade ambiental. O eucalipto cresce rapidamente e é uma fonte renovável de carbono.
- O carvão vegetal possui menos impurezas comparado ao carvão mineral, o que resulta em melhor reatividade e eficiência na produção de ferroligas.
- Por ser produzido a partir de florestas plantadas, o carvão vegetal é uma fonte renovável de energia, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

1.6.1.2 Produção de Carvão Vegetal Sustentável

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal (6,7 milhões de toneladas em 2023) proveniente de florestas plantadas de eucalipto, e vem consolidando sua liderança global com avanços tecnológicos em design de fornos, controle de processo e sustentabilidade que se apresentam por meio dos principais aspectos:

Evolução no Design dos Fornos

Dos antigos fornos “rabo quente” artesanais aos grandes fornos retangulares com operação mecanizada, o design dos fornos passou por mudanças significativas.

Atualmente, reatores contínuos como fornos rotativos e retortas verticais aumentam a eficiência do processo, permitindo uma carbonização uniforme e otimizada.

Controle Operacional Avançado

A automação e o uso de sensores monitoram continuamente as etapas do processo de carbonização, controlando a temperatura e a atmosfera interna dos fornos.

Esse controle mais preciso resulta em um carvão de maior qualidade e reduz a variabilidade do processo, otimizando o rendimento da matéria-prima e diminuindo perdas.

Queima dos Gases Residuais

A tecnologia moderna de queima de gases permite capturar e queimar metano, que tem impacto ambiental 28 vezes superior ao do CO₂.

Além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, a queima desses gases aproveita seu poder calorífico, economizando energia e, em alguns casos, gerando calor adicional para o processo.

Aproveitamento de Subprodutos

Os fornos modernos capturam subprodutos valiosos, como bio-óleo e extrato pirolenhoso, o que agrega valor ao processo e amplia o aproveitamento da biomassa.

Tecnologia Acessível

Tecnologias como o sistema fornos-fornalha desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) possibilitam que pequenos produtores adotem práticas mais limpas e eficientes.

O sistema conecta pequenos fornos circulares a uma chaminé com queimadores de gases, reduzindo emissões e aumentando a eficiência, proporcionando uma solução sustentável e acessível.

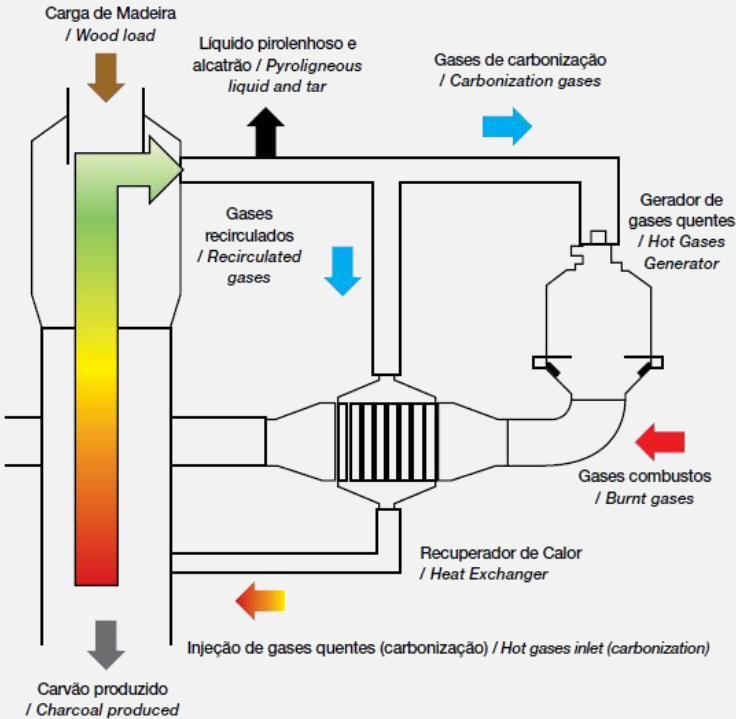
Figura S18: Evolução dos fornos de produção de carvão vegetal, fornos retangulares com queimador de gases e sistemas fornos-fornalha circulares com queima de gases.

Fonte: Abrafe (2024)



Figura S19: Reator vertical para produção de carvão vegetal / Fluxograma Sistema Carboval.

Fonte: Abrafe (2024)



1.6.1.2. Matriz Energética do setor de ferroligas e silício metálico

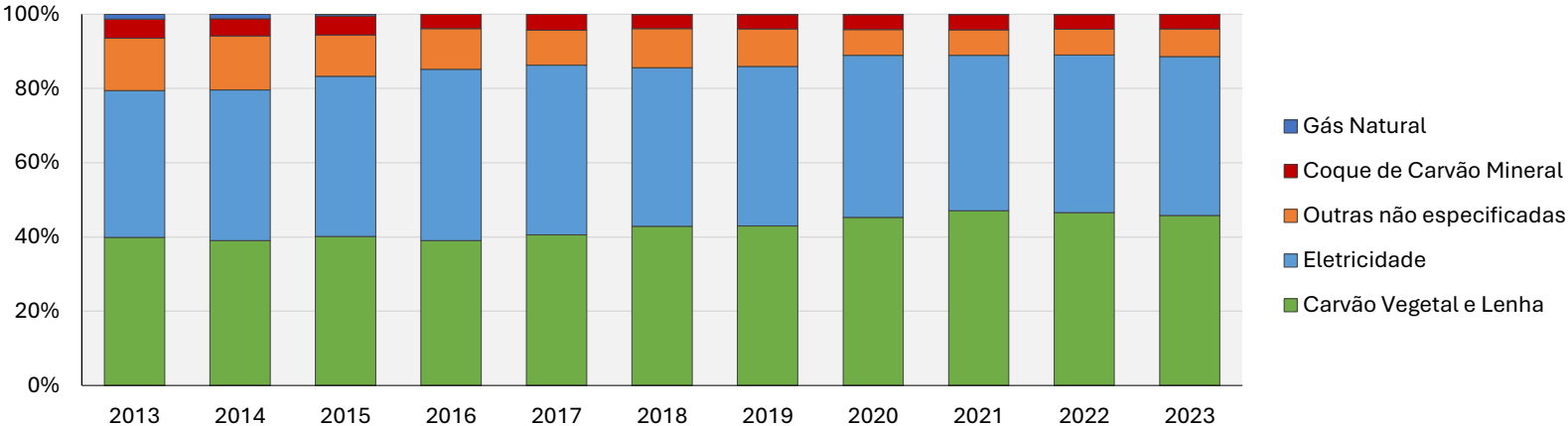
A produção de ferroligas é altamente eletrointensiva e, além das fontes de carbono, requer uma fonte extra de energia, suprida pela energia elétrica. Ferroligas e silício metálico são produzidos em fornos elétricos de redução. No Brasil, a indústria de ferroligas conta com a vantagem da matriz elétrica brasileira, que é altamente renovável, principalmente devido à disponibilidade de fontes hídrica, eólica, solar e biomassa.

A matriz elétrica brasileira que constitui o Sistema Interligado Nacional (SIN) é predominantemente renovável, com índices de renovabilidade acima de 80% o que reduz significativamente a pegada de carbono da produção de ferroligas no país. Visando assegurar disponibilidade e competitividade, a indústria de ferroligas no Brasil vem investindo fortemente em fontes alternativas de energia, como solar e eólica, na modalidade de autoprodução. O uso combinado do carbono biogênico (carvão vegetal) e fontes renováveis de energia elétrica coloca a produção de ferroligas e silício no Brasil como a mais renovável mundialmente. Esse modelo integrado de energia contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e promove uma indústria mais verde e competitiva globalmente.

Figura S20: Matriz energética do segmento industrial de ferroligas e silício metálico

Fonte: EPE (2024a)

A combinação de ambas as fontes pode ser estrategicamente utilizada para otimizar a produção de ferroligas, equilibrando eficiência, custo e sustentabilidade ambiental.



A escolha da fonte de carbono para a produção de ferroligas depende de diversos fatores (disponibilidade, custo, impacto ambiental e requisitos técnicos) e o carvão vegetal é a escolha preferida em muitos casos, especialmente no Brasil, em função da renovabilidade e do menor teor de impurezas. Por outro lado, o carvão mineral, a depender de disponibilidade e custos, continua sendo uma alternativa viável.

1.6.2. Combustíveis alternativos

Outro avanço importante no Brasil é a utilização do carvão biogênico como substituto do carvão mineral na produção de ferroligas. O carvão biogênico, produzido a partir de biomassa vegetal, apresenta várias vantagens ambientais e econômicas: Redução de Emissões de CO₂: O carvão biogênico é uma fonte de carbono neutro, o que significa que a quantidade de CO₂ emitida durante sua queima é compensada pelo CO₂ absorvido pelas plantas durante seu crescimento. Isso contribui significativamente para a redução da pegada de carbono da indústria. A produção de carvão biogênico promove o uso sustentável de recursos florestais e agrícolas, incentivando práticas de manejo florestal responsável.

A utilização de carvão vegetal reduz os custos operacionais a longo prazo, uma vez que pode ser produzido localmente, diminuindo a dependência de importações de carvão mineral. No Brasil, a integração de energias renováveis, como a solar, eólica e hidrelétrica, nos processos de produção de ferroligas e silício metálico está se tornando uma prática comum. Essas fontes de energia não apenas reduzem a dependência de combustíveis fósseis, mas também diminuem os custos operacionais a longo prazo e contribuem para a sustentabilidade do setor.



Carbono Biogênico

Carbono biogênico é o carbono originado de fontes biológicas, como plantas, animais e outros organismos vivos. Ele faz parte do ciclo natural de carbono, sendo absorvido pelas plantas durante a fotossíntese e liberado de volta à atmosfera por meio da respiração, decomposição de matéria orgânica ou queima de biomassa.

Ao contrário do carbono fóssil, que é liberado da queima de combustíveis fósseis (como petróleo, carvão e gás natural) e se acumula na atmosfera, o carbono biogênico é considerado parte de um ciclo fechado, uma vez que sua emissão não aumenta a concentração líquida de CO₂ na atmosfera a longo prazo. Isso faz com que fontes de energia baseadas em biomassa, que liberam carbono biogênico, sejam frequentemente vistas como alternativas mais sustentáveis, desde que o recurso seja gerido de maneira renovável.

As emissões resultantes da combustão de biomassa devem ser relatadas no inventário de forma separada das emissões oriundas da combustão de combustíveis fósseis. Isso é justificado, pois o CO₂ liberado na combustão de biomassa é igual ao CO₂ retirado da atmosfera durante o processo de fotossíntese realizado por ela mesma, permitindo ser considerado “carbono neutro” e ser identificados como CO₂ biogênico. Vale ressaltar que as emissões de outros GEE oriundas da combustão de biomassa, como o CH₄ e N₂O, devem ser consideradas normalmente (PBGHG, 2008).

1.6.3. Eficiência Energética

O Consumo Específico para a produção de ferroligas e silício metálico no Brasil variou entre 63,8 GJ/t¹ e 68,7 GJ/t ao longo dos últimos 11 anos, mantendo-se entorno de um valor médio de 67,3 GJ/t. Já o Consumo Específico (Realizado) de Eletricidade oscilou entre 7,29 kWh/t² e 8,54 kWh/t, mantendo-se em torno de um valor médio de próximo de 8 kWh/t ao longo dos anos. Os valores de Consumo Específico da produção de ferroligas e silício metálico variam em função da participação de cada liga no “mix” de produção, de forma que ligas mais energointensivas tendem a aumentar o consumo específico global da indústria.

Figura S21: Consumo Específico de Energia (GJ/t) para produção de ferroligas e silício metálico no Brasil (2013 – 2024)

Fonte: Elaborado por EPE.

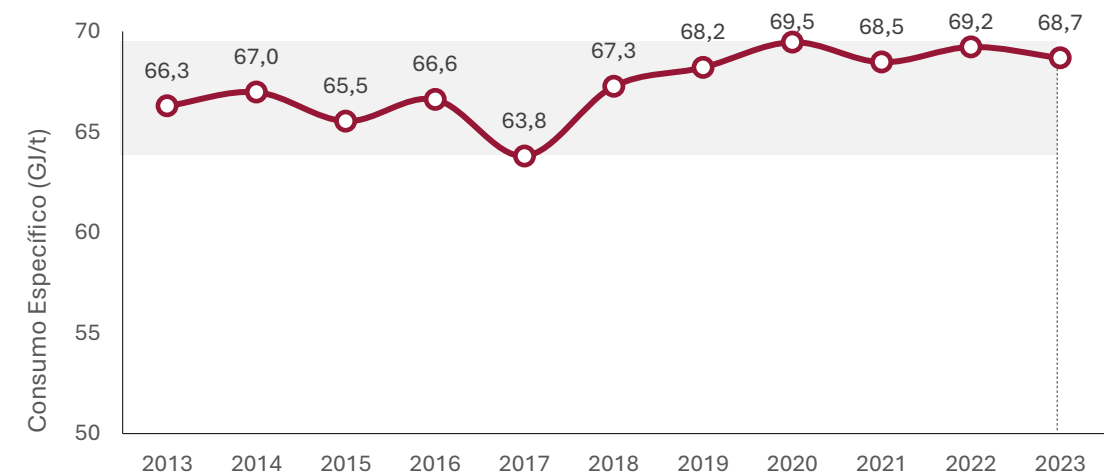
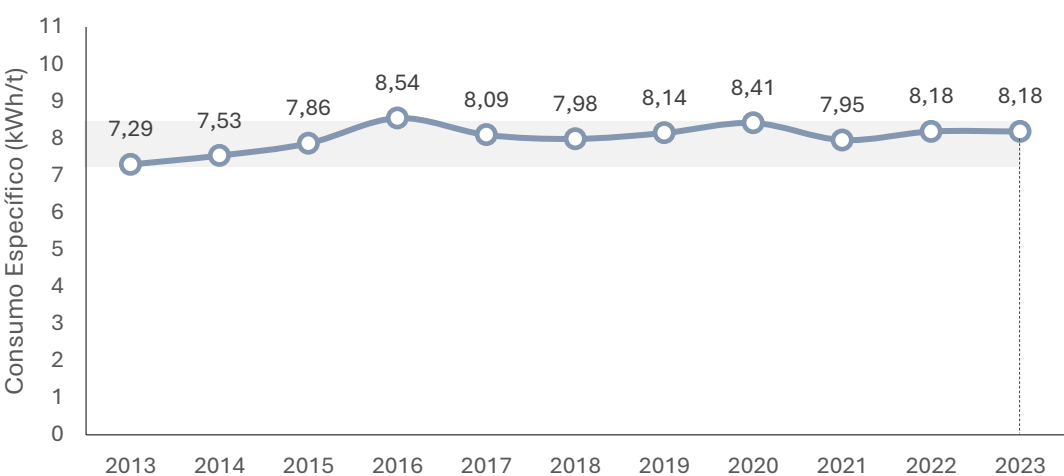


Figura S22: Consumo Específico (Realizado) de Eletricidade (kWh/t) para produção de ferroligas e silício metálico no Brasil (2013 – 2024)

Fonte: Elaborado por EPE.



A produção de ferroligas e silício metálico é intensiva no uso de eletricidade. Dessa forma, o acompanhamento da evolução do consumo específico de eletricidade, em relação a padrões de referência de consumo específico por liga, é uma prática do setor para avaliação da eficiência energética. Analogamente ao consumo específico de energia, o consumo específico de eletricidade varia em função da participação dos diferentes tipos de liga no mix de produção.

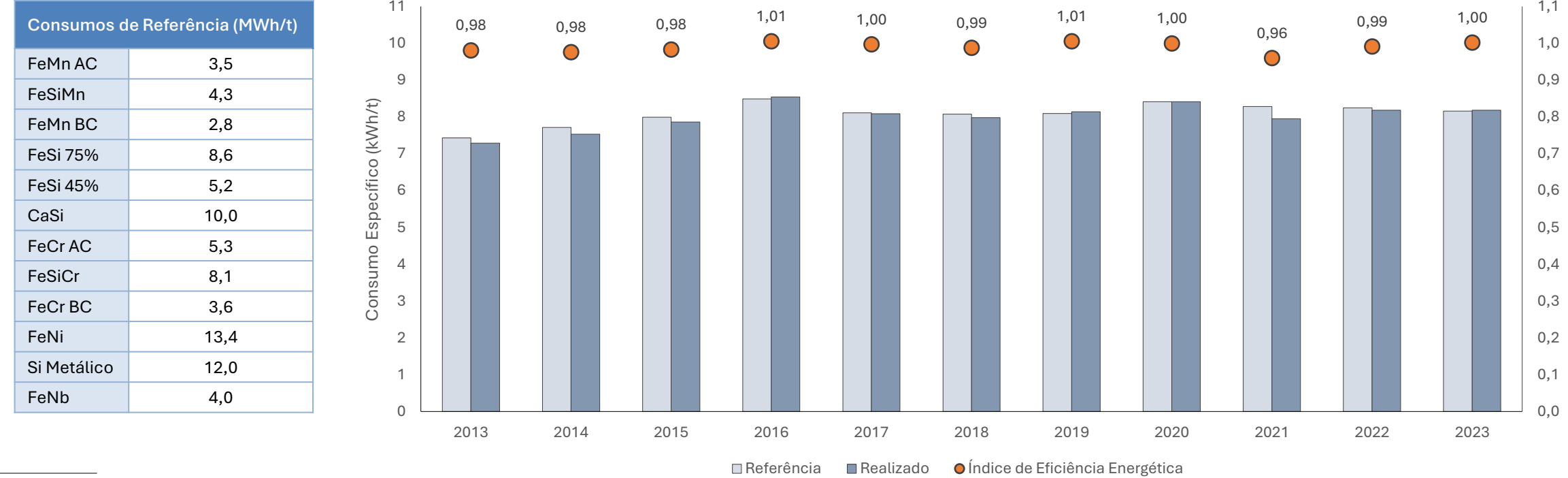
^[1] GJ/t denota a unidade de medida Gigajoule por tonelada de ferroliga e silício metálico.
^[2] kWh/t denota a unidade de medida Quilowatt-hora por tonelada de ferroliga e silício metálico.

Para determinar a evolução da eficiência no consumo de energia elétrica do setor, avalia-se o **Índice de Eficiência Energética** calculado como a razão entre o Consumo Específico de Eletricidade Realizado e de Referência. O Consumo Específico (Realizado) de Eletricidade resulta da apuração do consumo total de energia elétrica de todas as empresas do segmento de ferroligas e silício metálico, dividido pela produção total do setor em cada ano. Já o Consumo Específico (Referência) de Eletricidade é a média ponderada dos consumos específicos de referência de cada liga (conforme tabela abaixo), onde os pesos são a participação de cada liga na produção física de cada ano.

Ao longo dos últimos anos, o índice apresentou valores inferiores ou iguais a 1 na maioria das vezes, indicando que o Consumo Específico (Realizado) de Eletricidade manteve-se próximo dos padrões de referência da indústria brasileira de ferroligas e silício metálico.

Figura S23: Evolução do Índice de Eficiência Energética de produção de ferroligas e silício metálico

Fonte: Elaborado por EPE e Abrafe.



[1] FeMn inclui FeSiMn + FeMn AC + FeMnMc

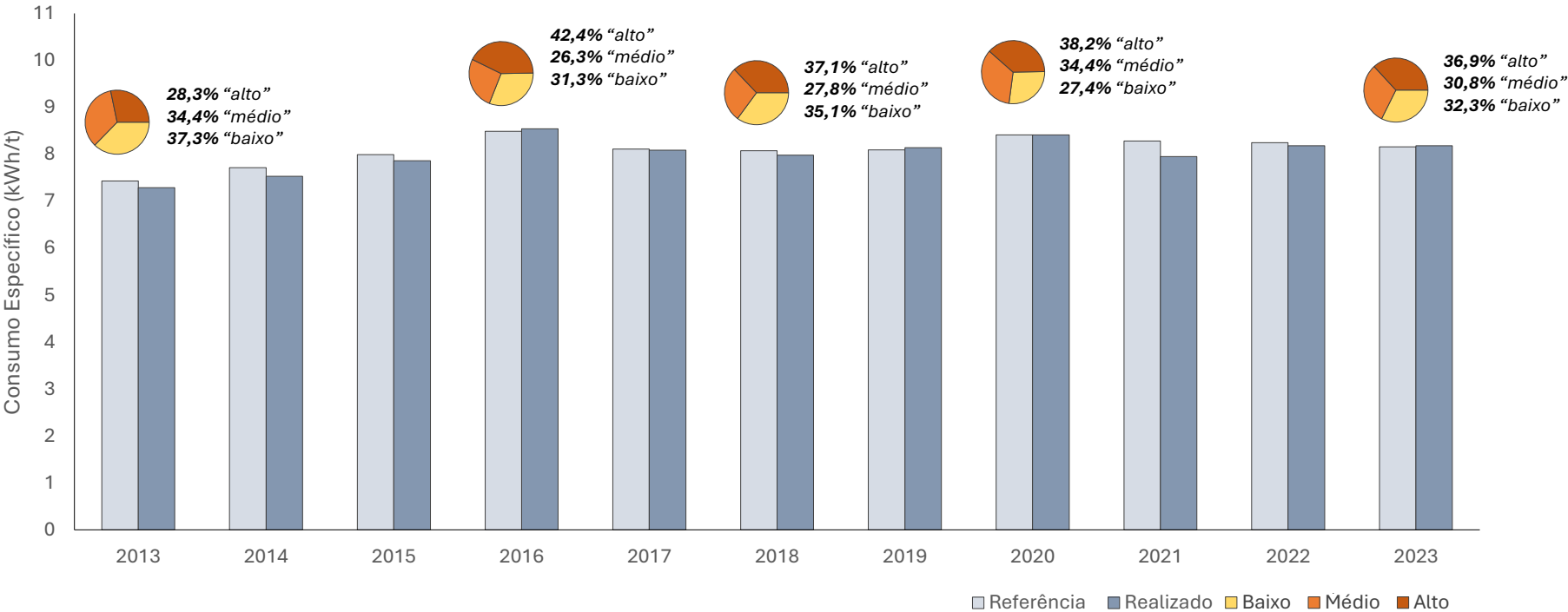
No entanto, as flutuações do Consumo Específico de Eletricidade (Realizado ou de Referência) são resultado da composição do “mix” de produção de ferroligas e de silício metálico a cada ano. Classificando as ligas em função de seu consumo específico como “alto”, “médio” e “baixo”, verifica-se que, à medida que a proporção de ligas mais eletrointensivas aumenta, aumenta também o Consumo Específico de Eletricidade total da produção:

- **Consumo Específico** < 5 MWh/t como “baixo”
- 5 MWh/t ≤ **Consumo Específico** < 10 MWh/t como “médio”
- **Consumo Específico** ≥ 10 MWh/t como “alto”

Figura S24: Evolução do Consumo Específico de Eletricidade em função do “mix” de produção de ligas de “alto”, “médio” e “baixo” consumos específicos de referência

Fonte: Elaborado por EPE e Abrafe.

Consumos de Referência (MWh/t)		
FeMn AC	3,5	Baixo
FeSiMn	4,3	
FeMn BC	2,8	
FeCr BC	3,6	
FeNb	4,0	
FeSi 45%	5,2	Médio
FeCr AC	5,3	
FeSi 75%	8,6	
FeSiCr	8,1	Alto
CaSi	10,0	
FeNi	13,4	
Si Metálico	12,0	



[1] FeMn inclui FeMn AC (alto carbono) + FeMn BC (baixo carbono)

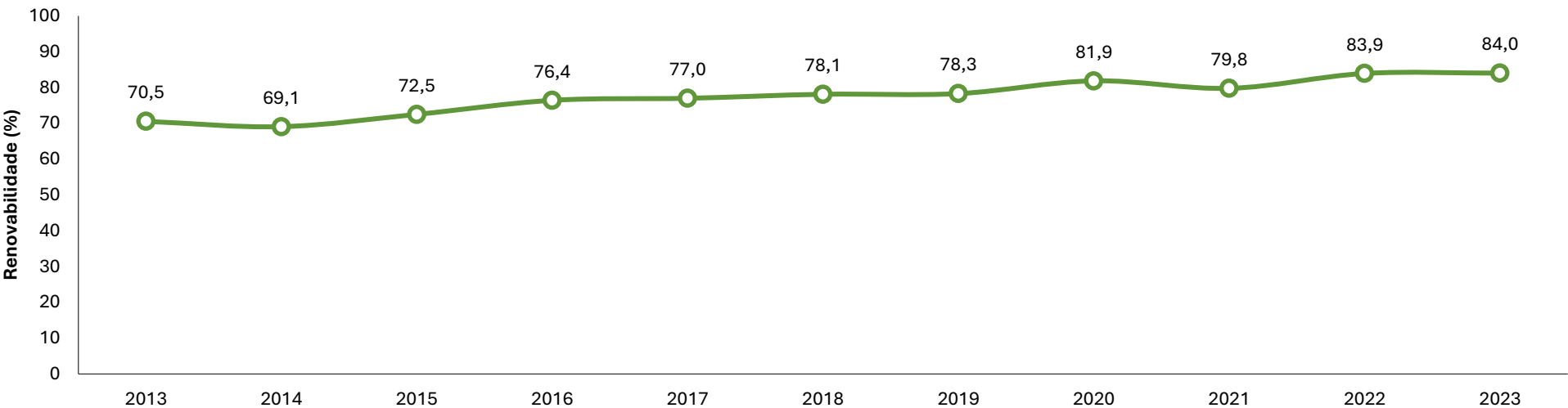
1.7. Emissões

1.7.1. Renovabilidade da matriz setorial

A matriz energética do segmento de ferroligas é composta majoritariamente por Carvão Vegetal e Lenha e Eletricidade, o que contribui para a manutenção de níveis de renovabilidade em torno de 80% no período recente. A renovabilidade da matriz elétrica brasileira é um fator chave para o atingimento desses resultados, uma vez que ao longo dos anos foi gerada predominantemente a partir de fontes renováveis como hidráulica, biomassa, eólica e solar.

Figura S25: Renovabilidade da matriz energética do setor de ferroligas e silício metálico

Fonte: Elaborado por EPE.



A renovabilidade do segmento industrial de ferroligas e silício metálico contribui para o aumento da renovabilidade da indústria brasileira de forma geral, uma vez que o percentual do uso de fontes renováveis está acima da média dos segmentos industriais (64,7% em 2023).

1.7.2. Inventário de emissões

O inventário de emissões do setor de ferroligas e silício metálico foi elaborado pela ABRAFE, em parceria com a FIEMG, CIT-SENAI e SINFERSI, atendendo ao Programa Missão Carbono Zero da FIEMG¹, e seguindo os princípios do Programa Brasileiro GHG Protocol²: relevância, integralidade, consistência, transparência e exatidão. Participaram do inventário onze unidades de empresas associadas, mais de 60% da ABRAFE. O relatório apresenta dados significativos sobre a produção e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) dessas indústrias para o ano-base de 2022, conforme a seguir:

Produção e Crescimento

A produção de silício metálico em 2022 alcançou 219 mil toneladas, representando um aumento de 89% em relação a 2015. Já a produção de ferroligas das associadas da ABRAFE foi de 770 mil toneladas, demonstrando um crescimento significativo ao longo dos anos. Com a utilização de 86% da capacidade instalada, as associadas da ABRAFE produziram juntas 989 mil toneladas de produtos em 2022.

Empregos e Desenvolvimento Regional

As empresas associadas à ABRAFE geram mais de 60 mil empregos diretos e indiretos, superando os níveis de emprego pré-pandemia. Além disso, o setor contribui para o desenvolvimento regional, com a maioria das unidades produtivas localizadas em Minas Gerais. O índice de desenvolvimento humano (IDH) dos municípios com fábricas do setor é superior ao de municípios equivalentes na mesma região.

Consumo de Recursos

A produção de ferroligas e silício metálico requer um consumo significativo de carvão vegetal e energia elétrica. Em 2022, foram utilizados 1,534 milhões de toneladas de carvão vegetal e 11,016 GWh de energia elétrica. O setor já utiliza 84% de energia de fontes renováveis, em comparação com 62% da média da indústria nacional.

Emissões apuradas

As emissões foram contabilizadas e convertidas para toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e), totalizando 529.212,67 tCO₂e em 2022. Considerando-se as emissões de Escopo 1, foram contabilizadas 419.805,87 tCO₂e. Já no Escopo 2, foram contabilizadas 109.406,80 tCO₂e e a categoria de Processos Industriais foi a principal responsável pelas emissões, com 358.819,60 tCO₂e.

O Escopo 1 é constituído das categorias de emissões associadas às fontes que pertencem ou são controladas pela organização, ou seja, as emissões diretas. As emissões do Escopo 2 são indiretas e se referem à aquisição de energia elétrica consumida pela organização.

^[1] Detalhes sobre o Programa Missão Carbono Zero da FIEMG podem ser encontrados em: [Missão Carbono Zero](#)

^[2] Detalhes do Programa Brasileiro GHG Protocol podem ser encontrados em: [Programa Brasileiro GHG Protocol](#)

As práticas adotadas pelo setor brasileiro de ferroligas e silício metálico, tais como o uso de carvão vegetal e energia renovável, resultam em uma pegada de carbono significativamente menor e demonstram o papel de liderança do Brasil na descarbonização da indústria global. A fim de ilustrar o potencial de descarbonização deste setor, a ABRAFE elaborou em seu inventário um exercício com adoção de cenários, identificando a possibilidade de redução adicional de suas emissões.

O exercício consistiu na comparação da situação atual do Brasil com as práticas realizadas pela média dos países no resto do mundo, representado pelo cenário fóssil, o qual considera a produção a partir de uma matriz energética essencialmente térmica fóssil e uso do carvão mineral como fonte de carbono dos processos.

Cenários de Emissões

- **Cenário Fóssil:** considera hipoteticamente o uso de energia térmica e carvão mineral, totalizando **2.587.120,80 tCO₂e**.
- **Situação Atual:** apresenta 79,5% menos emissões do que o cenário fóssil, com **529.212,67 tCO₂e**.
- **Cenário Descarbonizado:** propõe o uso de 100% de carvão vegetal, associado ao uso de energia renovável, resultando em **224.212,59 tCO₂e**.

Os dados da Tabela S3 permitem concluir que a situação atual do setor brasileiro de ferroligas e silício metálico representa alto grau de descarbonização para cada uma das ligas listadas em relação ao que pode ser representado por um cenário fóssil.

Os maiores destaques ficam com as ligas FeSi, CaSi e Si metálico, apresentando potenciais de descarbonização iguais ou superiores a 85%.

Tabela S3: Desempenho de Redução de Emissões por Produto no Cenário Brasileiro

Fonte: Abrafe (2024)

Produto	Emissões de tCO ₂ e/t de liga (Escopo 1 + Escopo 2)		
	Cenário Fóssil	Situação Atual	% Descarbonização
FeMn ¹	3,01	1,18	61
FeSiMn	2,98	1,17	61
FeMn AC	3,16	1,16	63
FeMn Mc	2,99	1,51	49
FeSi	7,11	0,68	90
CaSi	7,61	1,15	85
Si metálico	5,78	0,72	88
Produção Total	4,68	0,96	80

O inventário mostra que o setor usa alta proporção de energia renovável, contribuindo para pegada de carbono significativamente menor em comparação a outros países, e ainda reforça a importância da contabilização das emissões de GEE como ferramenta gerencial para estabelecimento de metas, avaliação de riscos e oportunidades, melhoria das relações com stakeholders e participação de programas de divulgação das emissões de GEE e mercados de carbono.

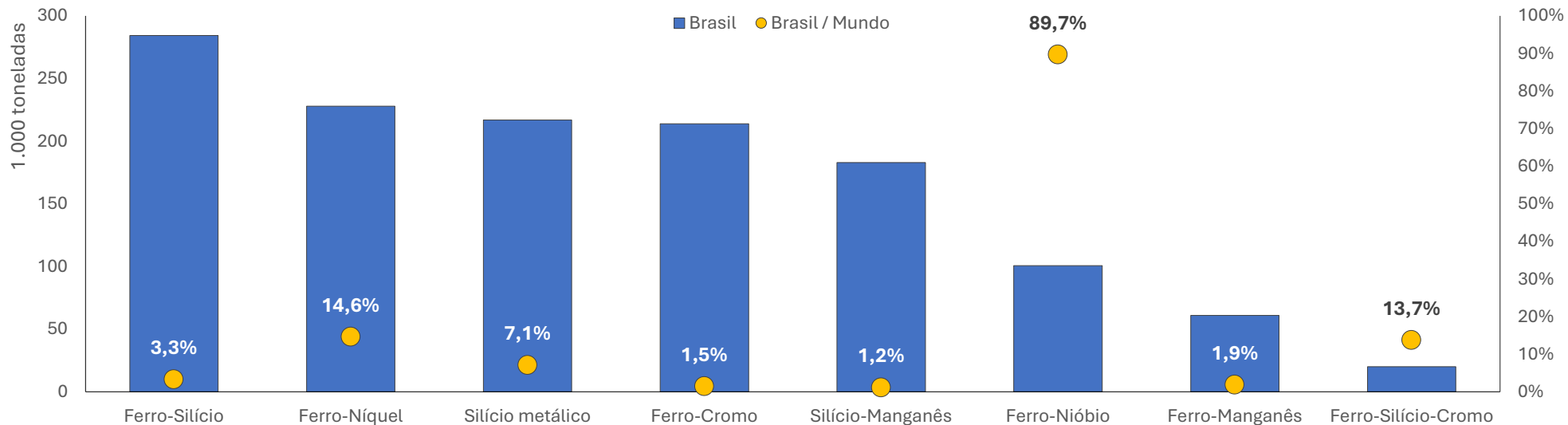
^[1] Descarbonização de, por exemplo, no caso do FeMn, de 61% refere-se à redução de 3,01 tCO₂e/t de liga (cenário Fóssil) para 1,18 tCO₂e/t de liga (Situação Atual).

2.3. Produção mundial de ferroligas e participação brasileira

A produção mundial de ferroligas e silício metálico em 2021 acumulou cerca de 61,4 milhões de toneladas, enquanto o Brasil foi responsável por cerca de 1,3 milhão de toneladas, representando 2,1% de participação mundial. No entanto, a presença do Brasil no cenário internacional varia significativamente em função do tipo de liga, apresentando destaque absoluto em Ferro Nióbio (89,7%) e participações relevantes na produção de Ferro-Níquel (14,6%), Ferro-Silício-Cromo (13,7%) e Silício metálico (7,1%).

Figura S26: Produção nacional por tipo de liga (eixo da esquerda) e sua participação no cenário internacional (eixo da direita)

Fonte: Elaborado por EPE e Abrafe.

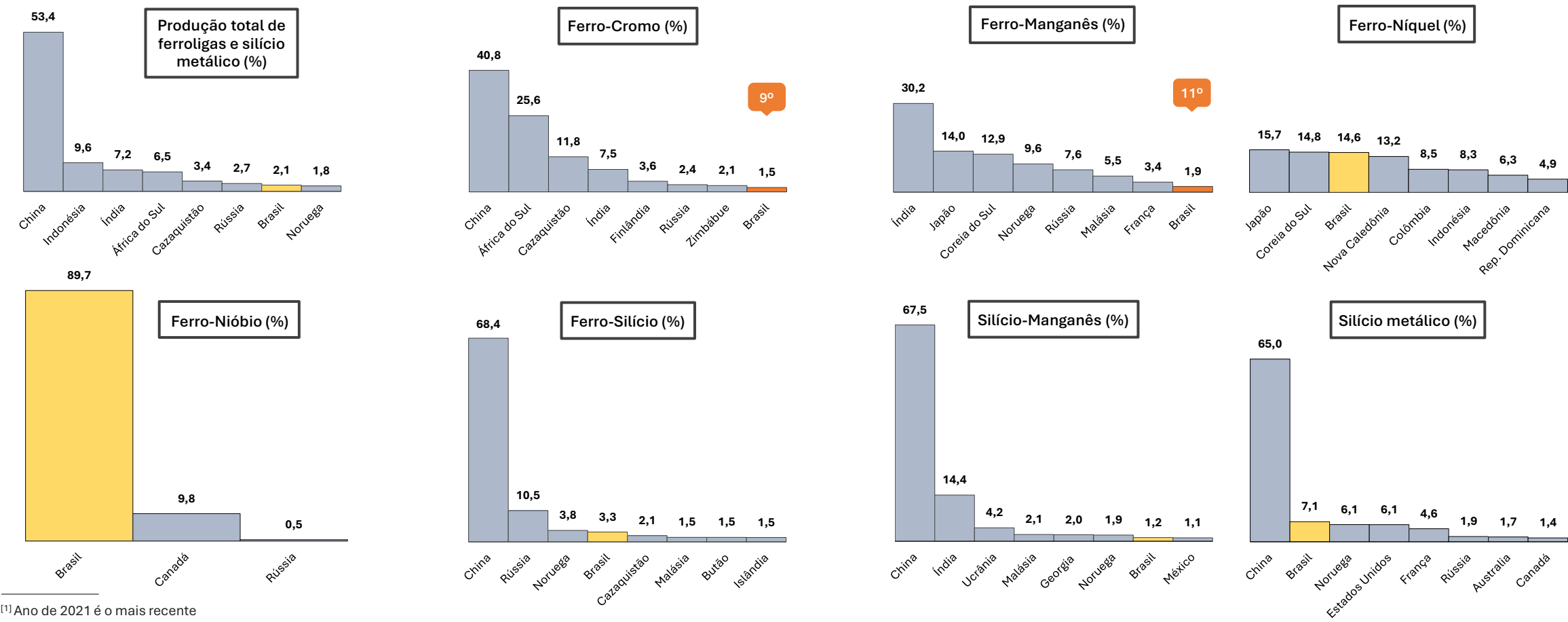


A produção mundial de Ferro-Nióbio é concentrada majoritariamente no Brasil, seguida do Canadá e da Rússia. De acordo com o Serviço Geológico do Brasil, o Brasil detém 95% das reservas mundiais conhecidas, e mais significativas encontram-se em Minas Gerais, Amazonas, Goiás, Rondônia e Paraíba (SGB, 2024).

A seguir, são destacadas as classificações dos países em termos de participação (%) na produção internacional de ferroligas por tipo de ferroliga e silício metálico em 2021¹, destacando a posição do Brasil nos mercados de ferroligas nos quais o país não está entre os 7 primeiros classificados.

Figura S27: Participação da produção nacional por tipo de liga no cenário internacional

Fonte: Elaborado por EPE e Abrafe.



^[1] Ano de 2021 é o mais recente disponibilizado pela Abrafe onde é possível fazer comparações entre os países.

2.3.1. Políticas Públicas e Privadas para Competitividade da Indústria Brasileira

Estratégias para atenuação de custos

A fim de reduzir dificuldades como custos de energia elétrica, tributos elevados, infraestrutura logística deficiente e entraves no licenciamento ambiental, algumas políticas públicas e iniciativas privadas podem ser aprimoradas:

- 1. Leilões de Energia Renovável:** A indústria de ferroligas participa em leilões de fontes renováveis (solar, eólica, biomassa), firmando contratos de longo prazo (PPAs) a preços mais competitivos.
- 2. Autoprodução e PPAs:** Incentivar autoprodução de energia e contratos de longo prazo com fornecedores de energia renovável, garantindo preços fixos e previsíveis, protegendo contra a volatilidade do mercado.
- 3. Eficiência Energética:** Investir em tecnologias avançadas para controle de fornos elétricos e sistemas inteligentes que otimizam o consumo energético em tempo real.

Outros Fatores que Afetam a Competitividade

Além dos custos de energia, outros fatores, como infraestrutura logística deficiente, retenção de créditos de ICMS, burocracia e altos encargos de licenciamento ambiental, também precisam ser enfrentados:

- 1. Infraestrutura Logística:** Investir na modernização de portos, ferrovias e rodovias, criando corredores logísticos eficientes para escoamento das ferroligas.
- 2. Devolução de Créditos de ICMS:** Automatizar e simplificar a devolução de créditos de ICMS aos exportadores, criando uma plataforma digital com prazos definidos, aliviando o impacto financeiro sobre as empresas.
- 3. Aprimoramentos dos processos de Licenciamento Ambiental:** Digitalizar o processo de licenciamento a fim de torná-lo mais ágil e menos custoso, e simplificação dos processos associados a projetos de menor impacto ambiental, com incentivo a tecnologias limpas e práticas ambientais responsáveis.

Regulamentação do Mercado de Carbono e Valorização das Florestas Plantadas

Para valorizar o papel das florestas plantadas na captura de CO₂, é essencial que o Brasil avance na regulamentação do mercado de carbono:

- 1. Incentivos para Florestas e Certificação de Créditos de Carbono:** Implementar políticas de incentivos para as empresas que investem em reflorestamento voltado ao sequestro de carbono e certificar as florestas para monetização da captura de carbono, conforme ocorre no mercado voluntário.
- 2. Neutralização de Emissões:** Investir em projetos de florestas plantadas para neutralizar as emissões operacionais e fortalecer a posição da indústria em mercados internacionais, como o europeu, que aplicam barreiras ambientais (CBAM)¹. Esforços devem ser direcionados para que os benefícios dessas práticas sejam devidamente reconhecidos em acordos internacionais.

^[1] CBAM: Em 16 de maio de 2023, a União Europeia (UE) publicou o Regulamento 2023/956, que cria o Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM, na sigla em inglês Carbon Border Adjustment Mechanism), cujo objetivo, em sua fase transitória, é coletar dados e, na fase regular, cobrar pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) incorporadas em determinados produtos intensivos em energia importados pela União Europeia.

Referências Bibliográficas

ABAL [Associação Brasileira do Alumínio]. Anuário Estatístico Alumínio 2023. ABAL, 2024.

ABComm [Associação Brasileira de Comércio Eletrônico]. Dados Anuais: Principais Indicadores do e-Commerce 2023. Disponível em: [LINK](#). Acessado em nov. de 2024. ABComm, 2024.

ABRAFE [Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e Silício Metálico]. Anuário Estatístico ABRAFE 2024. ABRAFE, 2024.

ANAP [Associação Nacional dos Aparistas de Papel]. Relatório Anual 2018-2019. ANAP, 2020.

_____. Relatório Anual 2019-2020. ANAP, 2021.

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Avaliação dos Resultados do Programa de Eficiência Energética regulado pela ANEEL: Sumário Executivo 2023. Disponível em: [LINK](#). ANEEL, 2023b.

ANFAVEA [Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores]. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2023. Disponível em: [LINK](#). Anfavea, 2023.

Atlas Brasil. Atlas Brasil (2024). Disponível em: [LINK](#). Acessado em set. de 2024. Atlas Brasil, 2024.

BID [Banco Interamericano de Desenvolvimento]. Clearing Up the Smoke: Untapping the Potential of Tailored Clean Cooking Programs in Latin America. Disponível em: [LINK](#). BID, 2020.

BNDES [Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social]. Panorama da indústria mundial de ferroligas 1999. Disponível em: [LINK](#). BNDES, 1999.

BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em: [LINK](#). BRASIL, 1997.

CEPAL [Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe]. Relatório Nacional de Monitorização da Eficiência Energética do Brasil. Disponível em: [LINK](#). CEPAL, 2015.

CRU International Ltda. The close link between costs and silicon prices, 2022. Disponível em: [LINK](#). Acessado em nov. de 2024. CRU, 2022.

Enerdata. Definition of energy efficiency index ODEX in ODYSSEE data base. Disponível em: [LINK](#). Enerdata, 2020.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Nota Técnica DEA 10/14. Consumo de Energia no Brasil: Análises Setoriais. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2014.

_____. Pesquisa do Consumo de Energia no Setor de Serviços. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2015.

_____. Nota Técnica DEA 025/17. Monitorando o Progresso da Eficiência Energética no Brasil: Indicadores e Análises Setoriais. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2017.

_____. Análise da Eficiência Energética em Segmentos Industriais Selecionados: Cadeia do Alumínio. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2017.

_____. Análise da Eficiência Energética em Segmentos Industriais Selecionados: Segmento Celulose e Papel. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2018.

_____. Atlas da Eficiência Energética Brasil | 2019: Relatório de Indicadores. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2020.

_____. Atlas da Eficiência Energética Brasil | 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2021.

_____. Atlas da Eficiência Energética Brasil | 2021: Relatório de Indicadores. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2022a.

_____. Transporte Rodoviário de Cargas Brasil | 2021: Benchmarking Internacional. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2022b.

_____. A Indústria de Papel e Celulose no Brasil e no Mundo: panorama geral. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2022c.

_____. Atlas da Eficiência Energética Brasil | 2022: Relatório de Indicadores. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2023.

_____. Balanço Energético Nacional – BEN. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2024a.

_____. Balanço Energético Nacional – BEN, Relatório Síntese 2024. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2024b

_____. Inova-e. Disponível em: [LINK](#). EPE, 2024c.

_____. Sistema de Informações de Mercado para Planejamento do Setor Elétrico (SIMPLES). EPE, 2024d.

Grand View Research. Ferroalloys Market Size, Share & Trends Analysis. Disponível em: [LINK](#). Acessado em out. de 2024. Grand View Research, 2024a.

Grand View Research. Ferrochrome Market Size, Share, & Trends Analysis. Disponível em: [LINK](#). Acessado em out. de 2024. Grand View Research, 2024b.

Grand View Research. Ferrosilicon Market Size, Share & Trends Analysis. Disponível em: [LINK](#). Acessado em out. de 2024. Grand View Research, 2024c.

Ibá [Indústria Brasileira de Árvores]. Dados Estatísticos: Histórico de Desempenho. Disponível em: [LINK](#). Ibá, 2024a.

_____. Relatório Anual 2024. Disponível em: [LINK](#). Ibá, 2024b.

IBGE [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]. Séries Estatísticas. Disponível em: [LINK](#). Acessado em out. de 2023. IBGE, 2023a.

_____. Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: [LINK](#). Acessado em nov. de 2023. IBGE, 2023b.

ICFPA [International Council of Forest and Paper Associations]. ICFPA 2023 Sustainability Progress Report. Disponível em: [LINK](#). Acessado em out. de 2023. ICFPA, 2023.

IEA [International Energy Agency]. *Energy End-uses and Efficiency Indicators*. Disponível em: [LINK](#). Acessado em dez. de 2023. IEA, 2023.

IMARC Group, Ferroalloys Market Size, Price Trends, Sales | Statistics 2023. Disponível em: [LINK](#). Acessado em ago. de 2024. IMARC, 2024.

INMETRO [Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia]. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Disponível em: [LINK](#). Acessado em out. de 2024. INMETRO, 2024.

Institute for Rare Earths and Metals, Ferroalloys Prices 2024.

IPS Brasil [Índice de Progresso Social]. Índice de Progresso Social (2024). Disponível em: [LINK](#). Acessado em set. de 2024. IPS Brasil, 2024.

J. Mendo Consultoria. Desenvolvimento de Estudos para Elaboração do Plano Duodecenal (2010-2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 2009.

MGISP [Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos]. Painel de Custeio Administrativo. Disponível em: [LINK](#). Acessado em nov. de 2023. MGISP, 2023.

Procel/Eletrobras. Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019. Disponível em: [LINK](#). Procel/Eletrobras, 2019.

SGB [Serviço Geológico do Brasil]. Brasil lidera produção global de nióbio e se destaca como principal detentor das reservas. Disponível em: [LINK](#). Acessado em novembro de 2024. SGB, 2024.

SINFERSI [Sindicato das Indústrias de Ferroligas e de Silício Metálico no Estado de Minas Gerais]. Contabilização de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: [LINK](#). SINFERSI, 2024.

World Economic Forum. *The answer to the aluminium industry's emissions issue? Aluminium's infinite recyclability*. Disponível em: [LINK](#). Acessado em nov. de 2023. World Economic Forum, 2021.

Worldsteel [World Steel Association]. Steel statistical yearbook. Brussels: World Steel Association (WSA). WSA, 2009.

_____. Steel statistical yearbook. Brussels: World Steel Association. Worldsteel, 2019.

- _____. Steel statistical yearbook. Brussels: World Steel Association. Worldsteel, 2021.
- _____. World Steel in Figures 2023. Brussels: World Steel Association. Worldsteel, 2023.
- _____. World Steel in Figures 2024. Brussels: World Steel Association. Worldsteel, 2024.
- USGS [United States Geological Survey]. Minerals Yearbook – Metals and Minerals. USGS, 2018.
- _____. Minerals Yearbook – Metals and Minerals. USGS, 2021.

Atlas da Eficiência Energética

Brasil | 2024

Relatório de Indicadores

Siga a EPE nas redes sociais e mídias digitais:

