



Atlas da Eficiência Energética

Brasil | 2020

Relatório de Indicadores



Empresa de Pesquisa Energética

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretária Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

**Secretário de Planejamento e
Desenvolvimento Energético**

Paulo Cesar Magalhães Domingues



Colaboradores

Coordenação Técnica

Felipe Klein Soares
Rogério Antônio da Silva Matos

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
Glaucio Vinícius Ramalho Faria
Patrícia Feitosa Bonfim Stelling
Rachel Martins Henriques
Rafael Barros Araújo

Presidente

Thiago Vansconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômicos e Energéticos

Giovani Vitória Machado

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretora de Gestão Corporativa

Angela Regina Livino de Carvalho

Equipe Técnica

Aline Moreira Gomes
Allex Yujhi Gomes Yukizaki
Ana Cristina Braga Maia
Bruno Rodamilans Lowe Stukart
Felipe Klein Soares
Fernanda Marques Pereira Andreza
Flávio Raposo de Almeida
Lidiane de Almeida Modesto
Patrícia Messer Rosenblum
Rogério Antônio da Silva Matos
Thiago Toneli Chagas

Este relatório possui dois capítulos especiais...

O primeiro se refere a uma análise mais detalhada da indústria de cimento no Brasil, resultado da cooperação entre EPE, Agência Internacional de Energia (IEA) e o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Neste capítulo é apresentada uma análise nacional e internacional do subsetor industrial de cimento, com um foco especial nos avanços em eficiência energética e mitigação de emissões de carbono.

O segundo capítulo explora os impactos da crise da pandemia do Covid-19 e medidas relacionadas ao consumo e eficiência energética em diferentes setores econômicos do Brasil. Também é o resultado de uma cooperação detalhada sobre dados e políticas entre a EPE e a IEA.



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

Coordenação Técnica

Edith Bayer

Equipe Técnica

Hugo Salamanca

Takahiro Oki

Yannick Monschauer

Jeremy Sung

Luiz Gustavo de Oliveira (consultor da IEA no Brasil)



A equipe do SNIC que contribuiu para a execução deste relatório foi:

Presidente Executivo

Paulo Camillo Vargas Penna

Head – Meio Ambiente e Sustentabilidade

Gonzalo Visedo

Sumário

Objetivo.....	03
Definições.....	05
Introdução.....	10
Edificações.....	16
Setor Residencial.....	18
Setor de Serviços.....	26
Indústria.....	31
Atualização sobre a Eficiência Energética e a Mitigação de Emissões no Setor de Cimento no Brasil e no Mundo.....	39
Setor de Transportes.....	67
Impactos do Covid-19.....	77
Referências Bibliográficas.....	100

Objetivo

Objetivo

Este documento tem por objetivo principal o monitoramento do progresso da eficiência energética no Brasil, através de uma análise de indicadores. Em 2020 foi publicado o primeiro “Atlas da Eficiência Energética no Brasil – Relatório de Indicadores” – com a análise até o ano 2018. Este documento atualiza e complementa, de forma mais sintética, o primeiro relatório com dados até o ano 2019. O presente documento consolida o quarto ciclo de trabalho da EPE na elaboração do banco de dados de indicadores de eficiência energética.

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.

O ODEX por setor (por exemplo: indústria) é baseado nos índices de consumo unitário por subsetor (cimento, cerâmica, têxtil, etc...), ponderado 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, seja o consumo por domicílio, por produção física, número de veículos, por exemplo.

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 índice de consumo unitário do valor 100 em 2005 para 80 em 2019, por exemplo, representa um ganho de eficiência energética de 20% ao longo do período analisado. Em contrapartida, caso o ODEX aumente de 100 para 120, terá havido uma 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.

Para fins dessa nota técnica, foram considerados os setores industrial, residencial e de transportes. Os demais setores (energético, serviços e agropecuária) não foram incluídos em função da indisponibilidade de dados.

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 (U\$, R\$, m², tonelada-quilômetro, passageiro-quilômetro, entre outros).

Exemplos fictícios:

- Intensidade energética industrial: 100 tep/U\$ 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 dividida pelo Produto Interno Bruto 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 uma 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), que são 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:

- Oferta Interna de Energia (mil tep)/PIB (M\$[2010])
- 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.

Setor de Transportes

Veículos Leves (por porte)

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 Pesados

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.

Introdução

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%, o que já é um grande desafio para o País. Mais recentemente, entre 2011 e 2014, houve uma redução da participação das renováveis na matriz energética devido à queda da oferta hidráulica, associada à menor quantidade de chuvas. 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 46,1% em 2019.

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

Fonte: EPE (2020a)

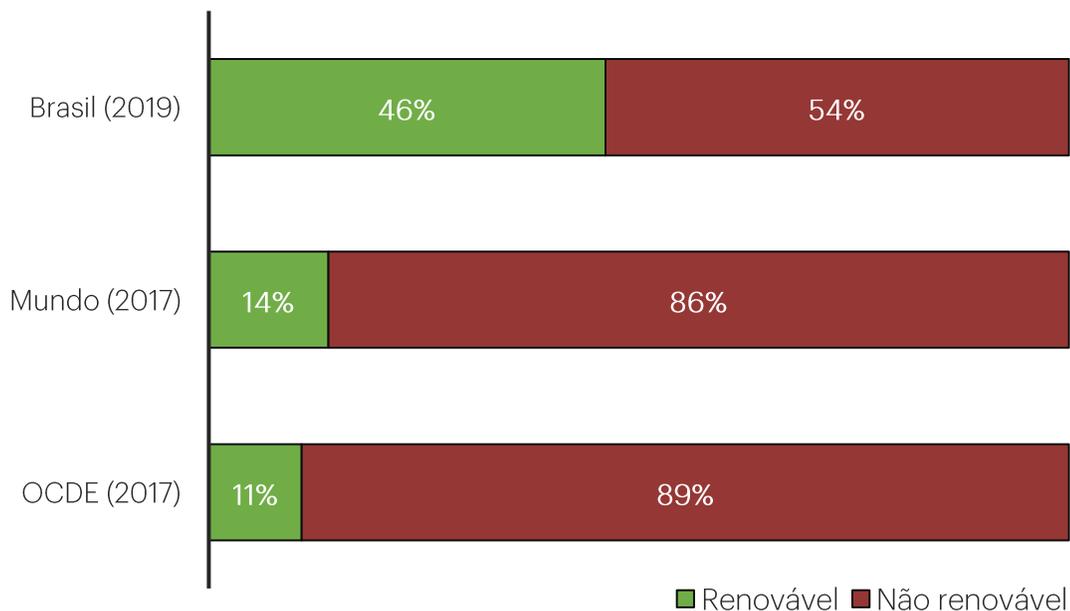
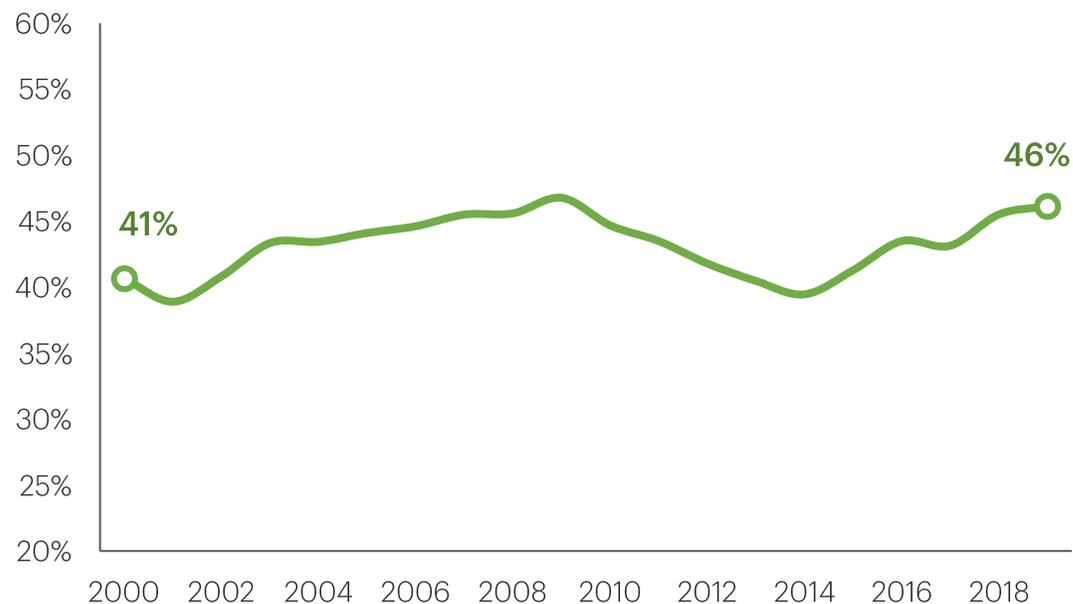


Figura 2 – Evolução da participação das fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE)

Fonte: EPE (2020b)

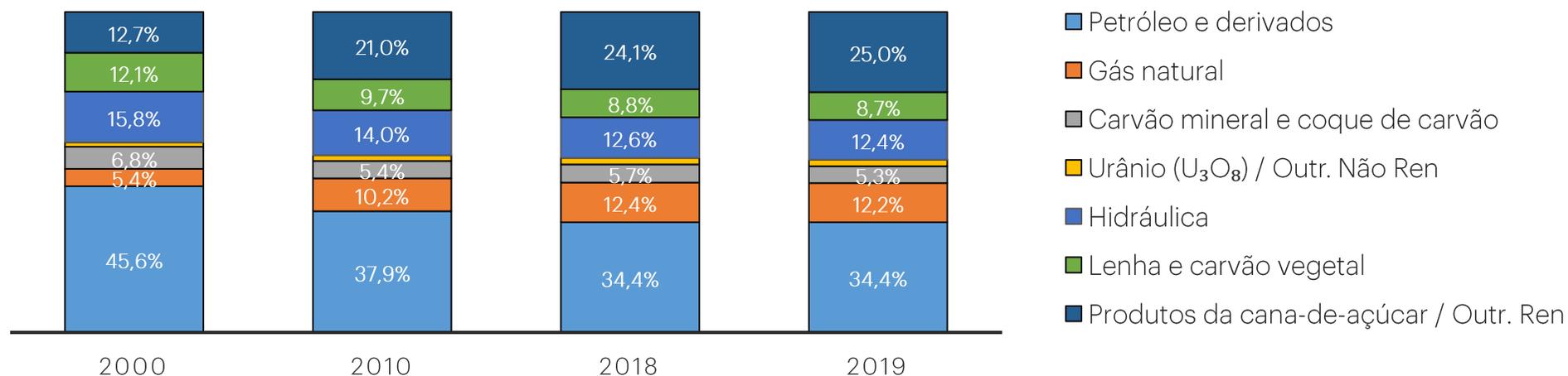


Evolução do consumo energético por fonte

Pelo lado das fontes não renováveis, o petróleo e seus derivados seguem como a maiores fontes. No entanto, o gás natural foi o grande destaque, tendo a sua participação evoluída de 5% em 2000 para 12% em 2019 devido à sua utilização em termelétricas de base, extensão da malha dutoviária, que possibilitou o seu uso tanto nas indústrias como nas edificações residenciais, comerciais e públicas.

Figura 3 – Consumo energético por fonte em anos selecionados

Fonte: EPE (2020b)



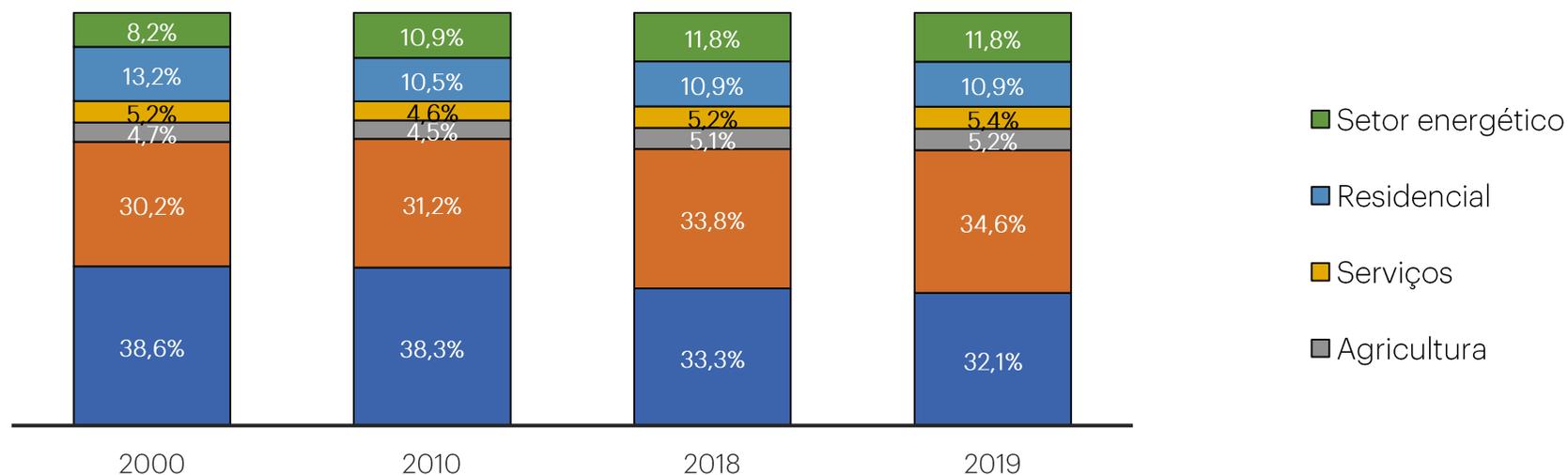
As fontes renováveis cresceram em ritmo mais acelerado devido à expansão do setor sucroalcooleiro e a forte penetração de outras renováveis, como as fontes eólica, lixívia e biodiesel. Com uma participação inexpressiva em 2000, a energia eólica em 2019 agregou 4,8 milhões de tep à matriz. Já a lixívia, diretamente associada à indústria de celulose, contribuiu com outros 8,9 milhões de tep também em 2019. O biodiesel tem sido favorecido pela política de adição deste combustível no diesel fóssil. Em 2019, o percentual atingiu 11%. A matéria prima mais usada para sua fabricação no País é o óleo de soja. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de biodiesel, atrás dos Estados Unidos.

Evolução do consumo energético por setor

O principal movimento observado neste período foi o recuo da participação da indústria em contraposição ao avanço dos setores de transporte e energético. A indústria do cimento, além da redução gradativa da relação clínquer/cimento de 73,2% em 2000 para 69,5% em 2019, teve a produção de clínquer (intensivo em consumo de energia) crescendo a uma taxa média anual de 1,4%.

Figura 4 – Consumo energético por setor em anos selecionados

Fonte: EPE (2020b)



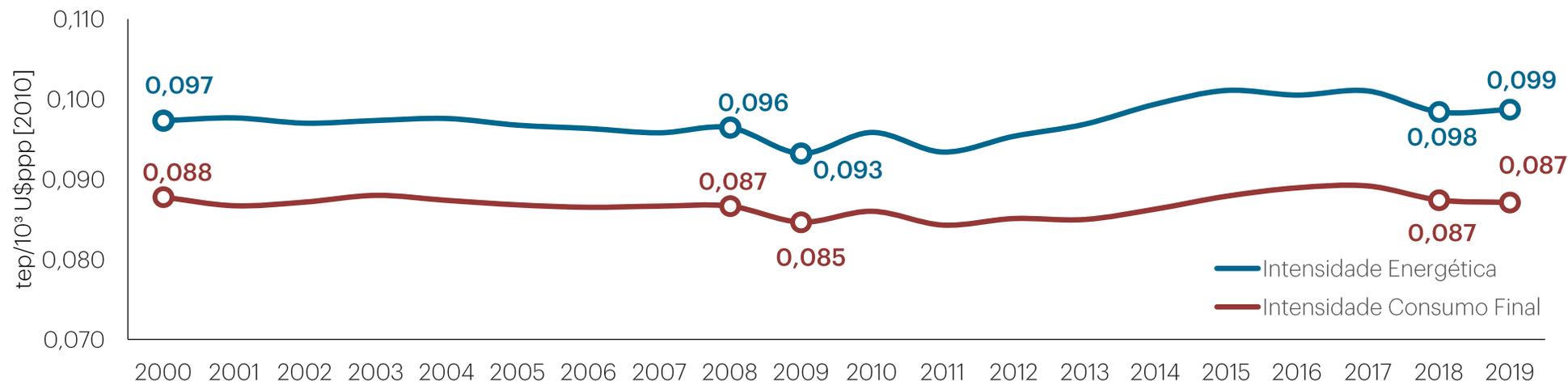
A metalurgia por sua vez expandiu sua produção física à uma taxa média anual de 0,6%. Ou seja, o agregado cimento/metalurgia que consome mais de 30% de toda a energia destinada à indústria cresceu em ritmo menos intenso que o setor de transportes que no mesmo período teve o seu consumo energético evoluindo a uma taxa média anual de 3,1%. O setor energético, impulsionado pela produção de petróleo e etanol, que no período cresceram a taxas anuais de 4,4% e 6,5%, teve seu consumo energético, em 2019, acrescido de 16,1 milhões de tep em relação ao ano 2000.

Intensidade Energética

No período 2000 a 2008 a intensidade energética primária se manteve estável em torno de 0,097 tep/10³U\$ppp[2010], e 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 (2020b)



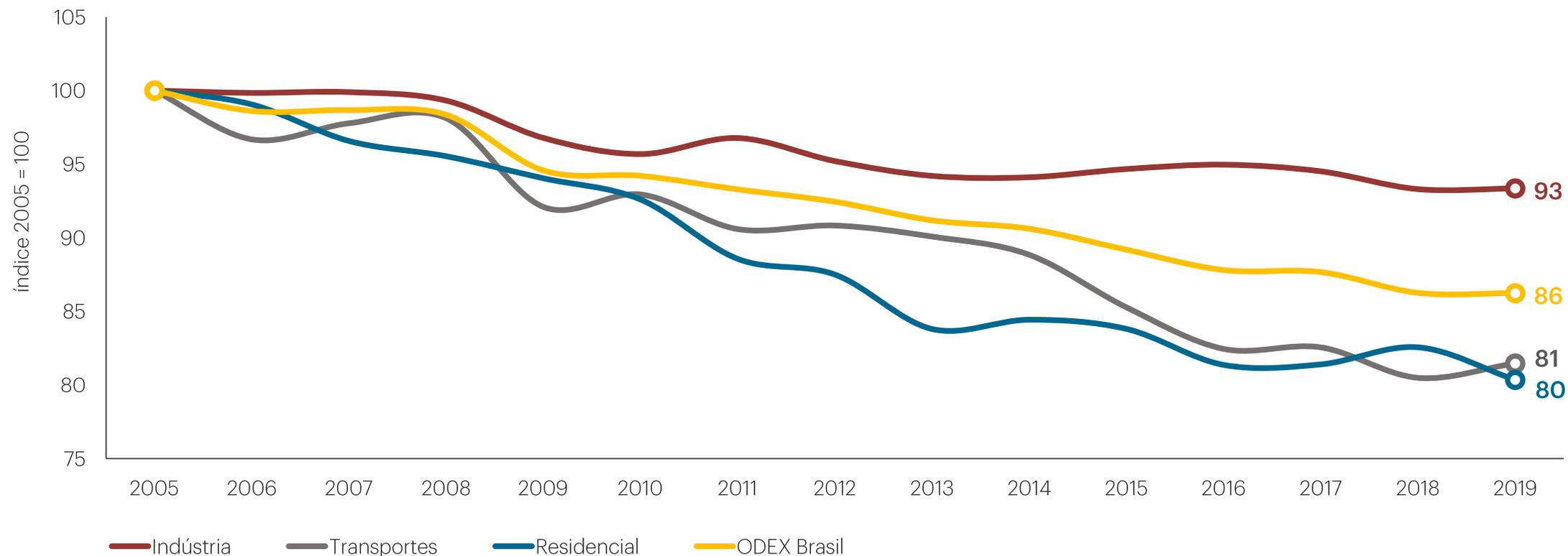
Entre os anos 2010 e 2013, as intensidades primária e final evoluíram às taxas de 1,0% e 0,1% ao ano, respectivamente, refletindo o crescimento da OIE acima do crescimento do PIB. Entre 2014 e 2019, a intensidade energética primária cresceu ao ritmo de 0,3% ao ano, mesmo com a economia em recessão (queda média do PIB de -0,4% ao ano). Já a intensidade final, neste mesmo período, apresentou um avanço de 0,4% ao ano. 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.

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 ganhos no setor residencial (20%) e no setor de transportes (19%). O ODEX apurado em 2019 mostra que país ficou 14% mais eficiente energeticamente no período.

Figura 6 – ODEX Brasil

Fonte: Elaborado por EPE



Edificações

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

A principal fonte de energia utilizada nas edificações é a eletricidade. As residências utilizam 46% de eletricidade, 26% GLP e 24% de lenha. Já os edifícios comerciais e públicos utilizam majoritariamente a eletricidade com 92% de participação.

Figura 7 – Energia total demandada pelas edificações

Fonte: EPE (2020b)

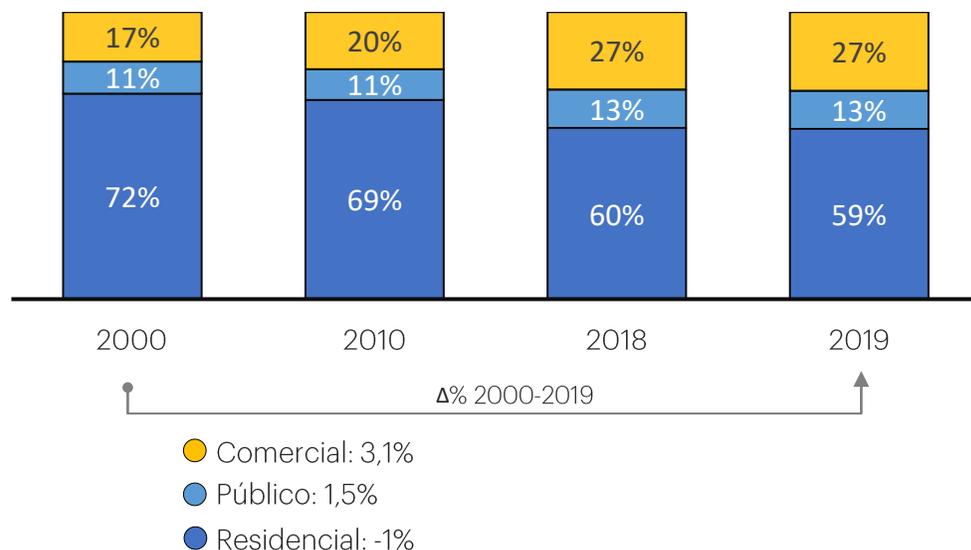
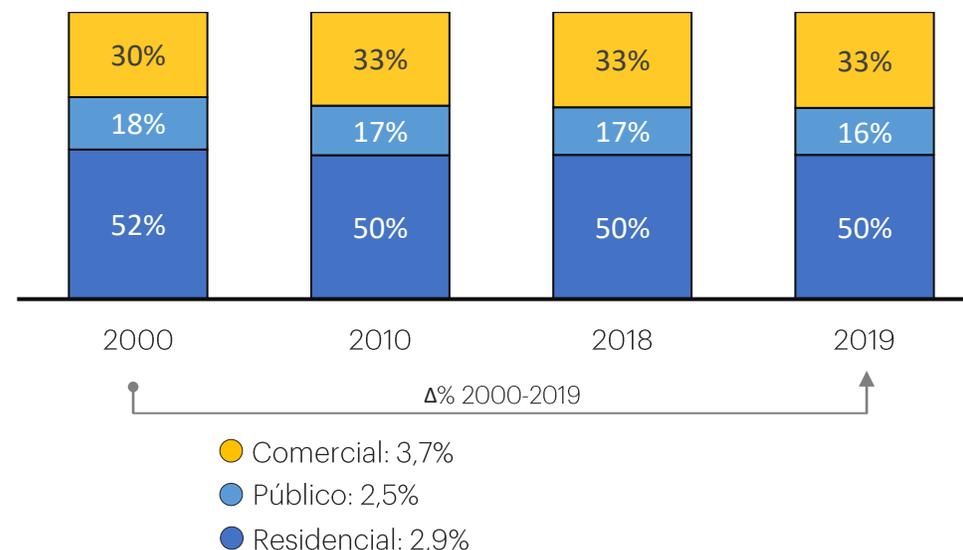


Figura 8 – Eletricidade demandada pelas edificações

Fonte: EPE (2020b)



As Edificações consomem 52% da eletricidade do país e por ter um grande consumo de eletricidade é nesse segmento que está o maior potencial de eficiência elétrica. O PROCEL calcula que o Selo Procel Edificações evitou um consumo de cerca de 24 GWh nas edificações construídas entre 2015 e 2019. (Procel, 2020).

Nota: no setor público contempla os serviços públicos de iluminação pública e saneamento.

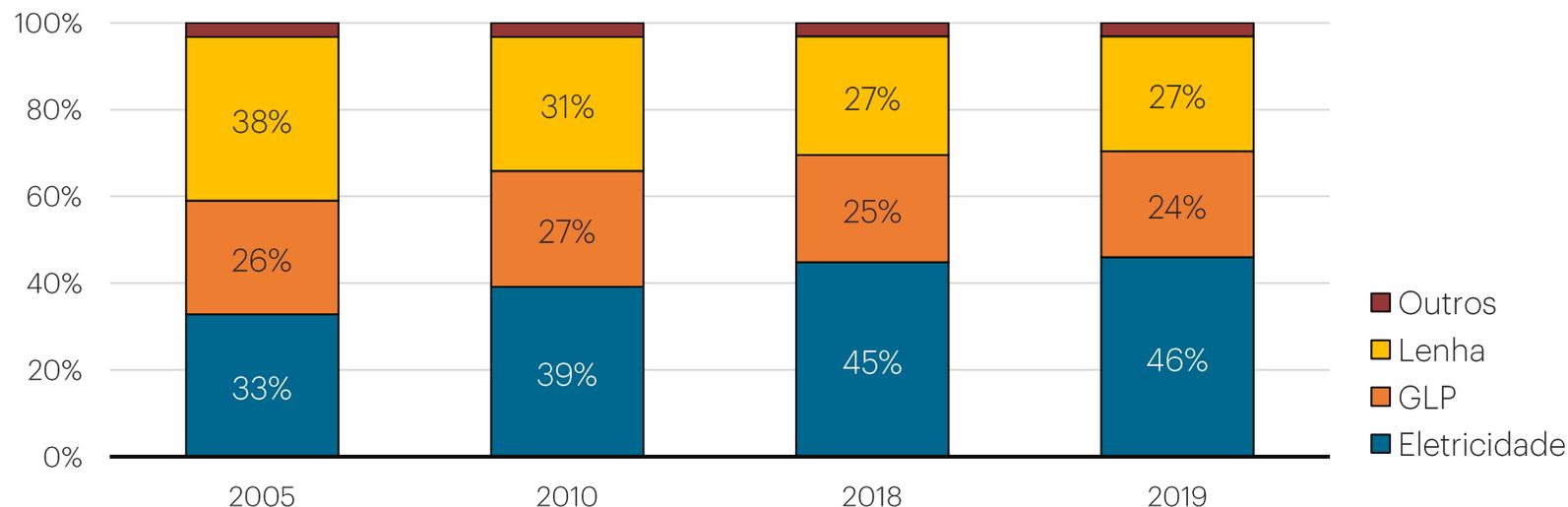
Setor Residencial

Evolução do consumo energético por fonte nas residências

A eletricidade continua sendo a fonte de energia mais utilizada nos domicílios nacionais, com uma evolução de 13% entre 2005 e 2019. A energia elétrica possui uso disseminado nas residências, podendo ser utilizada na climatização de ambientes, conservação e cocção de alimentos, equipamentos elétricos e eletrônicos e aquecimento de água.

Figura 9 – Consumo energético por fonte nas residências em anos selecionados

Fonte: EPE (2020b)



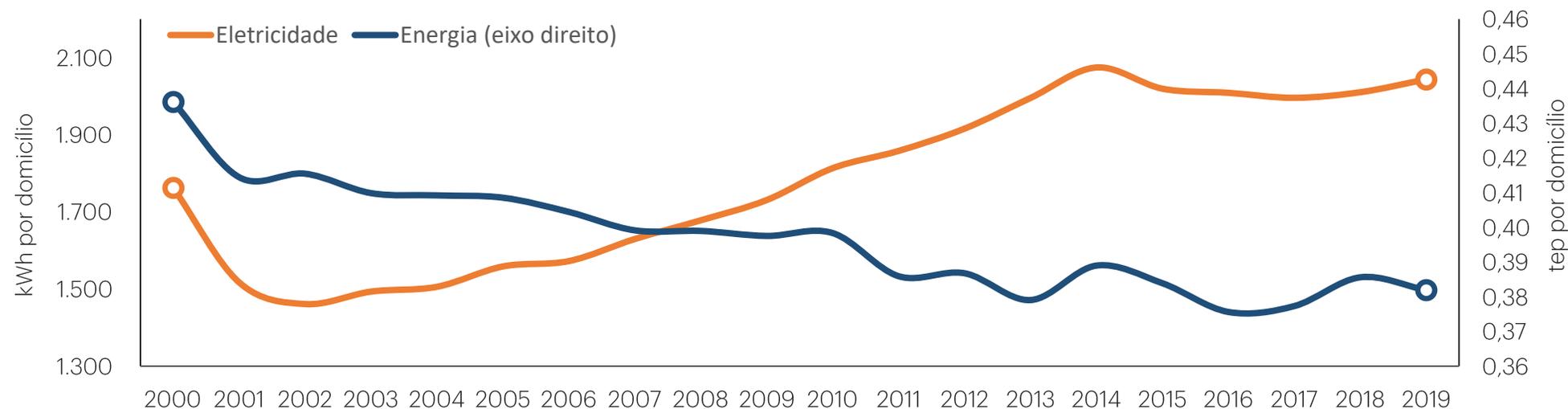
O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) mantém uma participação intermediária (24% em 2019), sendo o seu uso principal associado ao processo de cocção de alimentos. Já o Gás Natural (GN) é utilizado predominantemente para cocção de alimentos e aquecimento de água, principalmente nas regiões mais desenvolvidas do país e abastecidas com esta fonte. A participação ainda é muito reduzida no consumo total por fonte. A redução do consumo da biomassa (lenha e carvão) como fonte de energia nas residências ocorreu em função da melhoria das condições econômicas das famílias, principalmente entre 2002-2014.

Evolução do consumo elétrico e energético nos domicílios

Enquanto o consumo de energia por domicílio diminuiu 12,4% (queda de 0,7% ao ano) de 2000 a 2019, a demanda de eletricidade por domicílio cresceu 15,9% (avanço de 0,8% ao ano). No período, a demanda de eletricidade aumentou em razão do progresso econômico das famílias, do avanço do crédito para compra de eletrodomésticos, de políticas governamentais de acesso à eletricidade, sobretudo em áreas rurais, e de programas habitacionais e estímulos para reduzir o déficit habitacional brasileiro.

Figura 10 – Consumo elétrico e energético por domicílio

Fonte: Elaborado por EPE



O consumo final de energia caiu no período em função da redução do uso de fontes menos eficientes em termos energéticos (biomassas tradicionais – lenha e carvão vegetal) e a consequente substituição por fontes mais eficientes (GLP, gás natural, eletricidade). O consumo de energia total e eletricidade teve uma queda brusca em 2001 devido ao racionamento de energia elétrica do país. Isto estimulou uma mudança de hábitos e promoveu medidas de eficiência energética nas residências brasileiras.

Políticas vigentes de eficiência energética nas residências

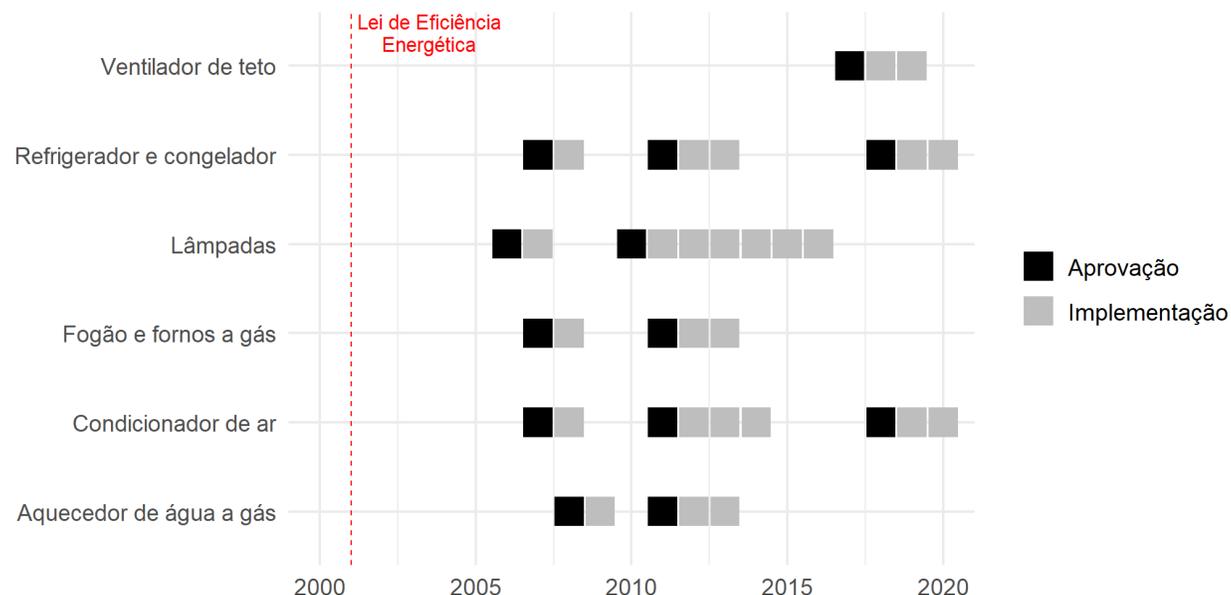
As principais medidas de eficiência energética nos domicílios são implementadas por meio de políticas de padrões e etiquetagem obrigatórias ou voluntárias em equipamentos e eletrodomésticos. Essas políticas incluem: Índices mínimos de eficiência energética (ou de consumo máximo), Etiquetagem comparativa (compulsória ou voluntária) e Selos de endosso.

O Plano Brasileiro de Etiquetagem (PBE) foi desenvolvido desde a década de 1980 com base na adesão voluntária dos fornecedores de equipamentos, principalmente aqueles destinados às famílias. Gradualmente, a adesão passou a ser compulsória para alguns equipamentos. Com a publicação da Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001), no início dos anos 2000, o PBE passou a exigir, também de forma compulsória, critérios de desempenho dos equipamentos baseado em índices mínimos de eficiência energética (ou de consumo máximo).

Além das políticas de padrões e etiquetagem, existem iniciativas complementares no país que buscam promover a eficiência energética por meio de normas, certificações e programas, que incluem não apenas os equipamentos que consomem energia elétrica, mas também o desempenho térmico das edificações e das suas relações com os moradores e o estímulo ao uso de sistemas alternativos de geração de energia em habitações de interesse social (HIS).

Figura 11 – Período de aprovação e implementação das políticas de índices mínimos de eficiência energética de equipamentos residenciais

Fonte: Elaborado pela EPE com base em dados do MME



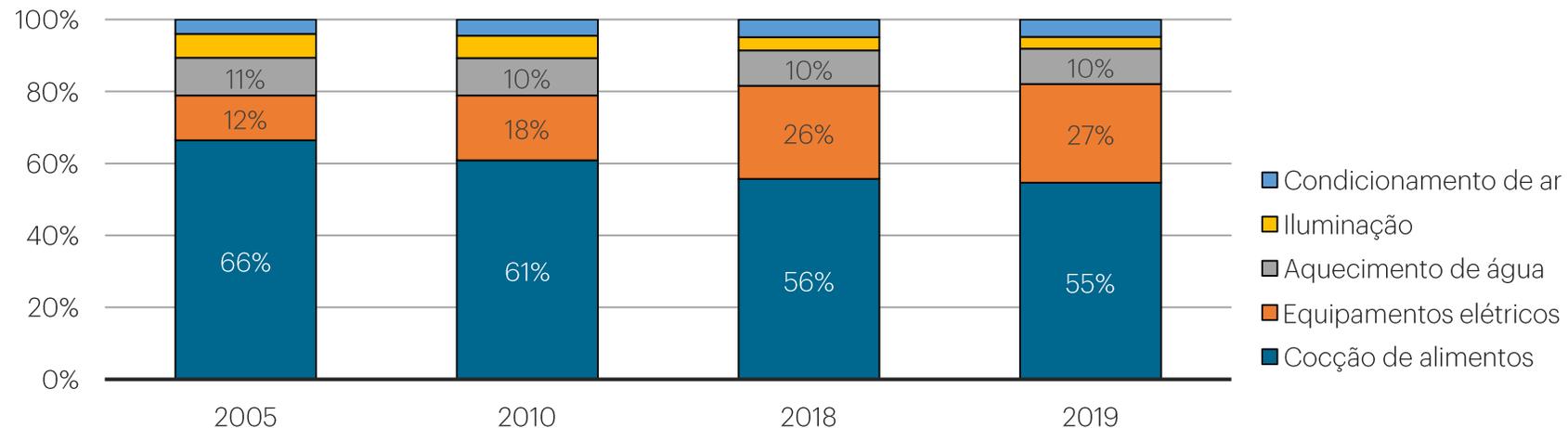
Nota: São consideradas as datas contidas nas regulamentações específicas e nos planos de metas. Para os dados de lâmpadas foram consideradas as regulamentações específicas e os planos de metas de lâmpadas incandescentes e lâmpadas fluorescentes compactas.

Evolução do consumo energético por uso final nas residências

O principal uso final da energia das residências é a cocção de alimentos, seguido por equipamentos elétricos, aquecimento de água, condicionamento de ambientes e iluminação. A redução da participação da cocção de alimentos no período entre 2005 e 2019 pode ser explicada pelo processo de transição energética das famílias que substituem o consumo de biomassas tradicionais por combustíveis modernos a medida que progridem economicamente.

Figura 12 – Consumo de energia residencial por uso final em anos selecionados

Fonte: Elaborado por EPE

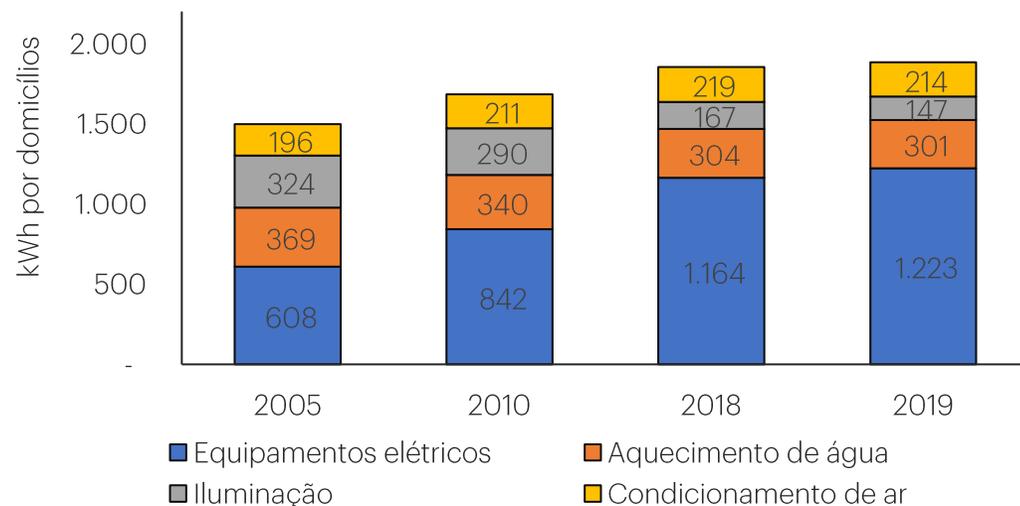


O crescimento da participação de equipamentos elétricos e eletrônicos no período pode ser explicado pelo aumento da posse pelas famílias, em função da evolução da renda, da facilidade de acesso ao crédito e da retração dos preços dos dispositivos. Condicionamento de ambientes vem ganhando participação ao longo do tempo em razão do aumento do uso de aparelhos de ar-condicionado, ventiladores e circuladores de ar nos domicílios. 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 (light-emitting diode).

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

Figura 13 – Consumo elétrico residencial por uso final

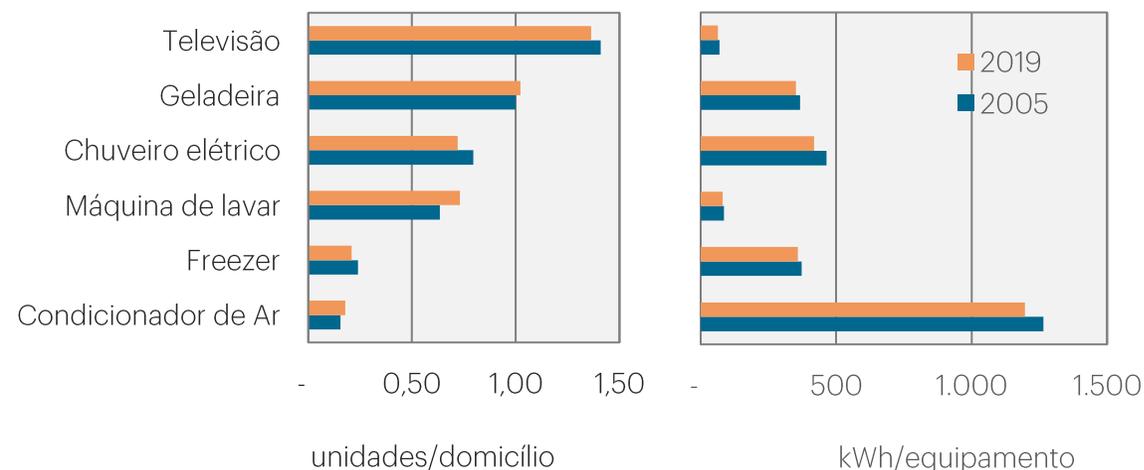
Fonte: Elaborado por EPE



A participação do uso da eletricidade na cocção de alimentos é muito pequena, estando relacionada à utilização de fornos e fogões elétricos. A atividade de cocção é predominantemente realizada por fontes como GLP, gás natural e biomassas tradicionais. A redução da utilização da energia elétrica para aquecimento de água se deve à maior penetração dos sistemas de aquecimento solar (SAS), sobretudo em habitações de interesse social (HIS), e da expansão da rede de gás natural ao longo do período 2005-2019.

Figura 14 – Posse e consumo médio anual por equipamento

Fonte: Elaborado por EPE



A penetração de equipamentos novos e mais eficientes, tende a reduzir o consumo médio de energia do estoque existente no país. Condicionadores de Ar e Máquinas de Lavar foram os aparelhos com o maior avanço da posse no período 2005-2019, cerca de 1,0% ao ano. A posse de freezers e chuveiros elétricos caiu no período. No caso dos congeladores, a redução é resultado, em grande parte, da mudança de hábito das famílias nas últimas décadas, que deixaram de substituir os equipamentos que atingiram o fim da sua vida útil, sendo sucateados.

Efeitos da evolução do consumo de eletricidade por equipamento

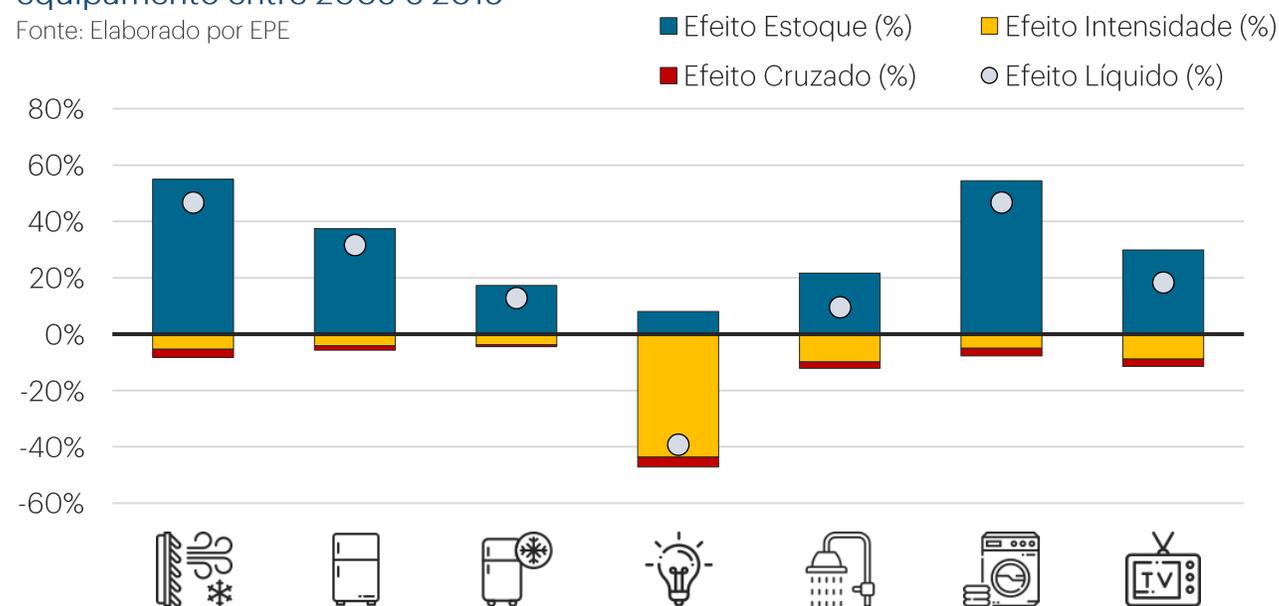
Cada equipamento apresentou uma variação do consumo de energia elétrica entre 2005 e 2019, que pode ser decomposta em 3 efeitos: o **efeito Estoque** corresponde às variações no estoque de cada equipamento influenciada pelas vendas de dispositivos novos e pelo sucateamento de aparelhos no final de sua vida útil ou inutilizados em cada ano, pelo progresso do número de domicílios e pela variação da posse do equipamento por domicílio.

O **efeito Intensidade** representa às variações no consumo específico de cada equipamento, ou seja, o quanto de energia cada um consome em seu funcionamento. Este efeito é uma proxy para o ganho de eficiência energética e pode ser entendido como o ganho relativo de substituir tecnologias ou mudar hábitos de uso dos aparelhos.

O **efeito Cruzado** corresponde às relações dos efeitos Estoque e Intensidade, uma vez que o consumo específico de um equipamento em um determinado ano é calculado pela média ponderada dos consumos específicos dos estoques de aparelhos com idades diferentes dentro daquele ano.

Figura 15 – Decomposição da variação do consumo de energia elétrica por equipamento entre 2005 e 2019

Fonte: Elaborado por EPE



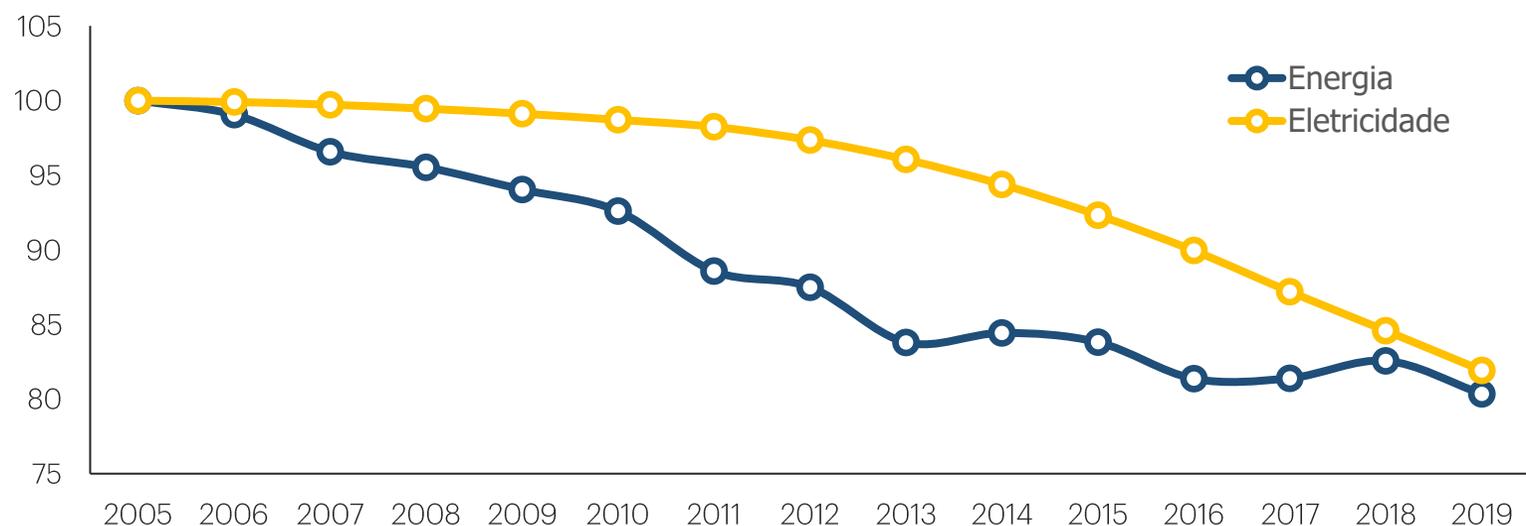
Pode-se observar que o efeito Estoque foi o principal responsável pelo aumento do consumo de eletricidade dos equipamentos no período de 2005-2019, sobretudo para Condicionadores de Ar e Máquinas de Lavar. Para Lâmpadas, o efeito Intensidade foi maior devido ao banimento de lâmpadas incandescentes e à maior penetração de lâmpadas mais eficientes, em especial as da tecnologia LED.

ODEX residencial

É o indicador de eficiência que, para as residências, agrega a tendência de consumo dos diferentes usos finais, ou equipamentos, com base em seus pesos no consumo total.

Figura 16 – Evolução do ODEX residencial calculado para energia total e eletricidade

Fonte: Elaborado por EPE



Enquanto o ODEX calculado para energia total assinalou queda de cerca de 20% entre 2005 e 2019, a retração do ODEX para o consumo de eletricidade ficou um pouco aquém deste patamar. Observa-se que nos últimos anos a retração do indicador é mais significativa para a energia elétrica, sugerindo a importância dessa fonte na conservação de energia residencial no país.

Os indicadores associados ao consumo de energia nas residências analisados neste documento sugerem que, quando consideramos os principais usos finais, bem como os principais equipamentos elétricos, observamos uma tendência de eficiência energética no setor residencial brasileiro entre 2005 e 2019. Além das políticas públicas de indução da eficiência energética, esse fenômeno é o resultado de interações complexas que incluem fatores econômicos, sociais e comportamentais das famílias.

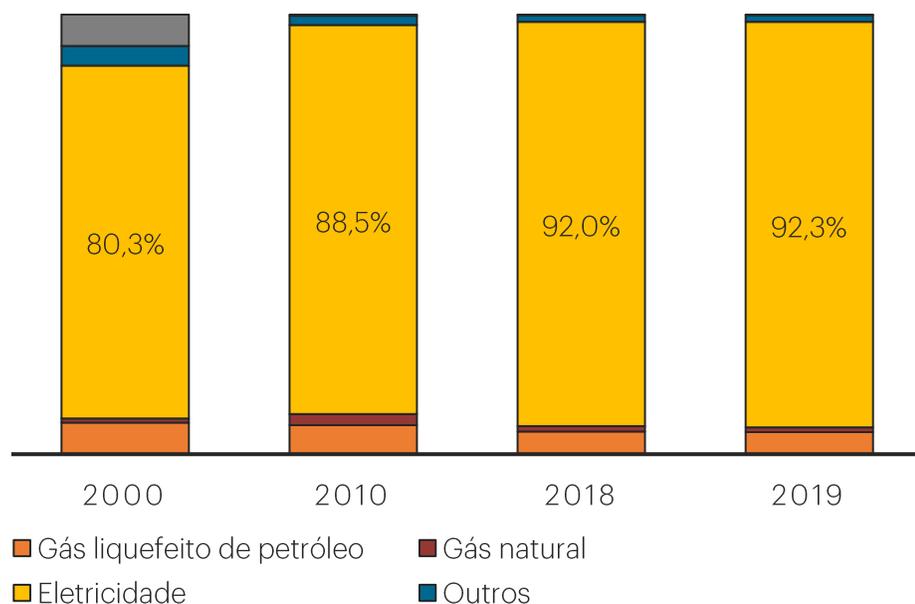
Setor de Serviços

(comercial e serviços públicos)

Panorama: evolução do consumo final energético, por fonte, no setor de serviços^[1]

Figura 17 – Consumo final energético por fonte nos serviços

Fonte: EPE (2020b)



O gás natural que chega aos estabelecimentos cresceu 3,5% de 2010 a 2019, no entanto o seu consumo final caiu. Isso ocorre porque parte do gás natural é destinada à geração de eletricidade, que não é contabilizada, segundo a metodologia do BEN, como consumo final. Neste período, houve um incremento da capacidade instalada de geração de energia elétrica no setor (9,0%), seja por autoprodução ou cogeração.

O consumo de GLP a partir de 2005 estagnou, influenciado pela resolução da ANP nº22/2005 Art.30 veda o uso do GLP em:

- Saunas
- Caldeiras
- Aquecimento de piscinas, exceto para fins medicinais.
- Motores de qualquer espécie, inclusive com fins automotivos, exceto empilhadeiras e equipamentos industriais de limpeza movidos a motores de combustão interna

A eletricidade continua a ganhar importância no consumo final do setor, podendo estar associada a diversos fatores como o aumento da posse de equipamentos elétricos nos estabelecimentos, o aumento da automação e controle de processos, substituição do uso de fontes secundárias, entre outros fatores. O gás natural teve seu pico de consumo em 2007 com 332 ktep e em 2019 chegou a 147 ktep, decréscimo de 6,2% no período de 2010-2019. Já o GLP manteve o patamar de consumo, com uma queda de 0,4% no período de 2010-2019.

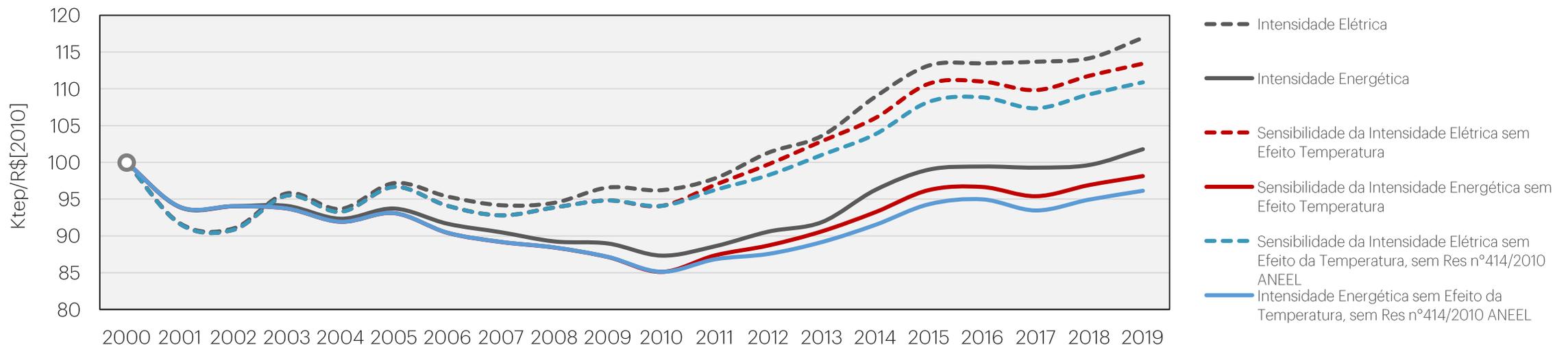
^[1]Setores comercial e público conforme a classificação do Balanço Energético Nacional

Análise de indicadores setoriais: evolução do perfil de demanda de energia dos setores de comércio e serviços

Os indicadores de intensidade elétrica e energética sofreram um impacto em 2001, ocasionado pelo racionamento de energia elétrica. A partir de 2010, o aumento das intensidades pode não refletir uma ineficiência, visto que políticas de eficiência em curso atuam na atenuação do crescimento do consumo. Há segmentos fortemente vinculados ao crescimento demográfico, os quais são menos sensíveis as oscilações econômicas, o que pode elevar os indicadores.

Figura 18 – Intensidade Elétrica e Energética

Fonte: Elaborado por EPE

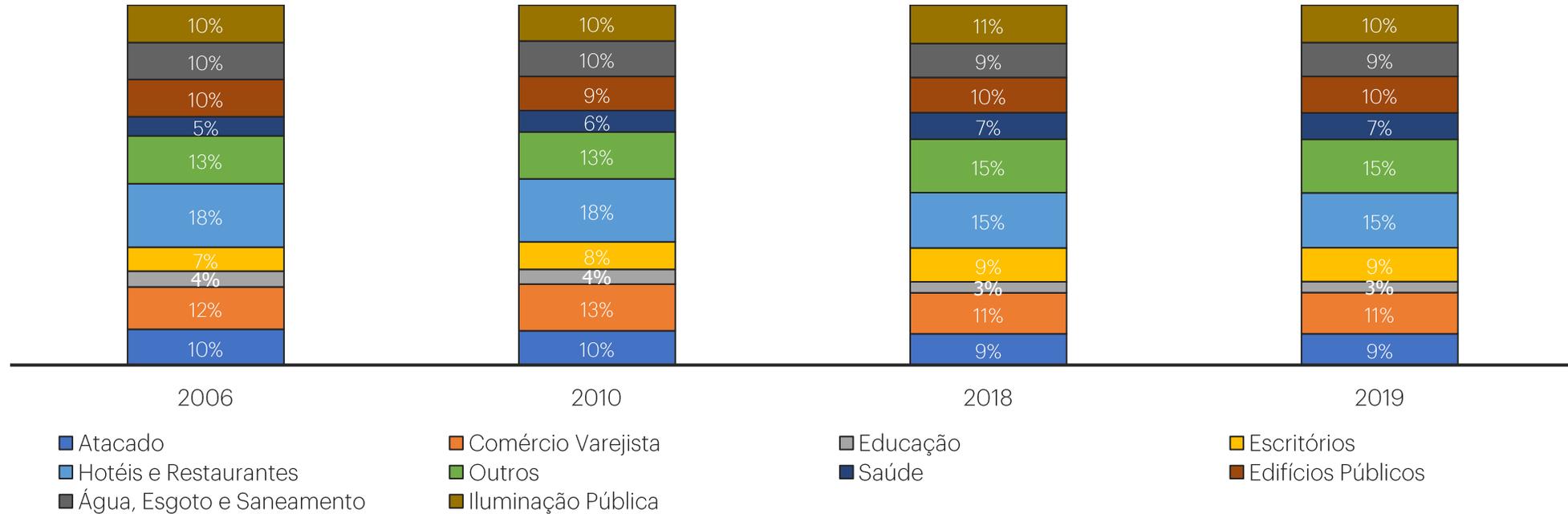


A intensidade elétrica se afasta da trajetória do outro indicador devido ao crescimento da eletricidade em relação as demais fontes, reflexo do aumento no uso da energia útil de alguns serviços energéticos como é o caso do condicionamento de ar para conforto térmico de ambientes e também pela expansão da eletricidade na matriz energética do setor de serviços.

Consumo de Energia por Segmento 2006-2019

Figura 19 – Consumo final energético por segmento no setor de serviços

Fonte: Elaborado por EPE



O setor de serviços, intrinsecamente heterogêneo, apresenta certa homogeneidade nos montantes energéticos anuais consumidos por segmento ao longo do período. As políticas vigentes de eficiência energética induzem a uma maior penetração de equipamentos eficientes no mercado.

Algumas políticas vigentes de eficiência energética

Para o setor de serviços, importantes políticas de eficiência energética impulsionam a entrada de equipamentos e edificações mais eficientes, com destaque para:

- Programa Brasileiro de Etiquetagem – INMETRO, criado em 1984
- PROCEL RELUZ - Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes, criado em 2000;
- Programa de Eficiência Energética - PEE regulada pela ANEEL , criado em 2000;
- Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações, criado em 2001;
- Procel Edifica – Programa de Eficiência Energética em Edificações Eletrobrás/Procel, criado em 2003;
- PROCEL SANEAR – Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental, criado em 2003;
- Plano Anual de Recursos do PROCEL, Lei nº13.280/2016;
- Selo Procel para equipamentos (1993) e edificações (2020);
- ABNT/NBR 15220/2005 – Norma Brasileira de Desempenho Térmico para Edificações;
- ABNT/NBR 15575/2013 – Desempenho de edificações habitacionais, edifícios habitacionais de até cinco pavimentos;
- INMETRO, Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais- RTQ-R, RAC - Requisito de Avaliação da Conformidade para Edificações e suas Portarias Complementares,
- Instrução Normativa SLTI n.º 02/2014 do MPOG.

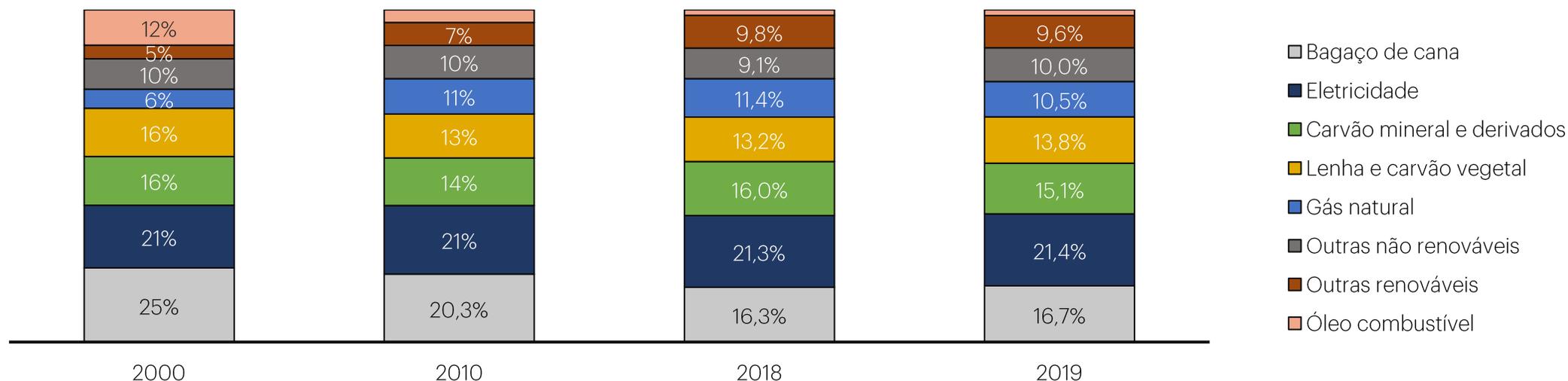
Setor Industrial

Panorama da indústria: evolução do consumo energético por fonte

O setor industrial consome aproximadamente um terço da energia final para atendimento de seus processos produtivos. Até 2017 era o setor com maior consumo, mas com a redução da atividade econômica industrial entre 2014 e 2017 e da produção de açúcar em 2018, foi superado pelo setor de transportes.

Figura 20 – Consumo final energético por fonte

Fonte: EPE (2020b)



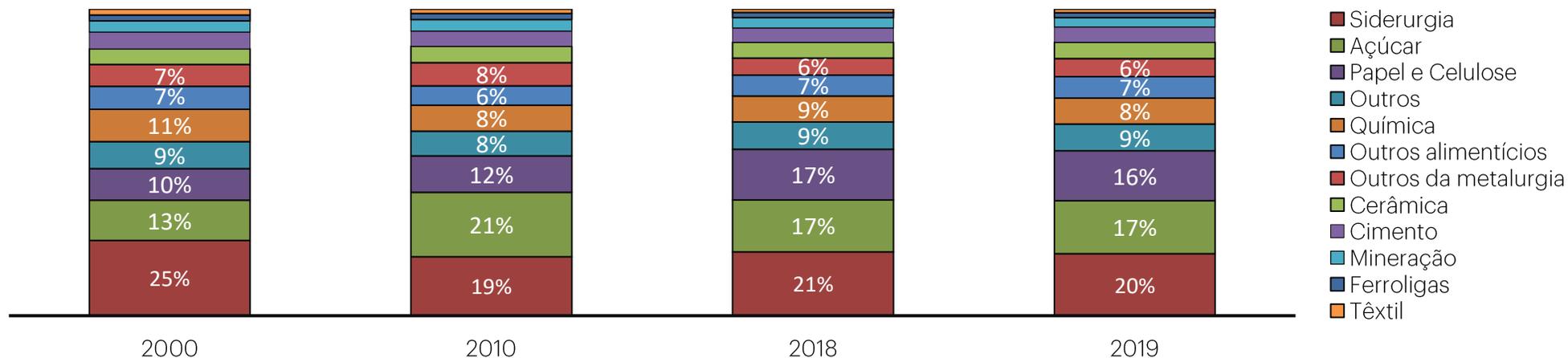
Em 2000, as principais fontes da indústria eram, em ordem de relevância, eletricidade, carvão mineral e derivados, lenha e carvão vegetal, bagaço de cana e óleo combustível. Já em 2019, o bagaço de cana foi a segunda fonte mais consumida, seguida pelo carvão mineral e seus derivados, e atrás apenas da eletricidade.

Panorama da indústria: evolução do consumo da indústria por subsetores

O aumento da participação do bagaço de cana e de outras renováveis no consumo industrial está relacionado ao ganho de participação do setor de produção de açúcar e de celulose, respectivamente. Observa-se a redução da participação do óleo combustível, deslocado gradualmente pelo coque de petróleo (notadamente na produção de cimento) e por gás natural e outras renováveis (na produção de papel e celulose).

Figura 21 – Participação dos subsetores no consumo final de energia da indústria

Fonte: EPE (2020b)



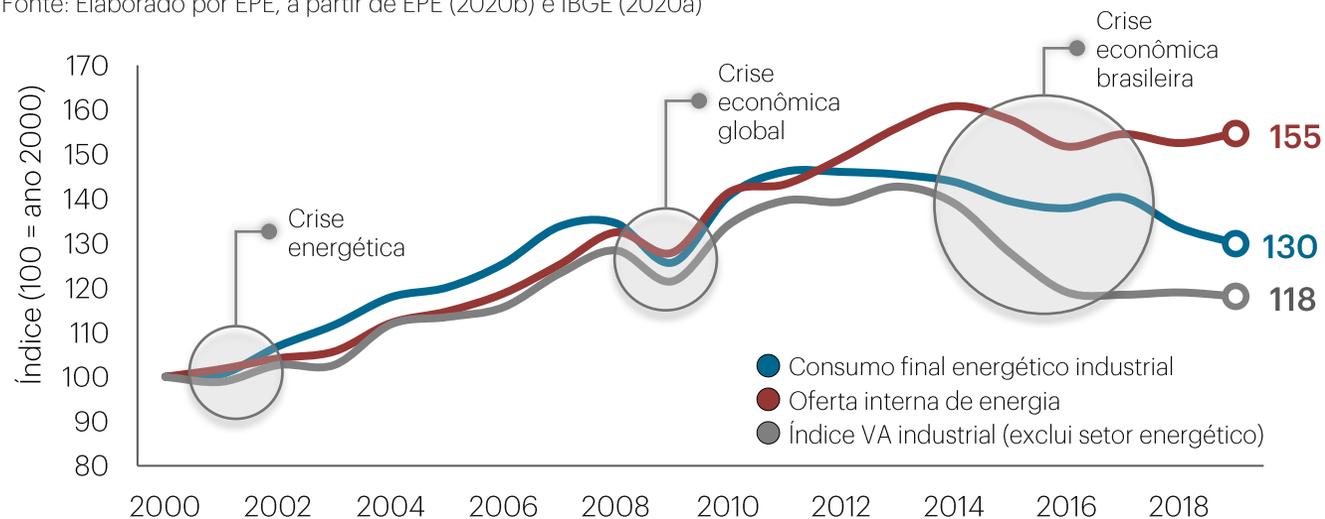
Os maiores consumidores de energia na indústria são os setores de siderurgia, açúcar, papel e celulose, correspondendo a 48% do total em 2000 e a 53% do em 2019. Nesse período, houve redução de participação da siderurgia (-5 p.p.) e da química (-3 p.p.), enquanto cresceu a participação dos setores de papel e celulose (+6 p.p.) e açúcar (+4 p.p.).

Evolução do consumos de energia e de valor adicionado da indústria e total no Brasil

Entre 2001 e 2005, a intensidade energética avançou à taxa de 1,2% ao ano (majoritariamente, devido aos setores energointensivos). Um forte crescimento econômico marca o período de 2006 a 2010 (taxa de 3,3% ao ano do PIB industrial e do consumo final). Entre 2014 e 2017, houve retração do PIB industrial per capita em 5,4% ao ano e aumento da intensidade energética em 3,9% ao ano.

Figura 22 – OIE, consumo energético e valor adicionado das indústrias no Brasil

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de EPE (2020b) e IBGE (2020a)



Redução do PIB industrial per capita e da intensidade energética da indústria, respectivamente, na ordem de 1,9% e 7,6% entre 2018 e 2019. Baseado em um histórico de maior participação de setores energointensivos a partir de 2013, observa-se o aumento no grau de ociosidade das indústrias, e a inversão nas trajetórias em termos dos indicadores devido as quedas subsequentes na produção de açúcar (em 2018 e 2019), associadas a redução da intensidade em outros energointensivos, como ferroligas, papel e celulose, mineração e pelotização e outros da metalurgia justificada por mudanças estruturais e ganhos de eficiência em diversos segmentos nos últimos anos.

Cronologicamente, os principais movimentos foram os seguintes:

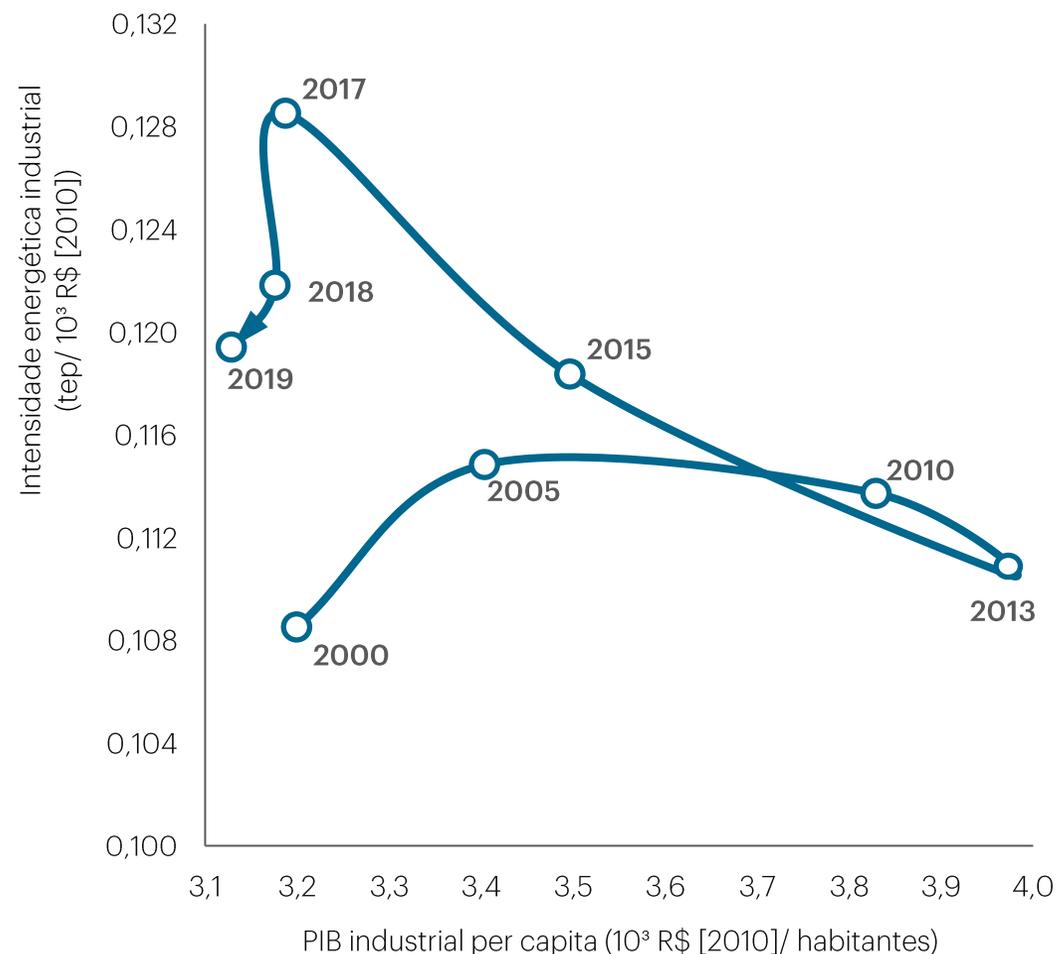
- Verifica-se que há uma tendência de crescimento ao longo do horizonte, interrompido de forma pontual nos anos da crise de racionamento (2001) e na crise financeira internacional (2008/2009). A partir de 2014, no entanto, a eclosão de uma crise nacional reverte essa trajetória.
- Entre 2001 e 2005, a intensidade energética industrial avançou à taxa de 1,2% ao ano, em função do crescimento do consumo de setores mais energointensivos como açúcar, química, ferroligas e siderurgia.

Nos anos seguintes...

- Os anos 2006-2010 foi caracterizado por um forte crescimento econômico, com o PIB industrial e o consumo final de energia da indústria crescendo, ambos, a uma taxa de 3,3% ao ano (intensidade energética reduziu 0,1% ao ano) (EPE, 2020c).
- A crise financeira de 2008/2009 provocou recessão mundial. Houve impacto negativo sobre o setor de metalurgia básica, com paralisação e mesmo desativação de unidades industriais menos eficientes, reduzindo o consumo energético. Esse quadro adverso se alterou em 2010, quando houve crescimento de 10,9% do PIB industrial e de 12,3% no consumo final de energia da indústria (EPE, 2020c).
- A partir de 2014, a deflagração de uma crise econômica nacional interrompe a trajetória de crescimento do PIB industrial observada desde 2010. A existência de um cenário doméstico deteriorado, com forte queda do consumo, de aumento do desemprego, inflação e dos juros, combinado a uma economia mundial mais enfraquecida, provocou a redução na produção dos bens industriais nacionais de forma quase generalizada, resultando em uma retração do PIB industrial per capita em 3,9% ao ano entre 2014 e 2019. Nesse período houve aumento da intensidade energética em 1,3% ao ano, justificada por mudanças estruturais da indústria, com maior participação de energointensivos, e aumento no grau de ociosidade no setor da indústria de transformação como um todo, que passou a operar em níveis não ótimos.

Figura 23 – Caminho da intensidade energética e PIB per capita na indústria

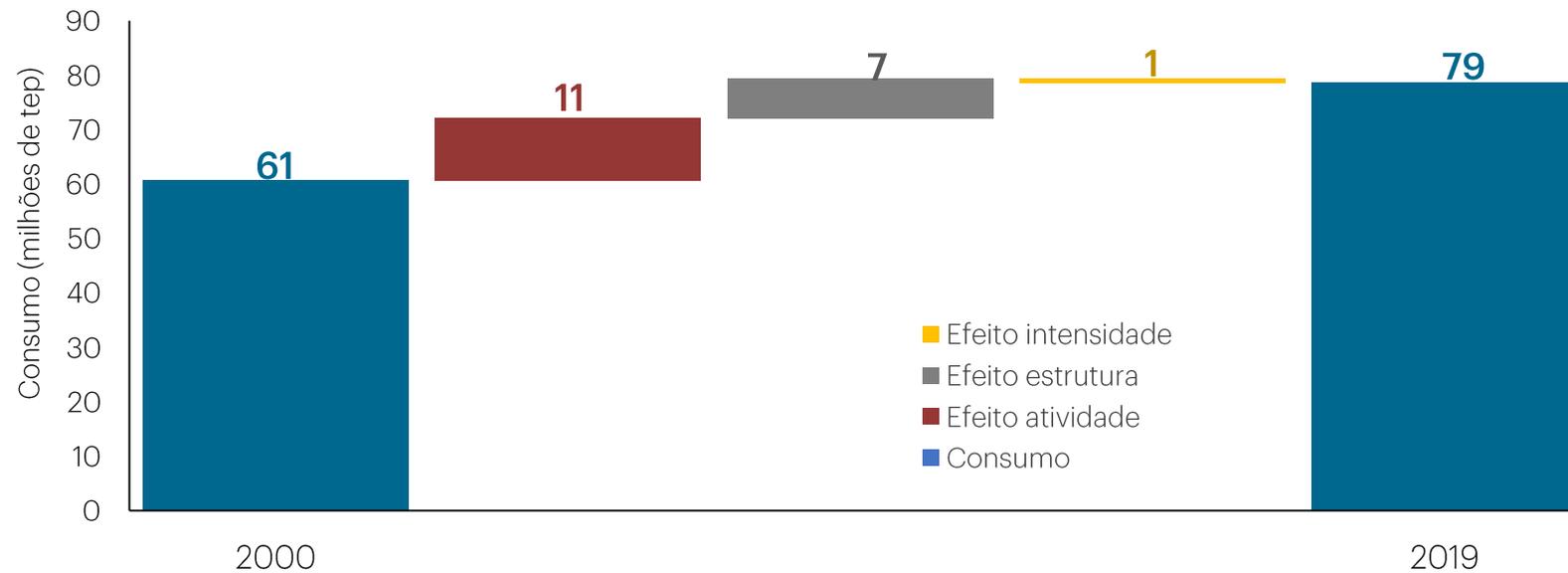
Fonte : Elaborado por EPE, a partir de EPE (2020b) e IBGE (2020a)



Decomposição dos efeitos no consumo de energia: entre 2000 e 2019 o consumo energético da indústria aumentou em 1,4% ao ano...

Figura 24 – Decomposição dos efeitos intensidade, estrutura e atividade

Fonte: : Elaborado por EPE, a partir de EPE (2020b) e IBGE (2020a)



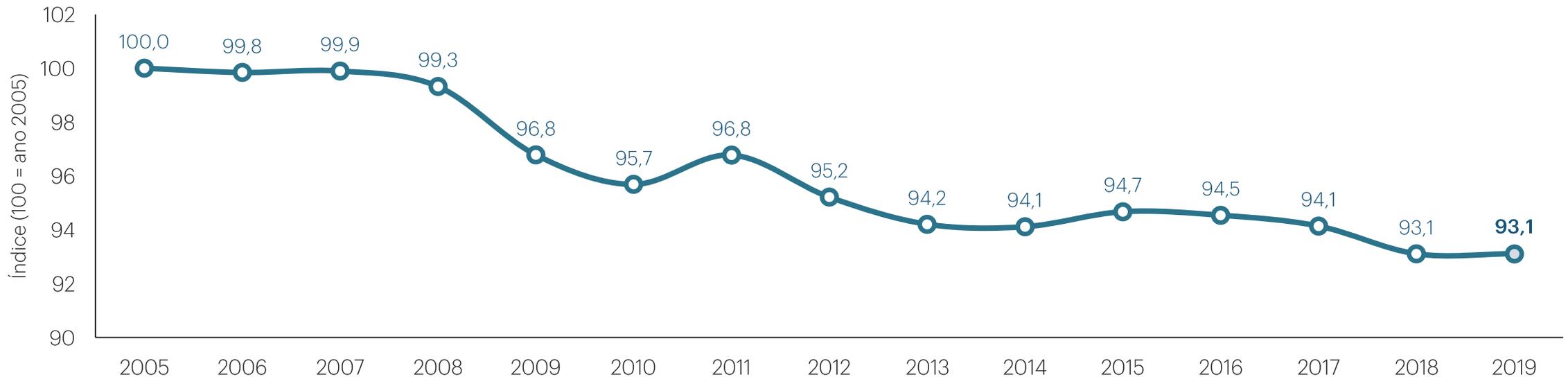
O efeito atividade (aumento da atividade industrial, refletida no valor adicionado) foi o principal contribuinte desse aumento, seguido pelo efeito estrutura (mudança de participação relativa dos subsetores dentro da indústria), que no período, foi caracterizado pelo aumento da participação dos segmentos energointensivos de Açúcar e Papel e Celulose.

ODEX do consumo de energia do setor industrial

Para o cálculo do ODEX, foi considerado o consumo específico para os segmentos da siderurgia, papel e celulose, cimento e açúcar, e intensidade energética para os segmentos de outros alimentícios, têxtil, química, cerâmica, ferroligas, outros da metalurgia, mineração e outras indústrias, em função da disponibilidade de informações.

Figura 25 – ODEX industrial

Fonte: Elaborado por EPE

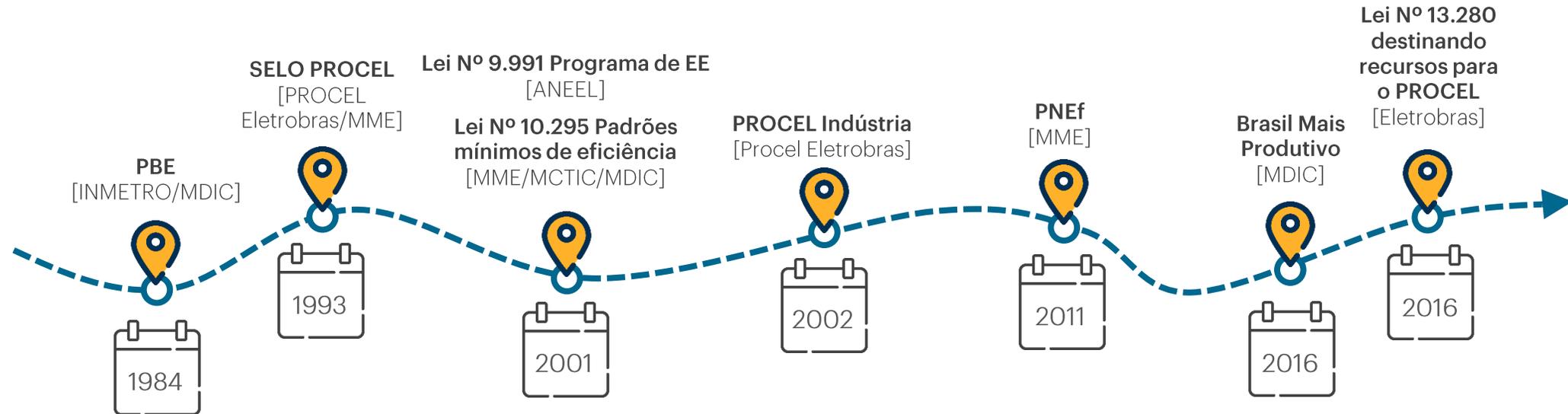


Em 2019 o ODEX da indústria atingiu o valor 93,4, o que corresponde a um ganho de eficiência energética de 6,9% em relação à 2005 (redução média de 0,6% ao ano).

Linha do tempo: políticas vigentes de eficiência energética

Figura 26 – Principais destaques de políticas de eficiência ligadas ao setor industrial

Fonte: EPE. Imagens: Ícones feitos por Freepik de www.flaticon.com



Para o setor industrial, importantes políticas que impulsionam a penetração de equipamentos e processos mais eficientes e o aproveitamento das oportunidades de eficiência energética, além de representar por si só um vetor de ganho de competitividade, também potencializa ganhos em inovação tecnológica tanto em uso quanto na produção de produtos relacionados ao mercado de eficiência energética.

Atualização sobre a Eficiência Energética e a Mitigação de Emissões no Setor de Cimento no Brasil e no Mundo

Introdução

A eficiência energética é uma ferramenta crítica para reduzir as emissões de carbono e a poluição do ar, e faz parte de um pacote de estratégias de descarbonização que também inclui (i) o incremento do uso de adições ao cimento, em substituição ao clínquer; (ii) a mudança para combustíveis de baixo carbono, promovendo a eficiência dos materiais através do uso de fontes alternativas e a redução da demanda energética, e avançando com inovações de processos e tecnologias como a captura e armazenamento ou uso de carbono (em inglês, *carbon capture and use or storage* – CCUS).

Desde a década de 1970, a eficiência e o perfil de emissões de carbono da indústria cimenteira brasileira melhoraram acentuadamente através da implementação das melhores práticas em tecnologias, expandindo o uso de substitutos de clínquer e promovendo o consumo de combustíveis alternativos.

Em 2019, a indústria de cimento no Brasil, em cooperação com várias organizações internacionais, incluindo a Agência Internacional de Energia (IEA), desenvolveu o *Technology Roadmap 2050*^[2]. O documento traça uma trajetória para reduzir ainda mais as emissões a fim de alinhar-se aos objetivos do Acordo de Paris. O *Roadmap* propõe uma série de ações prioritárias, que incluem:

- Reforço da cooperação nacional e internacional;
- Aproveitamento energético de resíduos urbanos e industriais;
- Promoção da eficiência energética através do compartilhamento das melhores práticas;
- Promoção da pesquisa e do desenvolvimento de tecnologias emergentes e inovadoras de mitigação do carbono.

No início de 2020, a IEA e a EPE publicaram uma análise de benchmarking como parte do Atlas de Eficiência Energética que incluía indicadores-chave para o setor de cimento.

Este capítulo se baseia na cooperação contínua entre a IEA, a EPE e o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) para apresentação de uma análise nacional e internacional do setor de cimento, com um foco especial nos avanços em eficiência energética e mitigação de emissões de carbono. Ele começa com uma análise da evolução do setor no Brasil, incluindo as principais tecnologias e estratégias adotadas ao longo das últimas décadas. Segue-se uma seção global que faz um benchmarking do Brasil com outros países através de indicadores-chave, e oferece exemplos de tecnologias importantes e opções políticas para avançar na eficiência energética e na redução de emissões de carbono do setor.

^[2] O Roadmap brasileiro foi desenvolvido pela indústria do cimento nacional com a Agência Internacional de Energia (IEA), a Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento (*Cement Sustainability Initiative* - CSI) do Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development* - WBCSD), a Corporação Financeira Internacional (*International Finance Corporation* - IFC) do Banco Mundial e um grupo de acadêmicos liderado por José Goldemberg.

1. Análise do setor de cimento no Brasil

1.1. Panorama geral

A indústria brasileira de cimento se destaca atualmente no cenário internacional como uma das mais bem posicionadas em termos de baixa emissão de carbono, eficiência energética e uso de combustíveis e matérias-primas alternativas. Essa posição de referência foi conquistada graças a ações iniciadas décadas atrás, que vêm se ampliando e consolidando ao longo dos anos.

Na década de 70, as crises do petróleo que resultaram na elevação dos preços internacionais do mesmo levaram o Governo Federal a buscar soluções para conter a importação de petróleo e derivados, dos quais o Brasil era altamente dependente.

Dentre as soluções propostas, um protocolo assinado por determinação da Presidência da República, entre os Ministérios da Indústria e Comércio, Minas e Energia e Transportes e o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), que visava criar condições e implementar medidas que propiciassem reduzir, ao máximo e no mais curto prazo possível, o consumo de óleo combustível na indústria cimenteira, intensiva em energia.

Dos compromissos então assumidos pela indústria, resultou a modernização do parque industrial, com a conversão do processo “via úmida” para “via seca” em quase a totalidade do parque industrial em um espaço de menos de 15 anos – prática perseguida no mundo anos depois - garantindo redução de quase metade do consumo de combustíveis e, conseqüentemente, menor emissão de CO₂.

Além disso, a instalação de equipamentos de redução de consumo energético, a intensificação no uso de adições ao cimento como escórias de alto forno e cinzas de usinas termoelétricas, a utilização de fontes de energia alternativa - através do uso pioneiro de biomassas - e o desenvolvimento de queimadores ecológicos para vários tipos de combustíveis, com tecnologia 100% nacional, foram outros resultados obtidos na busca por um melhor aproveitamento da energia pelo setor.

As décadas de 80 e 90 foram marcadas pela estagnação do mercado e consolidação destas práticas de maior eficiência no processo produtivo, com uma evolução menos acentuada, porém constante. Foi neste período que houve significativos avanços na utilização de maiores teores de adições em substituição ao clínquer, resultando em menor consumo final de energia por tonelada de cimento produzido e redução nas emissões de CO₂ do setor.

Já o “boom” de produção e aumento de capacidade instalada experimentado a partir de meados dos anos 2000 até 2015, resultou em nova transformação e atualização do parque industrial brasileiro. Mais de 99% do parque industrial passou a operar com processo via seca. Preaquecedores de vários estágios e precalcinadores, que reaproveitam os gases quentes do forno para preaquecer a matéria-prima, se tornaram predominantes, assim como resfriadores de clínquer mais eficientes. Modernos moinhos verticais, de menor consumo elétrico, foram substituindo gradualmente moinhos de bola mais obsoletos.

Foi também nos anos 2000 que ocorreu a consolidação da atividade de coprocessamento no Brasil. Prática difundida no mundo todo, o coprocessamento de resíduos permite o reaproveitamento térmico destes em fornos de produção de cimento, substituindo combustíveis fósseis não renováveis.

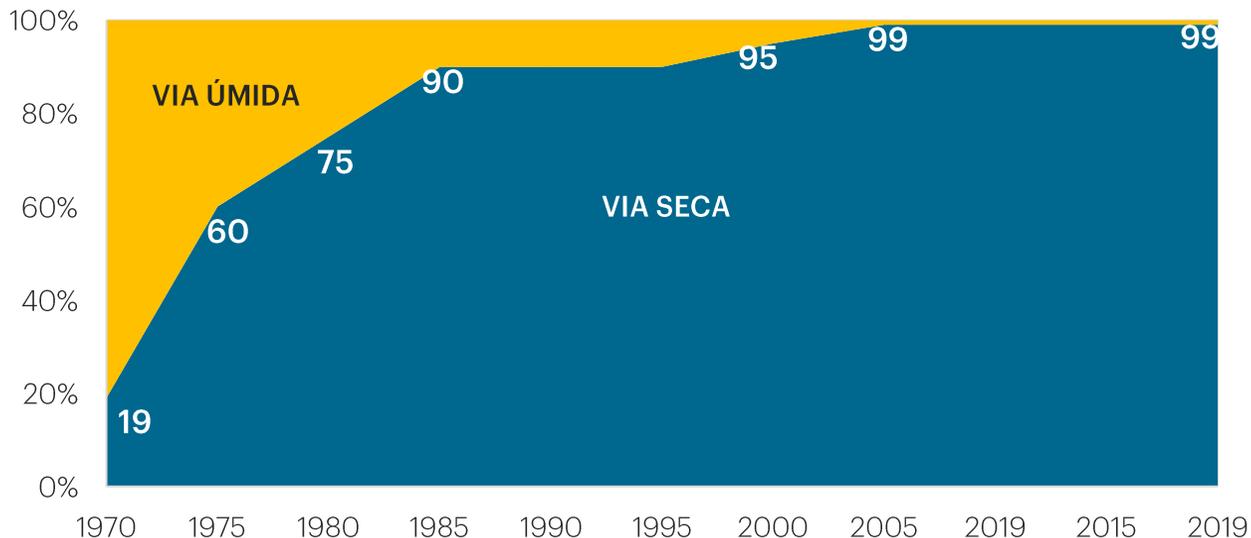
Mais recentemente, dois marcos foram preponderantes na busca pela maior eficiência do setor: a atualização da Norma de Cimento da ABNT (ABNT NBR 16697), em 2018, e da Resolução Conama de Coprocessamento, em 2020 (RESOLUÇÃO CONAMA/MMA Nº 499, DE 6 DE OUTUBRO DE 2020), defasadas em quase 30 e 20 anos, respectivamente. Sua atualização permite um maior aproveitamento de adições – em substituição ao clínquer – e resíduos – em substituição aos combustíveis fósseis – no processo produtivo do cimento, nos moldes de padrões e normas mais avançadas, como as europeias.

1.2. Desenvolvimentos tecnológicos

A indústria do cimento no Brasil possui um parque industrial moderno e eficiente, e em constante atualização. A substituição quase que total dos fornos via úmida por via seca entre os anos 70 e 80 (hoje com mais de 99% via seca), o significativo aumento de capacidade nos últimos dez anos, com instalações operando com as melhores tecnologias disponíveis (BAT), e os constantes investimentos em *retrofits* e modernização de equipamentos fazem com que o consumo energético do setor se encontre hoje abaixo do praticado pela maioria dos países (SNIC, 2019a).

Figura 27 – Transformação dos fornos de via úmida para via seca

Fonte: Elaboração EPE, a partir de dados do SNIC (2020).



Atualmente, 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. 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.

Com isso, entre os anos 1970 e 2019, o setor conseguiu reduzir sua intensidade térmica em 45%, passando de 6,4 GJ/t de clínquer para 3,5 GJ/t de clínquer. Em termos de intensidade elétrica, os avanços foram menos expressivos nesse período, passando de 115 kWh/t de cimento para 111 kWh/t de cimento, já que esse valor se encontrava próximo do benchmark.

1.3. Indicadores

A redução gradual da participação do clínquer na composição do cimento entre 2000 e 2019 resultou em uma queda de 1,1% ao ano no consumo específico de cimento (Figura 28).

O clínquer, componente básico do cimento, é energointensivo e demanda a quase totalidade da energia térmica do processo produtivo. Na produção de cimento, são adicionados ao clínquer subprodutos de outras atividades e matérias-primas alternativas, como escórias provenientes de siderúrgicas, cinzas de termelétricas e filer calcário. Estas adições contribuem para a redução do consumo energético do setor, uma vez que diminuem a participação do clínquer na mistura. Além disso, o uso de algumas adições específicas, como as pozolanas, também podem reduzir custos de produção e trazer vantagens como a maior resistência do cimento à ação da água.

Figura 28 – Consumo energético específico na indústria de cimento

Fonte: Elaboração EPE, a partir de EPE (2020b).

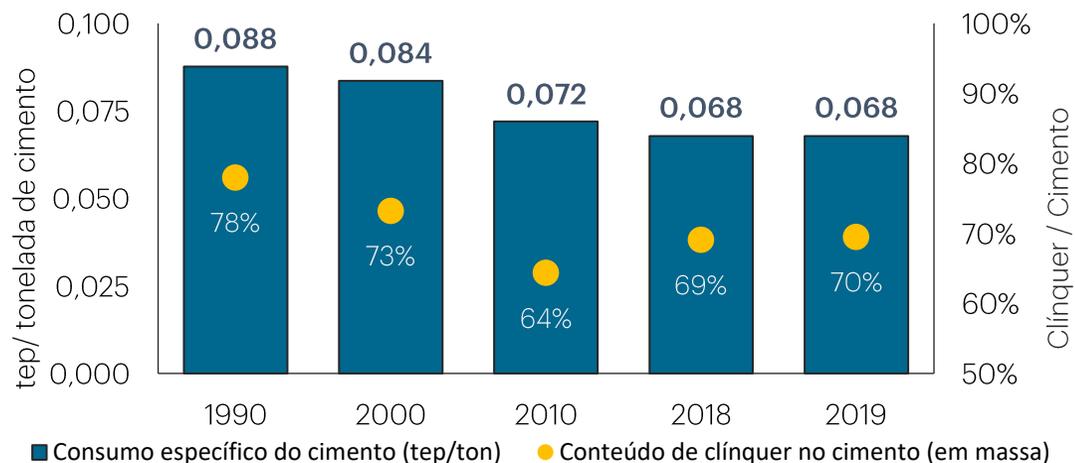
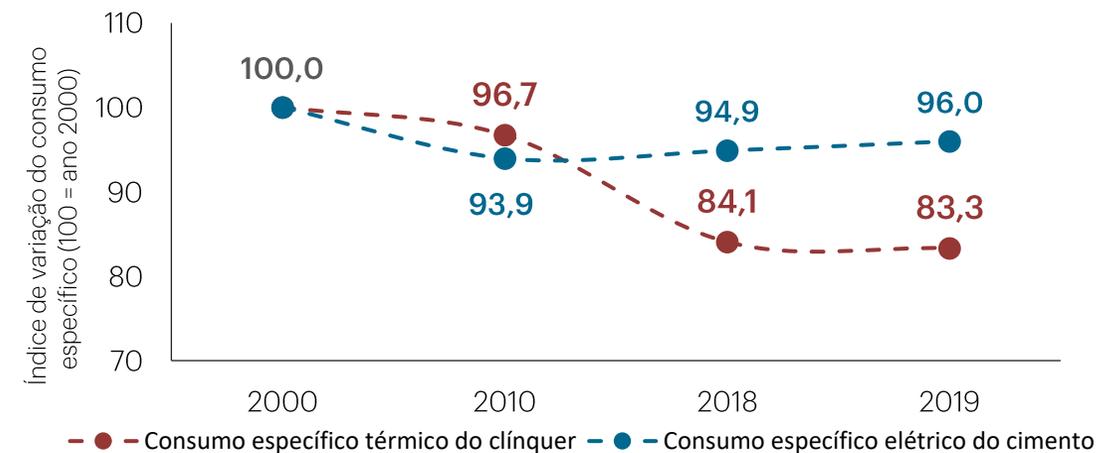


Figura 29 – Consumo específico na indústria de cimento (clínquer e cimento)

Fonte: Elaboração EPE, a partir de EPE (2020b).



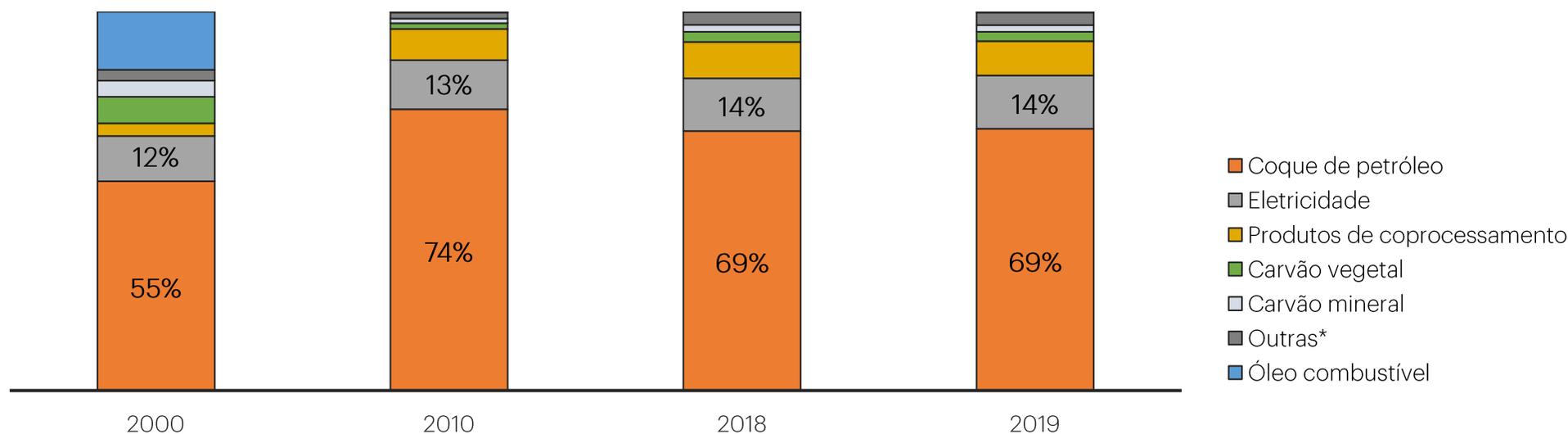
A Figura 29 permite avaliar, separadamente, os consumos específicos térmico e elétrico relativos às produções de clínquer e cimento, respectivamente. O consumo de eletricidade se dá majoritariamente na produção de cimento (moagem), e o de combustíveis na produção de clínquer (forno). Observa-se que o consumo específico térmico do clínquer reduziu-se em 17% ao longo de todo horizonte.

Em relação ao cimento, a redução do consumo específico entre 2000 e 2019 está relacionada às melhorias realizadas no setor nesse período, com investimento em máquinas mais eficientes. Desta forma, observa-se que o consumo específico elétrico do cimento reduziu 4% ao longo de todo horizonte. Tanto a redução do consumo específico térmico do clínquer, quanto à queda do consumo específico elétrico do cimento revelam ganhos de eficiência energética no período analisado.

A matriz energética da indústria de cimento sofreu mudanças ao longo do tempo. As crises do Petróleo e consequente adequação da indústria tiveram forte impacto no consumo de óleo combustível principalmente na década de 80, quando houve uma momentânea migração para o carvão (mineral e vegetal). Nos anos 2000, foi a entrada do coque de petróleo importado, mais competitivo, que fez o setor migrar para este energético, em detrimento do óleo combustível. Desta forma, atualmente, o coque de petróleo é a principal fonte, em função de baixo preço e garantia de abastecimento.

Figura 30 – Produção de cimento: consumo final energético por fonte

Fonte: Elaboração EPE, a partir de EPE (2020b)



*Notas: "Outras" inclui gás natural, lenha e óleo diesel

Já 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 grandíssima maioria, têm um fator de emissão mais baixo que os combustíveis fósseis tradicionais). Estas fontes, agregadas, cresceram e representaram 9% do consumo em 2019.

A busca por energéticos com menor intensidade de carbono do que os combustíveis convencionais tem sido uma importante ferramenta do setor para a redução de suas emissões de CO₂, além de contribuir para a erradicação do passivo ambiental representado pelo acúmulo de resíduos em lixões e aterros. 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.

Hoje, os combustíveis alternativos já representam 15% do consumo térmico do setor, e crescem a cada dia, substituindo majoritariamente o coque de petróleo, que ainda é responsável por 80%. Os outros 5% são procedentes de moinha de carvão vegetal (5%).

1.4. Novas tecnologias e perspectivas da indústria do cimento

A questão climática ganha cada vez mais relevância na indústria do cimento, visto que é um dos setores mais intensivos em carbono dentro do segmento industrial. Globalmente, é responsável por cerca de 7% do gás carbônico emitido, muito embora a indústria brasileira do cimento possua uma das menores intensidades carbônicas no mundo (por tonelada de cimento produzida), em função das ações que vem implementando há décadas.

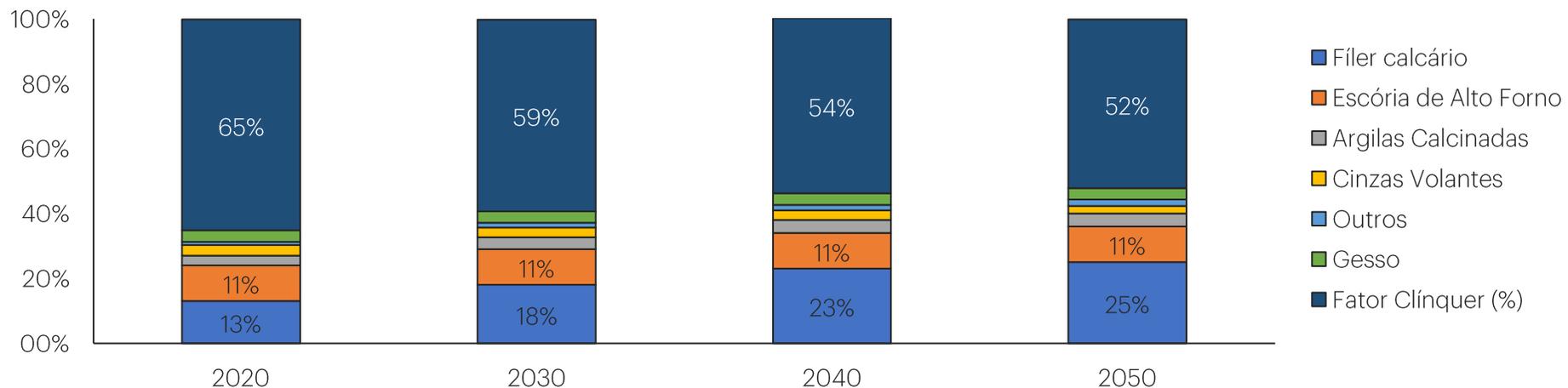
Diante do desafio de reduzir, ainda mais, as já baixas emissões de CO₂, é que o setor no Brasil elaborou um Roadmap Tecnológico 2050, contendo as perspectivas e necessidades para acelerar sua transição rumo a uma economia de baixo carbono. Essas tendências se concentram em quatro principais pilares:

1.4.1. Adições ao cimento

Avanços normativos, pesquisas em química do cimento, desenvolvimento de novos cimentos, entre outros, permitiriam o setor continuar avançando na incorporação de adições ao cimento, em substituição ao clínquer. Com isso, reduzir a relação clínquer/cimento a patamares pouco acima de 50% até 2050..

Figura 31 – Adições e substitutos do clínquer

Fonte: Elaboração EPE, a partir de dados do SNIC (2019a).



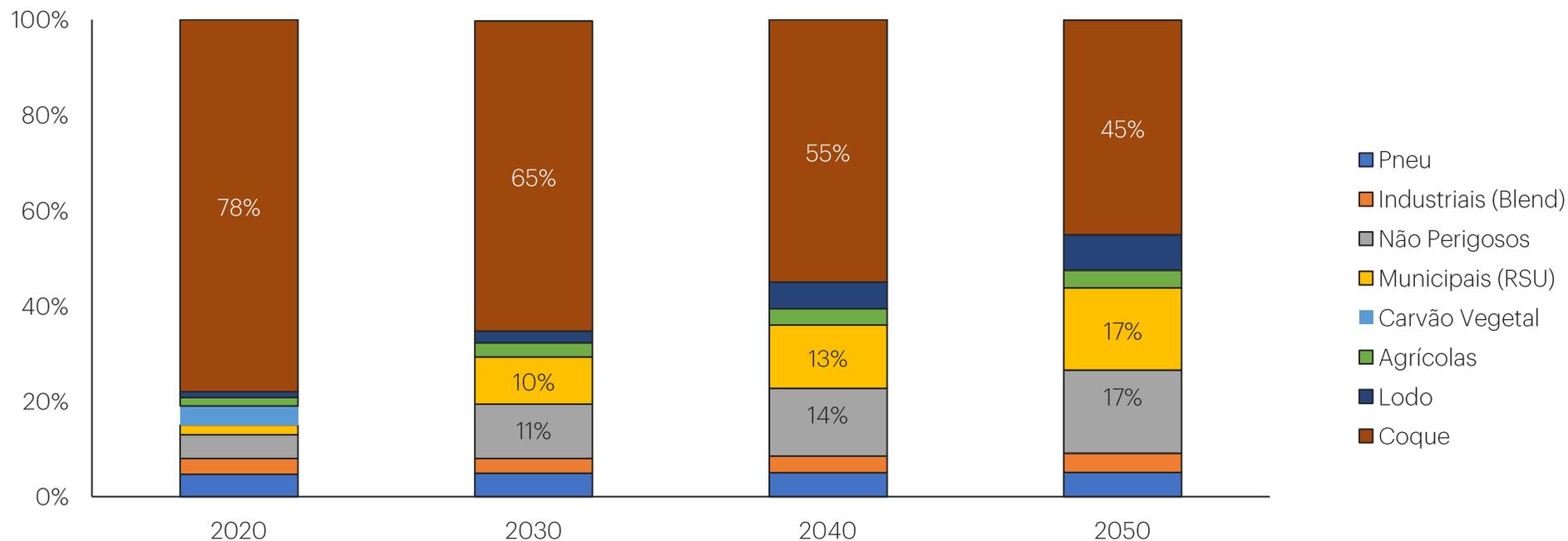
1.4.2. Combustíveis Alternativos

A migração da utilização de combustíveis fósseis não renováveis para combustíveis alternativos, majoritariamente representados pelo coprocessamento de resíduos, será a principal transformação do setor nas próximas décadas.

Seguindo a tendência mundial, é esperado para o setor, no Brasil, alcançar patamares da ordem de 55% de combustíveis alternativos até 2050 - valores já praticados atualmente por alguns países da Europa, como a Alemanha. No continente europeu a taxa média de substituição é de 40%.

Figura 32 – Combustíveis alternativos

Fonte: Elaboração EPE, a partir de dados do SNIC (2019a).



1.4.3. Eficiência Energética

Considerando estado tecnológico do parque industrial brasileiro, moderno e eficiente, não são esperadas mudanças significativas até 2030, quando as fábricas mais obsoletas começariam a ser substituídas por novas unidades, utilizando o estado da arte em termos de equipamentos e tecnologia. Assim, é esperado que o setor alcance valores de consumo térmico da ordem de 3,2GJ/ton. de clínquer e elétrico de 90kWh/ton. de cimento até 2050.

Figura 33 – Consumo específico térmico do clínquer (2014-2050)

Fonte: Elaboração EPE, a partir de dados do SNIC (2019a).

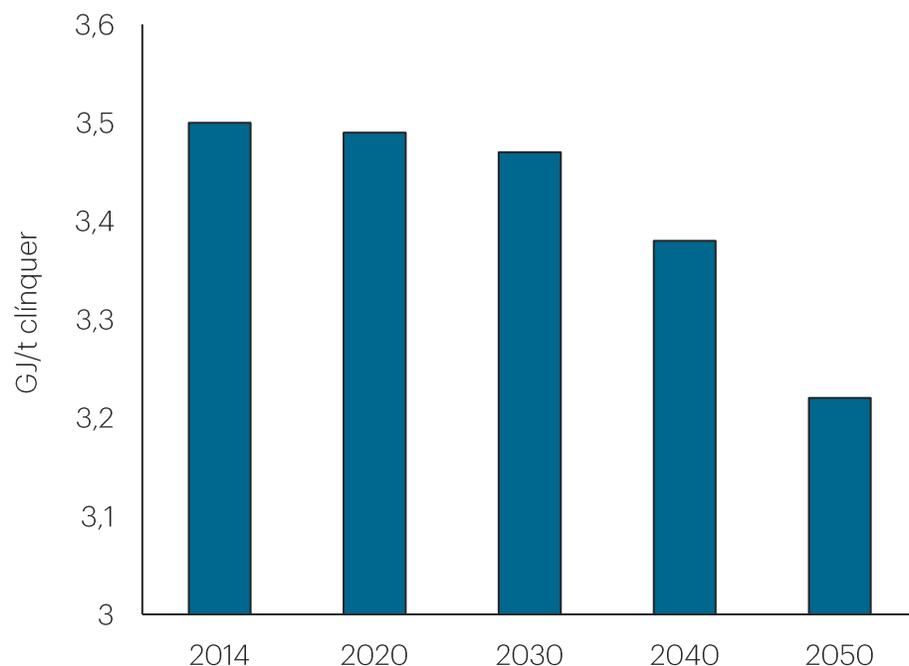
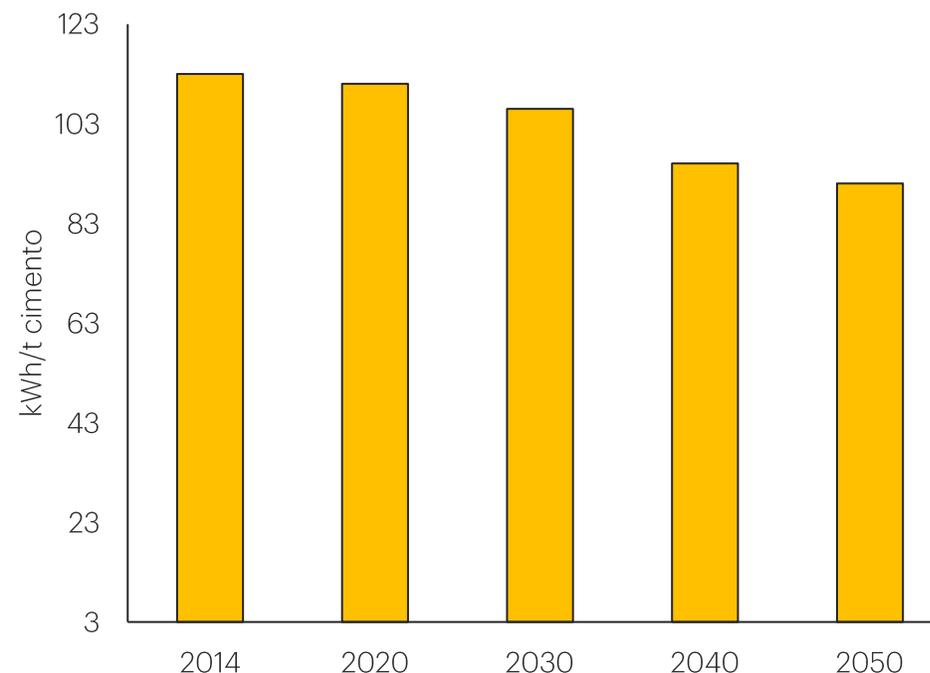


Figura 34 – Consumo específico elétrico do cimento (2014-2050)

Fonte: Elaboração EPE, a partir de dados do SNIC (2019a).



1.4.4. Tecnologias inovadoras e emergentes^[3]

As três alternativas tradicionalmente utilizadas e conhecidas do setor para a mitigação de suas emissões, já descritas, apresentam um limite técnico e operacional. Desta forma, será preciso buscar soluções disruptivas de longo prazo que lhe permitam ir além, rumo a um processo produtivo menos intensivo em carbono e consistente. O Brasil já implementou uma das principais recomendações para apoiar o desenvolvimento deste tipo de soluções, desenvolvendo um *roadmap* para o setor até 2050. Outras sugestões incluem o incentivo à parcerias para desenvolvimento de projetos científicos e de pesquisa internacionais.

Conseqüentemente, ganham importância as tecnologias inovadoras e emergentes, hoje concentradas em estudos de Captura e Uso ou Estocagem de Carbono (*Carbon Capture, Usage and Storage - CCUS*) mundo afora.

Sob essa ótica, o setor aposta na viabilização em escala industrial dessa alternativa para o Brasil a partir de 2040, sendo necessário para isso, entretanto, significativos investimentos em P&D para tornar isso tangível.

^[3]Mais sugestões podem ser vistas em IEA 2020, IEA e CSI (2018), e SNIC (2019a).

2. Análise de benchmarking internacional

2.1. Tendências da Indústria do Cimento

A eficiência energética é crítica para reduzir as emissões de carbono e a poluição do ar e faz parte de um pacote de estratégias mais amplas de descarbonização, incluindo o maior uso de fontes renováveis de energia e CCUS. Enquanto algumas estratégias, e particularmente a CCUS, exigirão décadas para atingir a maturidade comercial, eficiência energética tem as vantagens de estar disponível hoje, ser rentável e tem múltiplos benefícios. Todos os países, incluindo o Brasil, mostram o potencial para reduzir o consumo específico da produção de cimento ao nível da melhor tecnologia disponível (BAT, em inglês), ou seja, tecnologia eficiente, tecnicamente viável e economicamente acessível^[4]. As oportunidades mais rentáveis para realizar investimentos em bens de capital relacionados a melhor tecnologia disponível vêm, predominantemente, no momento da construção de uma nova fábrica de cimento ou durante uma modernização de planta. Por esta razão, é particularmente importante assegurar que as políticas e incentivos estejam alinhados para implantar as “BAT”. Ao mesmo tempo, outras medidas de eficiência energética podem ser implementadas durante a fase operacional, incluindo controle, manutenção e treinamento do operador, e são importantes para garantir os múltiplos benefícios que a melhoria contínua pode trazer.

Esta seção começa com uma análise de benchmarking global dos indicadores-chave de eficiência no setor de cimento, que compara a performance desta indústria no Brasil com a de outros países. Segue-se uma explanação sobre as tendências e oportunidades globais para redução de emissões. Finalmente, o capítulo fornece vários exemplos de boas práticas políticas que estão impulsionando a redução de emissões e a melhoria da eficiência no setor em todo o mundo.

^[4]Mais amplamente, a boa/melhor prática é uma técnica e/ou tecnologia que, através da experiência e pesquisa, provou conduzir de forma confiável a um resultado desejado com o mínimo de utilização de recursos.

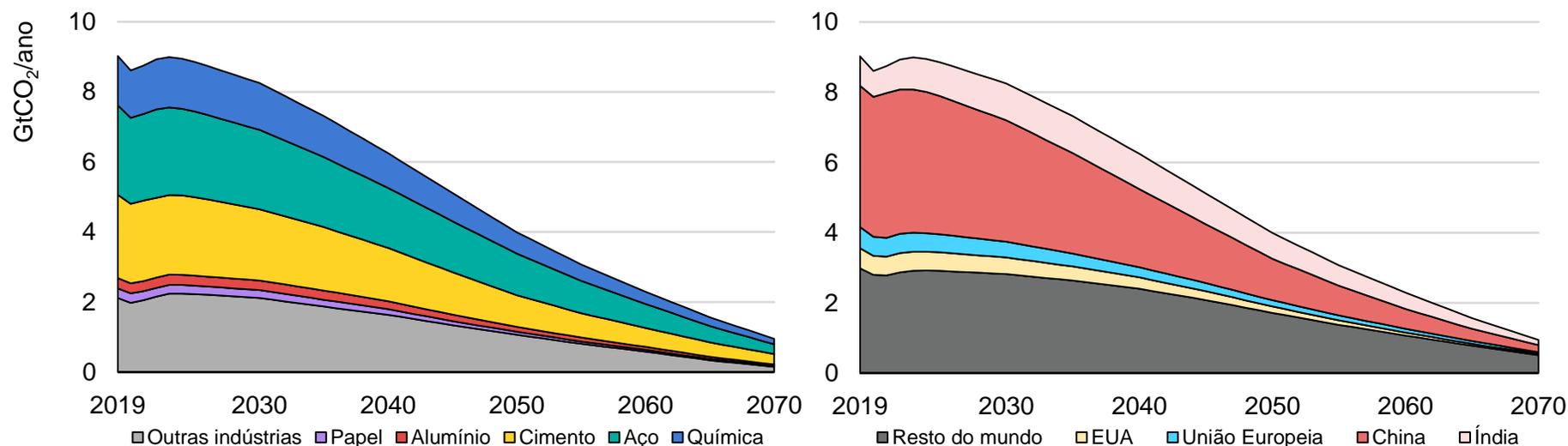
Modelagem de caminhos para a redução de emissões^[5]

Com base nas políticas existentes e anunciadas - conforme descrito no Cenário de Políticas Públicas da IEA (STEPS - Stated Policies Scenario) - o mundo não está no caminho certo para alcançar os resultados dos ODS mais estreitamente relacionados à energia: conseguir acesso universal à energia (ODS 7), reduzir os severos impactos da poluição do ar sobre a saúde (parte do ODS 3) e combater a mudança climática (ODS 13).

O Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS, Sustainable Development Scenario) da IEA esboça uma grande transformação do sistema global de energia, mostrando como o mundo pode mudar o rumo para cumprir simultaneamente as três principais ODS relacionadas à energia. O cenário SDS também é consistente com o Acordo de Paris, que tem o objetivo de "manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais".

Figura 35 – Emissões globais diretas de CO₂ na indústria por subsetor e região no Cenário de Desenvolvimento Sustentável, 2019-70

Fonte: IEA (2020a)



Notas: Inclui emissões diretas relacionadas à energia e processos. Outras indústrias incluem indústrias menos intensivas em energia, tais como alimentos e bebidas, mineração e têxtil.

^[5] Uma descrição mais detalhada da abordagem de modelagem e cenários da IEA está disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-model>

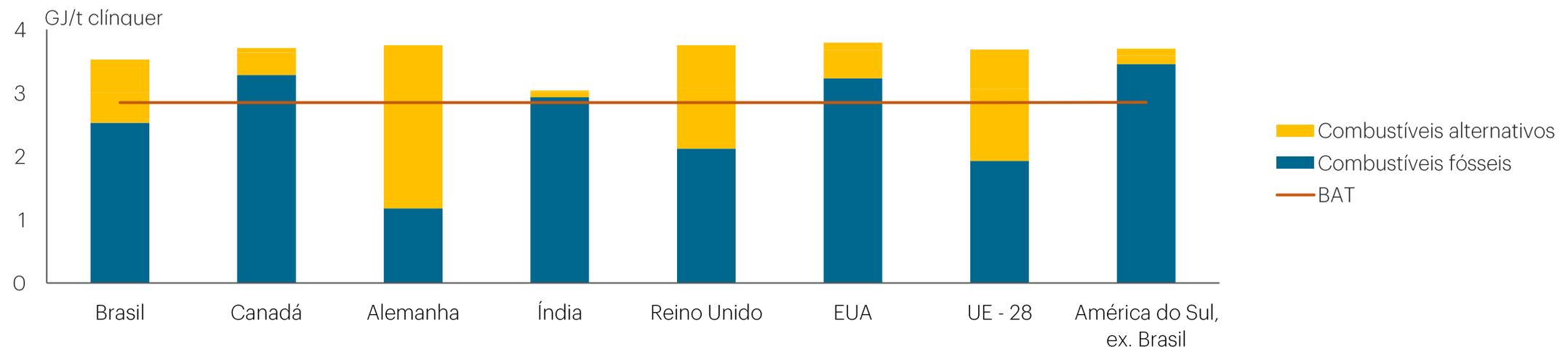
2.1.1. Consumo energético e eficiência

O consumo específico térmico da produção de clínquer é um indicador chave da eficiência energética e dos níveis de emissões. A mistura de combustíveis fósseis a combustíveis alternativos no processo é um indicador importante dos níveis de emissões. Em 2018, somente a Índia chegou perto de atingir o nível da melhor tecnologia disponível (BAT) em termos de consumo específico térmico em seu setor de cimento. O consumo específico térmico do Brasil esteve ligeiramente abaixo do resto da América do Sul e de outros grandes países e regiões apresentados abaixo. Todos os países apresentados têm potencial para melhorar seus processos para alcançar o nível de BAT.

O Brasil tem um grau mais alto de combustíveis alternativos na produção de clínquer do que o Canadá, Índia, Estados Unidos e o resto da América do Sul. Os países e regiões com maior participação de combustíveis alternativos incluem a Alemanha, o Reino Unido e a UE-28^[6].

Figura 36 – Consumo específico térmico (exclui eletricidade) de clínquer (2018)

Fonte: CSI (2019)



É importante notar que a redução das emissões de CO₂ não implica em melhoria da intensidade energética. Algumas medidas de redução de CO₂ exigem maior consumo de energia, compensando parcialmente a economia de energia da mudança para fornos modernos e resultando em uma maior intensidade energética.

^[6]O termo UE-28 se refere aos 28 países membros da União Europeia em 2019.

Por exemplo, o uso de argila calcinada requer uma energia considerável para o processamento mesmo após recentes melhorias na eficiência energética. Da mesma forma, o uso de bioenergia e resíduos leva a maiores necessidades de energia para o pré-tratamento, a fim de garantir uma composição uniforme e uma combustão ótima, bem como para minimizar o conteúdo de substâncias potencialmente problemáticas, que podem resultar no aumento da poluição atmosférica ou de emissões. Por estas razões, a eficiência energética é mais importante ainda para minimizar estes aumentos no consumo de energia.

Outro indicador de eficiência energética é o consumo específico de eletricidade para produção de cimento. Em 2018, o consumo específico de eletricidade no Brasil foi ligeiramente superior ao do resto da América do Sul, e inferior ao de outras grandes economias e regiões apresentadas, com exceção da Índia. Quase todos os países apresentados demonstram um potencial significativo para melhorar o nível deste indicador, quando comparado com o alcançado através da melhor tecnologia disponível.

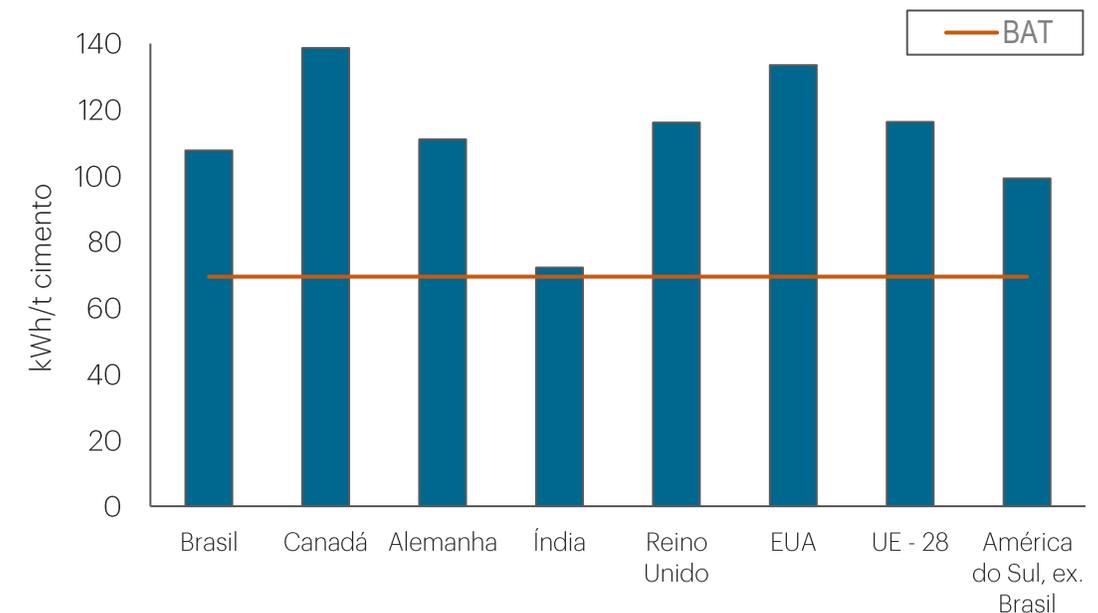
As estratégias para melhorar o consumo específico de eletricidade incluem a mudança para tecnologias de moagem mais eficientes, tais como a substituição de moinhos de bolas por rolos de moagem de alta pressão e moinhos de rolos verticais, bem como o uso do excesso de calor recuperado do forno para geração de energia. Estas melhorias fazem parte de um pacote de medidas para reduzir as emissões no setor, muitas das quais o Brasil já implementa parcial ou totalmente. Entretanto, uma tecnologia com potencial de reduzir drasticamente o consumo elétrico do setor é o Waste Heat Recovery (WHR). Segundo análises do SNIC, somente esta tecnologia consegue alcançar os mesmos níveis de economia que todas as outras medidas de eficiência elétrica juntas, alcançando uma redução de 25-30% no consumo elétrico da planta.

Esta é uma realidade em países como China e Índia, onde esta tecnologia está presente. Entretanto, o Brasil possui apenas uma unidade com o WHR, que foi projetada já integrando este equipamento.

As elevadas taxas de importação e a ausência de instrumentos de fomento para a importação de tecnologias de eficiência energética e de baixo carbono, sem similar nacional, representa o principal entrave para a viabilização destes equipamentos.

Figura 37 – Consumo específico de eletricidade (2018)

Fonte: CSI (2019)

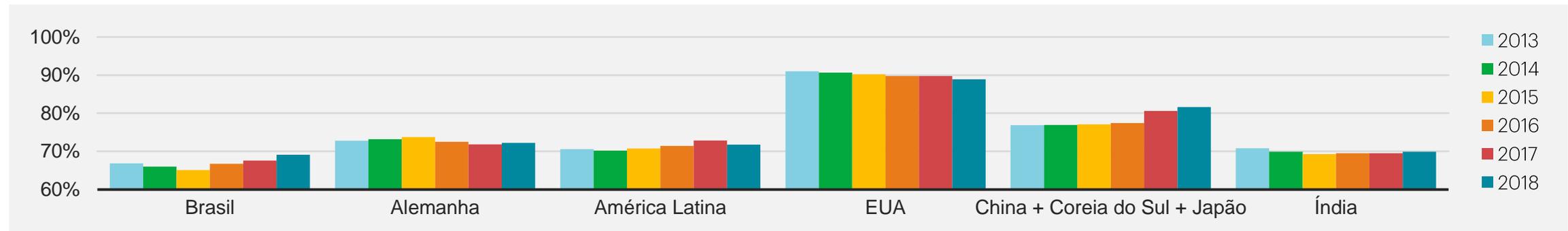


2.1.2. Razão Clínquer/cimento

Uma das medidas mais eficazes para reduzir a demanda de energia da produção de cimento é diminuir a proporção de clínquer em relação ao cimento. Isto pode ser conseguido substituindo o clínquer por outros materiais menos intensivos em energia para criar misturas de cimento. Em 2019, o clínquer representava em média cerca de 71% do cimento em todo o mundo, sendo a escória do alto-forno e as cinzas volantes das usinas de carvão responsáveis por uma proporção significativa do restante da mistura. Com o tempo, à medida que estas alternativas se tornam mais escassas, a IEA projeta uma dependência crescente de alternativas como calcário e argila calcinada.

Figura 38 – Razão clínquer/cimento

Fonte: CSI (2019) e EPE (2020b) para o Brasil



A implantação de tecnologias de redução de CO₂ na indústria cimenteira é amplamente semelhante em todas as regiões. No entanto, existem algumas diferenças na contribuição feita pelas reduções na relação clínquer-cimento, pois seu potencial depende muito da disponibilidade local de substitutos de clínquer, bem como das propriedades necessárias do produto final (concreto), que são determinadas pelas normas locais e aplicações de uso final. O potencial também varia de acordo com a extensão em que já tenha sido explorado.

Por exemplo, a China já tem uma proporção comparativamente baixa de clínquer em relação ao cimento (65% em 2019), e com base na disponibilidade de matéria-prima e padrões de construção atuais, projeta-se que sua proporção permaneça relativamente baixa. Espera-se que o Brasil continue sendo líder na produção de argila calcinada, tendo produzido cerca de 2Mt por ano desde os anos 70. Regiões como a Itália que têm boa disponibilidade de pozolana natural - um constituinte alternativo do cimento - dependem mais desta matéria-prima para diminuir as emissões relacionadas ao cimento. Regiões que aplicam normas relacionadas à composição do concreto que não são prescritivas e não exigem quantidades pré-especificadas de clínquer poderiam facilitar uma maior absorção de cimentos sem comprometer a segurança e o desempenho.

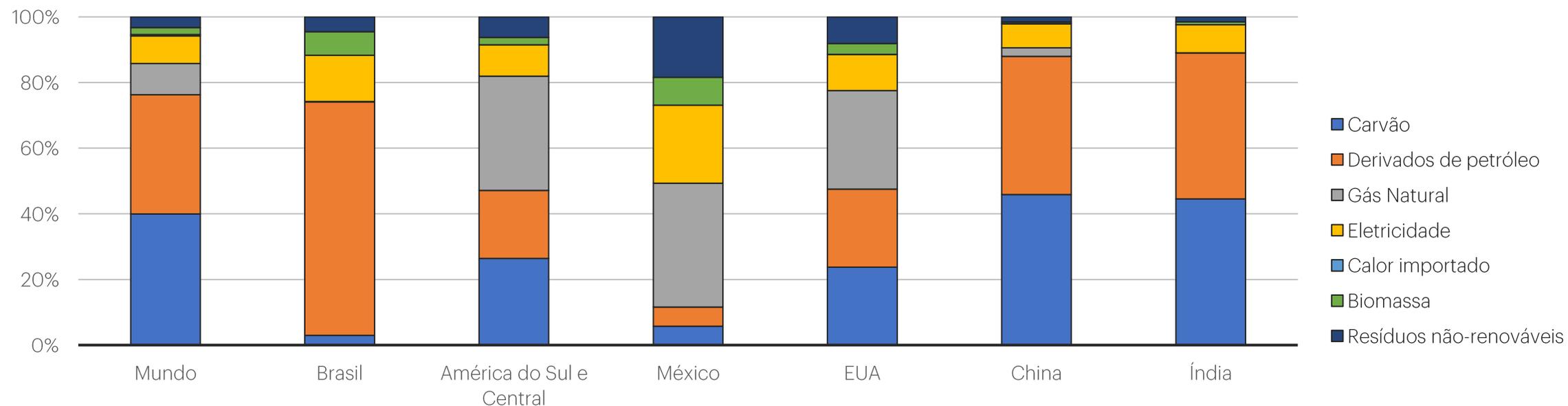
2.1.3. Fontes energéticas para produção de clínquer

Outra parte importante do pacote de medidas políticas para descarbonizar o setor de cimento é incentivar e estabelecer estruturas políticas de apoio ao uso de combustíveis alternativos na produção de clínquer. Ao mesmo tempo, a melhoria da eficiência de combustão continua sendo um objetivo importante.

O processo de produção de clínquer é altamente intensivo em energia e tende a depender fortemente do carvão, notadamente nos maiores mercados globais de cimento: China e Índia. Entretanto, como ilustra a Figura 39, existe uma parcela significativa de gás natural, derivados de petróleo e biocombustíveis utilizados em diferentes regiões. A UE-27 dispõe de uma parcela significativa de biomassa, enquanto o Brasil, o México e a Índia dependem fortemente dos derivados de petróleo para a produção de cimento. Enquanto o gás natural é um dos combustíveis menos utilizados no setor de cimento no Brasil, ele desempenha um papel importante na Argentina, nos Estados Unidos, na UE-27 e, em menor escala, no México e na Colômbia.

Figura 39 – Uso de combustível no setor de cimento, países selecionados (2019)

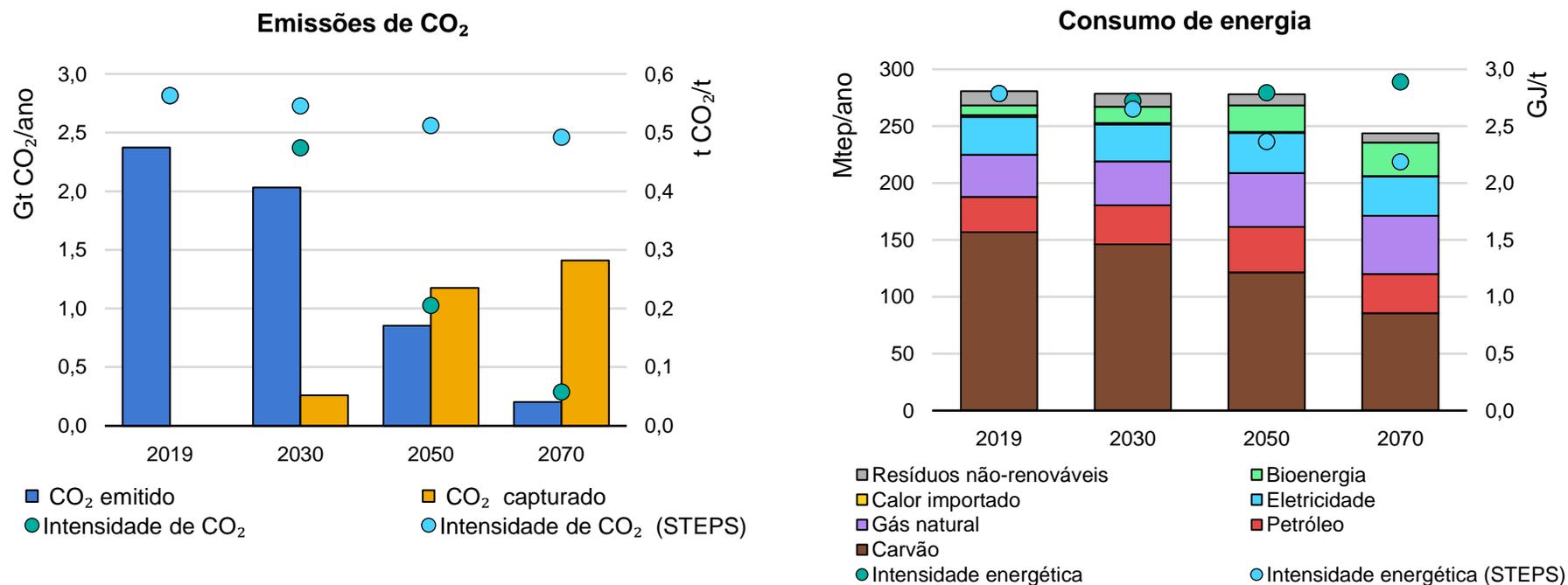
Fonte: Estes são estimativas em vez de dados diretamente reportados. Eles são informados por: dados de produção do USGS (United States Geological Survey); taxas de clínquer, quotas de combustível e intensidades térmicas da GCCA (Global Cement and Concrete Association); quotas de combustível no setor de minerais não metálicos reportadas à IEA; e EPE (2020b) para o Brasil



Enquanto os combustíveis utilizados na produção de clínquer são muitas vezes altamente intensivos em carbono, a troca de combustível contribui relativamente pouco para a redução de emissões no Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS). A mudança de combustível - principalmente do carvão para o gás natural, hidrogênio, biomassa e resíduos renováveis (incluindo resíduos de madeira, serragem e lodo de esgoto) - é responsável por cerca de 1% das reduções cumulativas de emissões. Dadas as altas temperaturas, o grande consumo de energia necessário e os requisitos técnicos dos fornos, mudar para eletrificação direta, hidrogênio ou aquecimento direto a partir de energia solar concentrada seria tecnicamente desafiador e muito caro. O trabalho em algumas dessas opções alternativas está em andamento, embora em um estágio inicial de desenvolvimento. Para reduzir as emissões dos combustíveis utilizados na produção de clínquer se prioriza a captura e armazenamento de carbono e a outras soluções já discutidas, tais como os substitutos de clínquer.

Figura 40 – Emissões globais de CO₂ do setor de cimento e consumo de energia segundo o Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS), 2019-2070

Fonte: IEA (2020)



Notas: STEPS = *Stated Policies Scenario*. Intensidade energética inclui toda energia utilizada por tonelada de cimento, incluindo necessidades energética adicionais para algumas estratégias implementadas no SDS – absorção química CCS, argila calcinada e uso de combustíveis alternativos. Isso explica o aumento da intensidade energética até 2070. As emissões de CO₂ da indústria do cimento cairão cerca de 90% entre 2019 e 2070, de acordo com o cenário SDS, em grande parte devido à eficiência de material e implantação em larga escala de CCUS.

2.2. Exemplos de tecnologia e opções de políticas

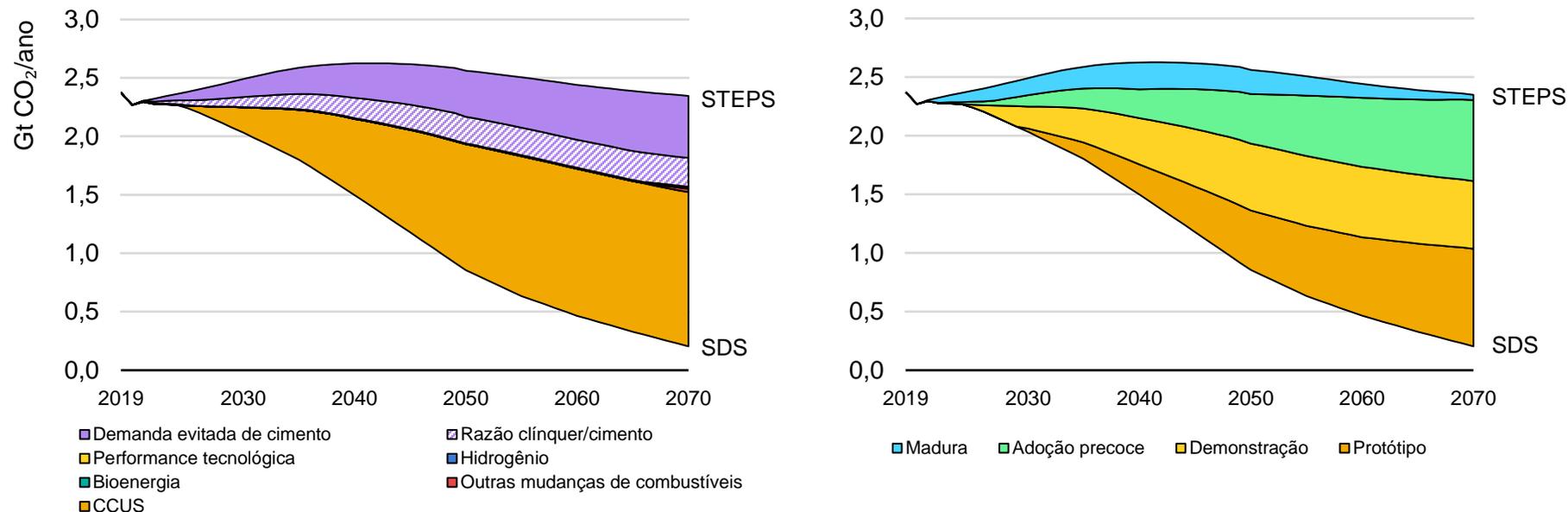
2.2.1. Desenvolvimentos tecnológicos

Em seu recente relatório “Energy Technology Perspectives 2020”, a IEA modela um caminho para descarbonizar o setor de cimento globalmente até 2070. Esta visão apresenta um pacote de medidas para alcançar as Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Este pacote apresenta de forma proeminente o CCUS, demanda evitada de cimento e uma redução na relação clínquer-cimento como opções chave de mitigação. A eficiência energética continua a desempenhar um papel essencial para garantir que as melhores tecnologias disponíveis estejam em vigor e que, à medida que as soluções sejam implementadas, as fábricas de cimento sejam tão eficientes quanto possível em termos energéticos.

Como ilustrado na Figura 41, a análise da IEA mostra que o CCUS, em escala global, poderá ser responsável por 60% das reduções de emissões necessárias para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis no segmento de cimento até 2070.

Figura 41 – Redução global de emissões de CO₂ no setor de cimento por estratégia de mitigação/categoria de maturidade tecnológica atual, 2019-2070

Fonte: IEA (2020)



Nota: A demanda evitada de cimento e a relação clínquer-cimento se enquadram na categoria mais ampla de eficiência de materiais. A energia térmica utilizada pelo desdobramento CCUS de absorção química é subtraída da contribuição do CCUS e, portanto, não impacta a contribuição da eficiência. A eficiência de materiais e o CCUS juntos desempenham o papel principal na redução das emissões do setor cimenteiro no SDS. Mais de 60% das reduções cumulativas vêm de tecnologias que ainda não estão disponíveis comercialmente.

A demanda evitada por cimento constitui a segunda grande parcela da redução de emissões. As principais medidas que produzem estes ganhos são taxas mais altas de renovação para estender a vida útil dos edifícios existentes, níveis mais baixos de resíduos em canteiros de obras, a otimização dos projetos de construção para reduzir os materiais necessários para construir uma mesma área e a eficiência de material em outras infraestruturas de cimento.

Já a redução na razão clínquer/cimento se apresenta como a terceira maior fonte de redução de emissões.

Conforme a Figura 41, muitas das tecnologias necessárias para alcançar o SDS estão em fase de demonstração ou de protótipo. Por este motivo, o avanço tecnológico desempenhará um papel significativo na descarbonização do setor cimenteiro. Enquanto isso, há uma oportunidade para as fábricas de cimento continuarem a melhorar a eficiência energética, otimizando as operações da planta e instalando equipamentos mais eficientes quando for economicamente viável fazê-lo. Isto será particularmente importantes no curto prazo, à medida que as novas tecnologias forem testadas e madurem.

Globalmente, a maior parte do potencial tem sido explorado nas últimas décadas para a melhoria da tecnologia, principalmente devido à eliminação gradual na maioria das regiões de fornos úmidos e fornos verticais tradicionais. Notadamente, os maiores produtores mundiais de cimento – China e Índia – já implantaram o forno mais eficiente comercialmente disponível hoje - o forno seco com um pré-calcinador e um preaquecedor de ciclone encenado.

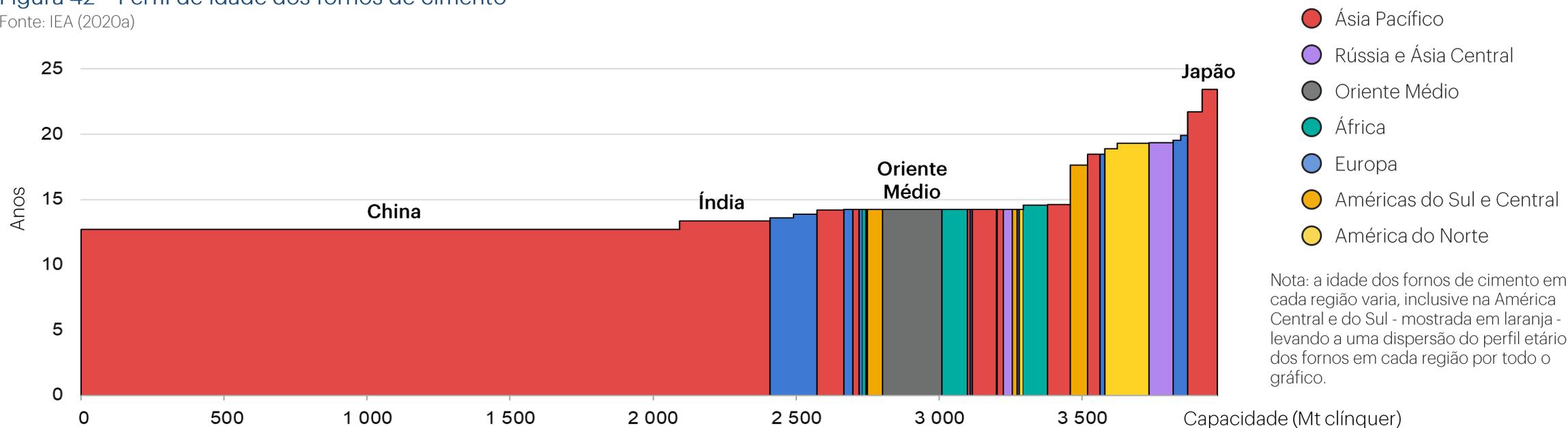
No Brasil, ao longo dos últimos dez anos, em resposta à crescente demanda do setor de construção, a indústria duplicou a produção de cimento e ampliou em 50% a capacidade instalada, atingindo 71 milhões e 100 milhões de toneladas/ano, respectivamente. Para tanto, foram utilizadas as mais modernas tecnologias disponíveis (BATs) (SNIC, 2019a).

Hoje, cerca de 40% do parque industrial possui menos de 15 anos e conta com mais de 70% de seus fornos equipados com torres de preaquecedores de 4 a 6 estágios e pré-calcinadores. Modernos resfriadores de grelha equipam 80% dos fornos brasileiros e aproximadamente 46% dos moinhos de matéria-prima são verticais, considerados os de menor consumo elétrico (SNIC, 2019a).

O fato da longa vida útil das fábricas de cimento dificulta o ritmo pelo qual elas são substituídas por plantas novas, utilizando tecnologias de menor emissão sem aposentadoria antecipada. Portanto, é provável que sejam necessários ajustes posteriores da capacidade existente com as tecnologias CCUS, talvez juntamente com a conversão de alguns ativos para que possam processar matérias-primas alternativas de menor emissão, como a argila calcinada.

Figura 42 – Perfil de idade dos fornos de cimento

Fonte: IEA (2020a)



Muitas dessas plantas frequentemente precisam de uma grande reforma antes do final de sua vida útil típica, sendo as necessidades de investimento da mesma ordem de grandeza das de uma planta nova. O ciclo de investimento típico de cerca de 25 anos oferece uma janela de oportunidade para modernização e redução significativa das emissões resultantes da infraestrutura da indústria pesada existente. Entretanto, se esta janela de oportunidade for perdida e tecnologias-chave como hidrogênio ou CCUS não estiverem disponíveis, então estas plantas poderão continuar emitindo uma grande quantidade de gases de efeito estufa por mais duas décadas ainda.

Outras evoluções tecnológicas estão listadas no guia da IEA [ETP Clean Energy Technology Guide](#). Elas são classificadas de acordo com uma série de parâmetros, incluindo: estágio de desenvolvimento tecnológico, sua importância para atingir zero emissões líquidas e a etapa na cadeia de valor. A Tabela 1 fornece uma seleção dos principais avanços tecnológicos, escolhidos de acordo com seu estágio de desenvolvimento tecnológico e importância em relação às emissões.

Tabela 1 – Oportunidades tecnológicas para atingir zero emissões líquidas, prontidão e importância

Fonte: IEA (2020)

Estágio de desenvolvimento tecnológico ^[7]	Tecnologia	Etapa na cadeia de valor	Importância para o atingimento de zero emissões líquidas	Detalhes
6 a 9	Moagem > Tecnologias avançadas de moagem	Produção	Moderada	Uma gama de tecnologias mais eficientes de moagem de matéria-prima e combustível para a produção de cimento está sendo pesquisada e desenvolvida. Elas incluem sistemas de moagem sem contato, cominuição ultrassônica, fragmentação por pulso de alta tensão, cominuição a baixa temperatura.
9	Matérias-primas > Componentes alternativos de cimento > Argila calcinada	Produção	Alta	A argila calcinada é um constituinte alternativo de cimento que pode ser usado em vez de clínquer nas misturas dos cimentos.
9	Matérias-primas > Material de liga alternativo > Ligantes ativados por álcali (geopolímeros)	Produção	Moderada	Os ligantes ativados alcalinos são produzidos pela reação de um alumínio-silicato (o precursor) com um ativador alcalino. Eles dependem de materiais similares aos utilizados no cimento misturado para reduzir a proporção entre clínquer e cimento.
9	Reciclagem de cimento não hidratado	Fim de vida	Moderada	No processo de cura do concreto, parte do cimento não entra em contato com a água e fica desidratada (algumas estimativas sugerem que até 50% do cimento poderia permanecer desidratado). Novas tecnologias de trituração de concreto estão em desenvolvimento e permitiriam recuperar este cimento não hidratado do concreto em fim de vida útil para reutilização direta como novo cimento.
9	Cura > Sequestro de CO ₂ em materiais carbonatados inertes (mineralização)	Produção	Moderada	O CO ₂ dos emissores industriais pode ser utilizado como matéria-prima na produção de materiais de construção. As aplicações mais desenvolvidas envolvem a substituição de água por CO ₂ durante a formação do concreto, chamada cura de CO ₂ , e a reação do CO ₂ com resíduos de centrais elétricas ou de processos industriais (por exemplo, escória siderúrgica, cinzas de carvão), que de outra forma seriam estocadas ou armazenadas em aterros sanitários, para formar agregados de construção (pequenas partículas usadas em materiais de construção). O CO ₂ utilizado nos materiais de construção é armazenado permanentemente no produto. O concreto curado com CO ₂ pode proporcionar custos mais baixos em comparação ao concreto produzido convencionalmente, enquanto os materiais de construção a base de resíduos e CO ₂ podem ser competitivos em alguns casos, pois evita o custo associado com o descarte convencional de resíduos. A produção de materiais de construção a partir de resíduos pode ser intensiva em energia, em particular as etapas de pré-tratamento e pós-tratamento. Para aplicações estruturais de materiais de construção (por exemplo, construção de edifícios, pontes, etc.), são necessários testes plurianuais para demonstrar um desempenho seguro e ecologicamente correto.

Tabela 1 – Oportunidades tecnológicas para atingir zero emissões líquidas, prontidão e importância (continuação)

Fonte: IEA (2020)

Estágio de desenvolvimento tecnológico ^[7]	Tecnologia	Etapa na cadeia de valor	Importância para o atingimento de zero emissões líquidas	Detalhes
8	Forno de cimento > CCUS > Absorção química, taxas de captura parcial (menos de 20%)	Produção	Moderada	A absorção química de CO ₂ é uma operação comum baseada na reação entre o CO ₂ e um solvente químico (por exemplo, à base de aminas). O CO ₂ é liberado a temperaturas normalmente na faixa de 120°C a 150°C e o solvente é regenerado para operação posterior. Ele pode ser aplicado em fornos para a produção de clínquer.
8	Matérias-primas > Material de ligação alternativo > Carbonatação de silicatos de cálcio	Produção	Moderada	Cimentos baseados na carbonatação de silicatos de cálcio podem sequestrar o CO ₂ à medida que curam. Portanto, mesmo que sejam baseados em matérias-primas similares ao clínquer de cimento Portland, estes tipos de cimento, durante sua produção, podem resultar em zero emissões líquidas de CO ₂ , pois as emissões seriam essencialmente reabsorvidas durante o processo de cura.
7	Forno de cimento > CCUS > Absorção química (taxas de captura total)	Produção	Muito alta	A absorção química de CO ₂ é uma operação de processo comum com base na reação entre o CO ₂ e um solvente químico (por exemplo, à base de amina). O CO ₂ é liberado a temperaturas tipicamente na faixa de 120 ° C a 150 ° C e o solvente é regenerado para operação posterior. Pode ser aplicado em fornos, principal unidade produtora de clínquer para produção de cimento
7	Forno de cimento > CCUS > Laço de cálcio	Produção	Muito alta	O <i>looping</i> de cálcio é uma tecnologia que envolve a captura de CO ₂ a alta temperatura utilizando dois reatores principais. No primeiro reator, a cal (CaO) é usada como absorvente para capturar CO ₂ de um fluxo de gás para formar carbonato de cálcio (CaCO ₃). O CaCO ₃ é posteriormente transportado para o segundo reator, onde é regenerado, resultando em cal e um fluxo puro de CO ₂ . A cal é então ligada de volta ao primeiro reator. O oxigênio quase puro é normalmente utilizado (combustão oxicorte) para fornecer um grande fluxo de calor para o segundo reator. Um dos principais benefícios do <i>looping</i> de cálcio é um consumo de energia do processo global potencialmente menor em comparação com outras tecnologias de captura. A tecnologia é bem adequada para aplicação aos gases de combustão dos fornos para produção de clínquer.

^[7] Estágio de desenvolvimento tecnológico (TRL – Technology Readiness Level) é baseado em uma escala de 1 a 9, com 1 representando o menor estágio e 9 representando o maior. Para a lista completa de tecnologias, acesse <https://webstore.iea.org/download/direct/4165> e <https://www.iea.org/articles/etp-clean-energy-technology-guide>

Como mostra a Tabela 1, ainda são necessários esforços muito maiores para o desenvolvimento de tecnologia. Por exemplo, a um preço de CO₂ de cerca de USD 80/tCO₂, o CCUS começa a se tornar uma opção de custo competitivo para a produção de cimento para países como o Canadá e Austrália, onde o preço do cimento atinge o patamar de USD 140/t. (SNIC, 2019b). Nestes países, isto afetaria apenas marginalmente os consumidores (cerca de 3% de aumento de custo para uma casa de 500K)^[8]. No caso do Brasil, onde o preço do cimento é de USD 60/t (SNIC, 2019b), o valor do CO₂ de cerca de USD 80/tCO₂ teria um impacto extremamente negativo, podendo inviabilizar a indústria cimenteira do País.

Além disso, ainda há grandes oportunidades para produzir cimento através de alternativas verdes. O projeto CemZero ([CemZero project](#)), atualmente em desenvolvimento na Suécia pelos esforços conjuntos da empresa produtora Cementa (uma subsidiária da HeidelbergCement) e da produtora de energia Vattenfall provou que a eletrificação do processo de cimento é viável e pode ser competitiva. A próxima fase desenvolverá um projeto piloto. Considerando que o concreto é o segundo material mais consumido no mundo, depois da água, e que ele representa 7% das emissões globais, projetos similares devem ser realizados em todo o mundo. Parcerias globais e compartilhamento de dados serão essenciais para economizar tempo e recursos, que são em quantidade muito limitada se quisermos cumprir os objetivos do cenário SDS.

^[8] Para maiores detalhes, acesse: https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2020/08/ETC-sectoral-focus-Cement_final.pdf

2.2.2. Políticas públicas e privadas

É evidente que um pacote de políticas para o setor cimenteiro precisará abordar as principais oportunidades de redução de emissões e melhorias contínuas em tecnologias e operações eficientes. A base de cada uma dessas estratégias é uma política/quadro de relatórios energéticos que fornece dados precisos e confiáveis para melhorar a validade e a utilidade do benchmarking realizado. Oportunidades principais de redução de emissões incluem CCUS e alternativas para o clínquer (eficiência dos materiais). Políticas para reduzir a demanda de cimento no setor de construção também serão cruciais, embora estejam fora do escopo deste capítulo.

A análise recente da IEA, feita no World Energy Outlook – [WEO 2020](#) – mostra que a eficiência energética e a eletrificação desempenham um papel central no setor industrial no curto prazo. Embora a eletrificação desempenhe um papel menor, pelo menos por enquanto, nas projeções para o subsetor de cimento, a eficiência energética continua sendo essencial. Desta forma, a sua evolução garantirá que níveis mais altos possam ser estabelecidos para ativos industriais novos e reformados que funcionarão por décadas, enquanto instalações existentes continuarão a melhorá-la.

Os pacotes de políticas ideais para a eficiência energética consistem na combinação de três tipos principais de mecanismos: regulamentações, informações e incentivos. Estes três elementos de um pacote de políticas são aplicáveis em toda a economia, quer os países estejam procurando melhorar a eficiência energética na indústria ou nos transportes, eletrodomésticos ou edifícios. Cada uma dessas ferramentas pode desempenhar um papel importante na promoção de melhorias de eficiência energética, ao mesmo tempo em que gera empregos, reduz a conta de energia além de proporcionar outros benefícios.

Os seguintes casos de sucesso em todo o mundo contêm uma combinação desses três mecanismos. A Tabela 2 lista alguns exemplos de políticas que produziram melhorias no uso de energia pela indústria de cimento. Deve-se notar que estes são exemplos e que as especificidades nacionais e locais devem ser levadas em consideração ao estabelecer pacotes de políticas. Algumas medidas podem produzir resultados distintos em locais diferentes.

Tabela 2 – Exemplos de programas para melhorar a eficiência energética do setor de cimento

Fonte: IEA (2020)

País ou região	Políticas de Eficiência Energética	Regulatórias	Incentivos	Informação
China	Programa empresas Top 100 / 1 000 / 10 000 ^[9]	Sob esses programas, são estabelecidas metas de consumo para cada empresa. O cumprimento das metas faz parte da avaliação do desempenho geral dos governos provinciais, que está vinculado a prêmios de avaliação anual e promoções para funcionários do governo. Espera-se que as empresas realizem: auditorias energéticas, treinamento, relatórios, planos de ação, investimentos, entre outras medidas.	As empresas se beneficiam de incentivos financeiros.	As empresas devem informar sobre seu progresso trimestralmente ao “National Bureau of Statistics (NBS)”
Índia	Performar, Atingir, Negociar (em inglês: PAT - <i>Perform, Achieve, Trade</i>)	O PAT estabelece metas obrigatórias de melhoria do consumo específico para consumidores designados (CDs) em setores intensivos em energia.	O PAT fornece um incentivo para que os CDs excedam as metas, permitindo-lhes gerar certificados de economia de energia (em inglês, <i>energy saving certificates</i> - ESCerts) e vendê-los a outros CDs com baixo desempenho. O Fundo de Garantia de Risco Parcial para Eficiência Energética (em inglês, <i>Partial Risk Guarantee Fund for Energy Efficiency - PRGFEE</i>) cobre 50% do valor de empréstimos a instituições financeiras participantes (em inglês, <i>participating financial institutions</i> - PFIs) em projetos de eficiência energética.	Um sistema de relatório de dados muito completo permite ao governo coletar a produção e o uso de energia dos CDs para reavaliar as metas do PAT a cada 2 anos.
Global	Em 2015, no setor privado, 18 importantes empresas de cimento desenvolveram o objetivo comum de reduzir suas emissões de CO ₂ em 20-25% em relação ao nível de negócios normal até 2030, o que equivale a 1 GtCO ₂ . Esta iniciativa, denominada Iniciativa de Parceria de Tecnologia de Baixo Carbono (LTCPi - Low carbon Technology Partnership Initiative) (LCTPi, 2015), é um excelente exemplo de colaborações que poderiam ser desenvolvidas para promover melhorias na eficiência energética ^[10] .			
Europa	Na Europa, o mandato para desenvolver padrões de cimento dentro do Comitê Europeu de Normalização foi recentemente ampliado para permitir possíveis alternativas de baixo teor de carbono ao clínquer OPC que dependem de diferentes matérias-primas ou misturas. Este é um exemplo de abordagens regionais que poderiam ser ampliadas para incluir a eficiência energética em diversos setores.			

Foco na Alemanha

- O uso final de energia para produção de cimento na Alemanha vem aumentando desde 2008 devido a dois fatores: a crescente demanda da indústria de materiais de construção por cimentos de alto desempenho, e muitas vezes finamente moídos, e o aumento da produção de cimentos com outros componentes principais (escória de alto-forno ou calcário), além do clínquer. Tais cimentos compostos levam a menores emissões específicas de dióxido de carbono, mas aumentam o esforço de moagem necessário para atingir a qualidade de produto desejada;
- A proporção de carvão e lignite na demanda total de energia térmica para a produção de cimento na Alemanha caiu de cerca de 87% em 1987 para cerca de 28% em 2018, através do aumento do uso de combustíveis alternativos;
- Em 2012, a indústria alemã firmou um acordo com o governo para aumentar a eficiência energética, comprometendo-se a reduzir continuamente seu consumo específico de energia até 2020;
- Em troca da redução dos impostos sobre energia, a indústria alemã se comprometeu – no lugar do acordo anterior de proteção climática - a introduzir sistemas de gestão de energia certificados e uma redução anual coletiva no consumo específico de energia de 1,3% a partir de 2013 e 1,35% entre 2016 e 2020 ([Vdz](#)).

A eficiência energética pode ser ainda mais acelerada através de esforços colaborativos entre a indústria, o setor público e os parceiros de pesquisa para compartilhar as melhores práticas em tecnologias de ponta e desenvolver planos de ação em nível de planta que aumentariam a velocidade e a escala da implantação da tecnologia. Garantir operações e manutenção eficientes de equipamentos também ajudaria a garantir um ótimo desempenho energético, e as tecnologias digitais estão criando novas oportunidades, permitindo um melhor controle do uso de energia e diminuindo o custo de monitoramento e otimização dos processos industriais. A implementação de auditorias energéticas ajudará a identificar oportunidades-chave para maiores ganhos de eficiência, e o uso de sistemas de gerenciamento de energia aumentará muito os níveis de eficiência.

[9] Para mais informações sobre estes programas, consulte LBNL (2008).

[10] Para maiores informações sobre esta iniciativa, acesse: <https://www.wbcsd.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative/Resources/Low-Carbon-Technology-Partnership-initiative-LCTPI-Cement-full-report>

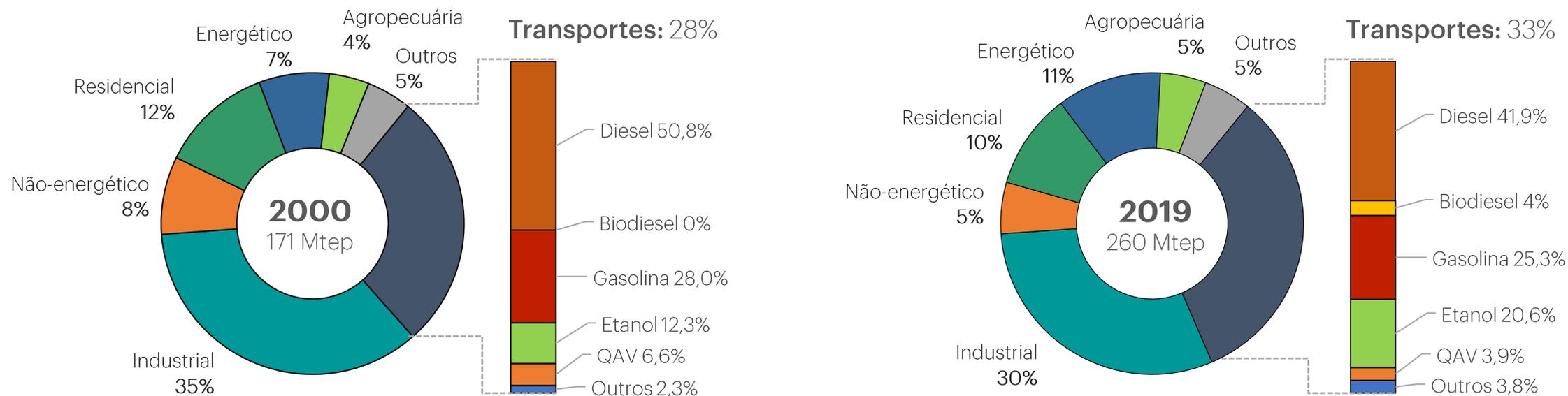
Setor de Transportes

Evolução da participação do consumo energético do Setor de Transportes

Consumo energético nacional cresceu 2,2% ao ano entre 2000 e 2019, em linha com o crescimento do PIB, que foi de 2% a.a., daí o crescimento da renda e do número de automóveis privados aumentou a demanda energética para a mobilidade.

Figura 43 – Consumo final e do setor de transportes no Brasil em 2000 e 2019

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de dados da EPE (2020b)



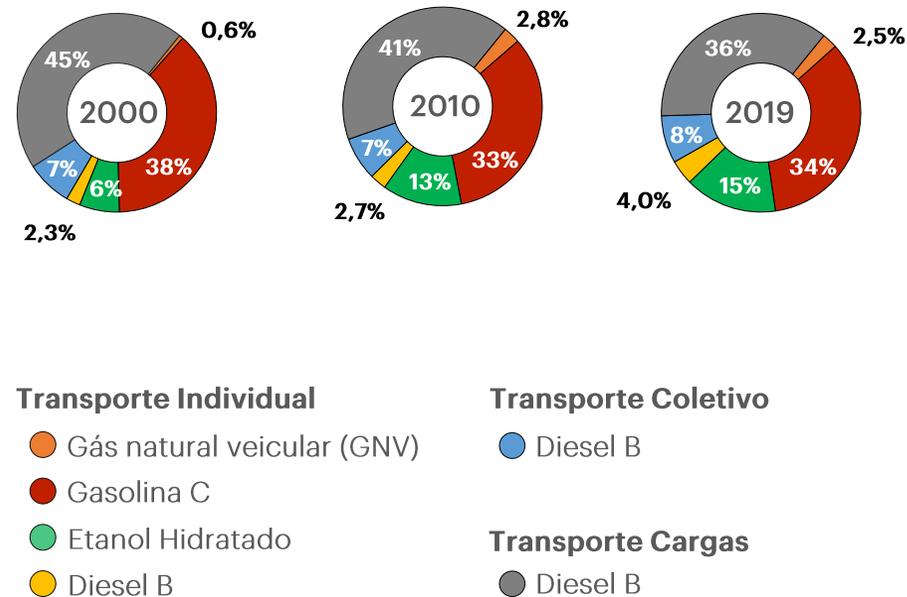
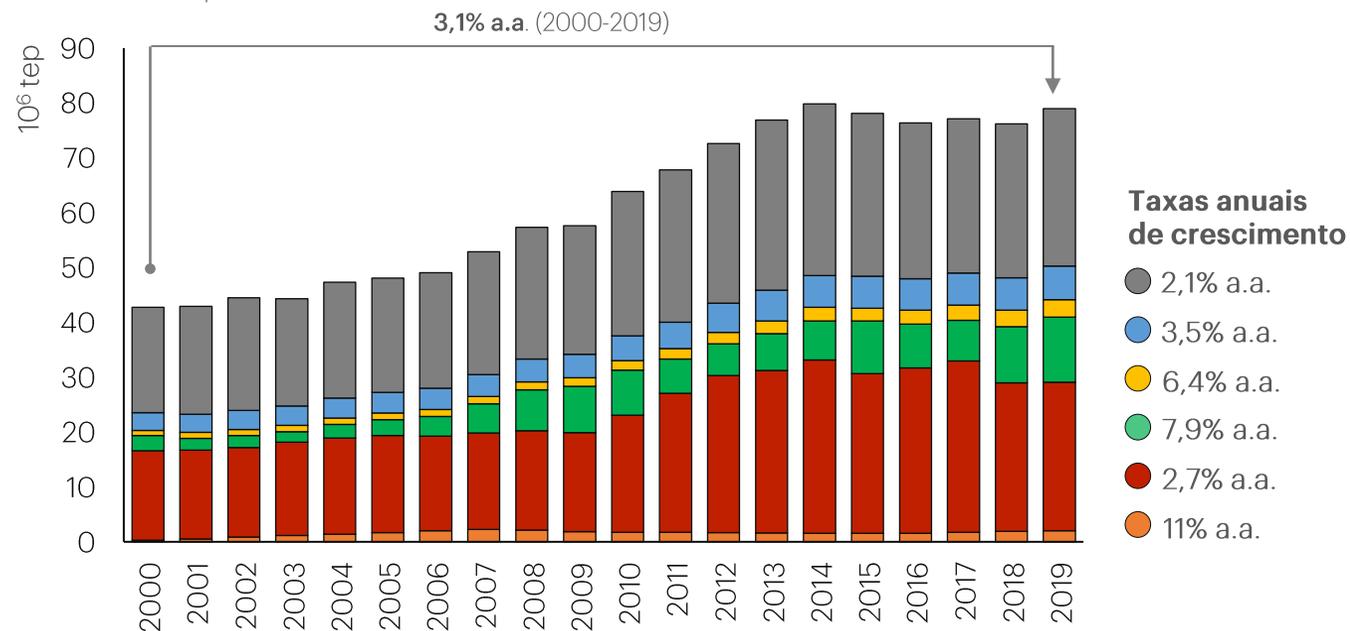
O setor de transportes cresceu 3,1% ao ano, quando foi observado incremento do transporte de passageiros e de cargas, devido ao aumento do consumo de bens e da agropecuária.

Evolução do consumo energético rodoviário

Demanda do transporte de passageiros aumentou em 4,1% a.a., e a do transporte de cargas cresceu 2,1% a.a.. Avanço superior do transporte individual reduziu potenciais ganhos de eficiência sistêmicos.

Figura 44 – Consumo energético por modo e fonte

Fonte: Elaborado por EPE



Destaca-se o crescimento da participação do GNV e do etanol hidratado como fontes energéticas da matriz de transporte rodoviário. Ambos têm um consumo específico maior do que os veículos a gasolina. Incentivos aos biocombustíveis influenciaram a participação do biodiesel e do etanol hidratado, cujo crescimento foi de 8% a.a. desde 2000. Ambos limitaram os ganhos de eficiência do setor.

Transporte de Passageiros

O transporte individual ganhou importância ao longo da primeira década dos anos 2000, em linha com uma maior distribuição de renda, e em detrimento da eficiência total do setor. Dentre os modos, alguns destaques foram os seguintes:

- O modo aéreo também ganhou participação na atividade, em detrimento do transporte coletivo rodoviário. O uso de aeronaves mais eficientes e o aumento da ocupação promoveram um crescimento da eficiência desse modo.
- O modo metroferroviário também cresceu, em especial, devido a projetos de infraestrutura, que se aceleraram com os grandes eventos ocorridos na última década, substituindo o transporte individual, e promovendo a eficiência sistêmica.
- O modo rodoviário coletivo ficou menos eficiente devido à introdução do biodiesel, e ao crescente uso de ar condicionados na frota das grandes cidades.

Figura 45 – Intensidade energética por modo [tep/(10⁶ p.km)]

Fonte: Elaborado por EPE

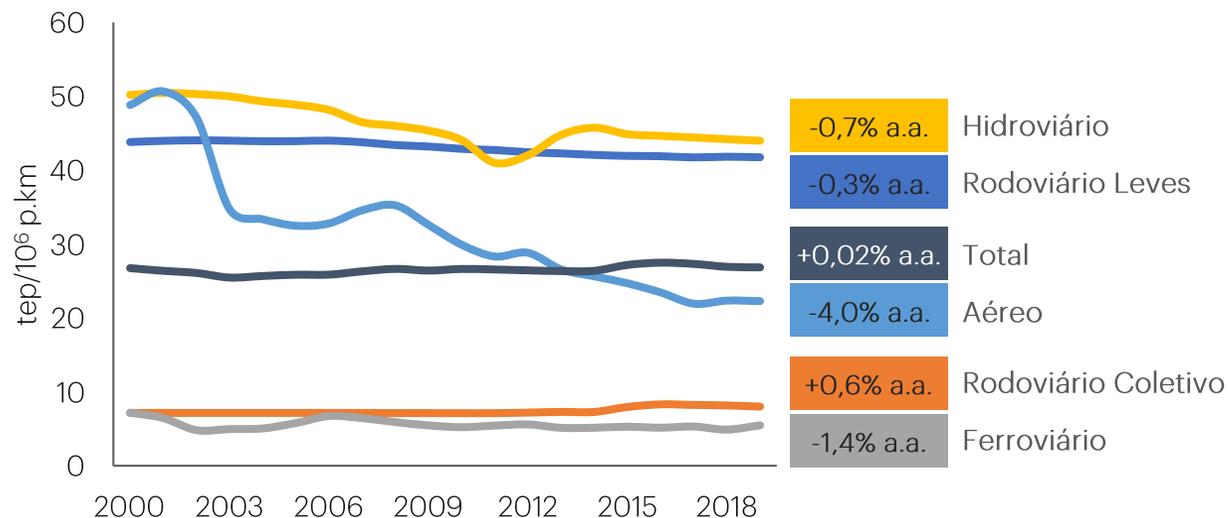
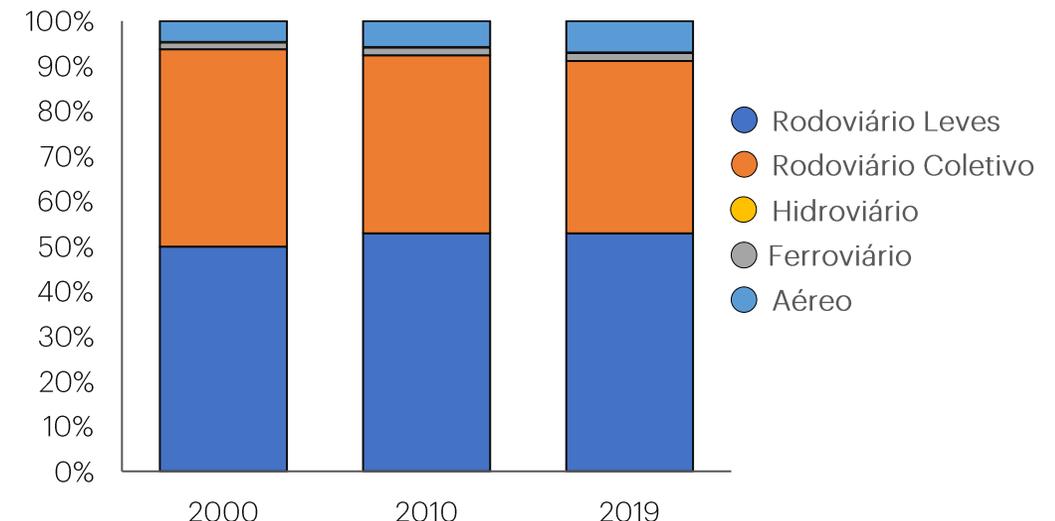


Figura 46 – Atividade por modo [p.km]

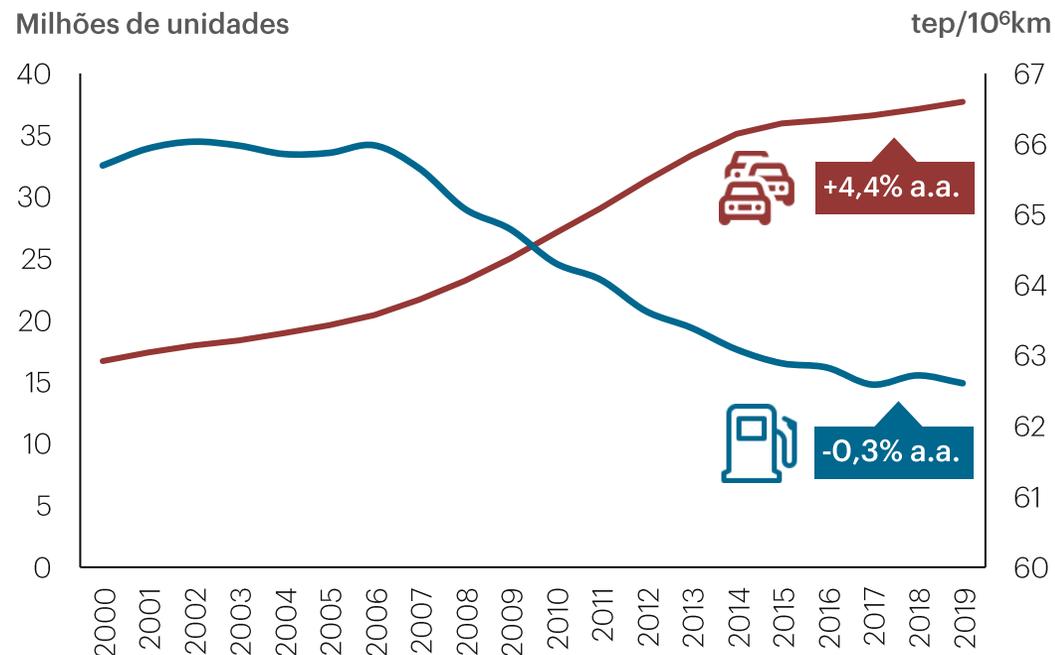
Fonte: Elaborado por EPE



Transporte individual de passageiros

Figura 47 – Frota de automóveis e consumo específico de 2000 a 2019

Fonte: Elaborado por EPE

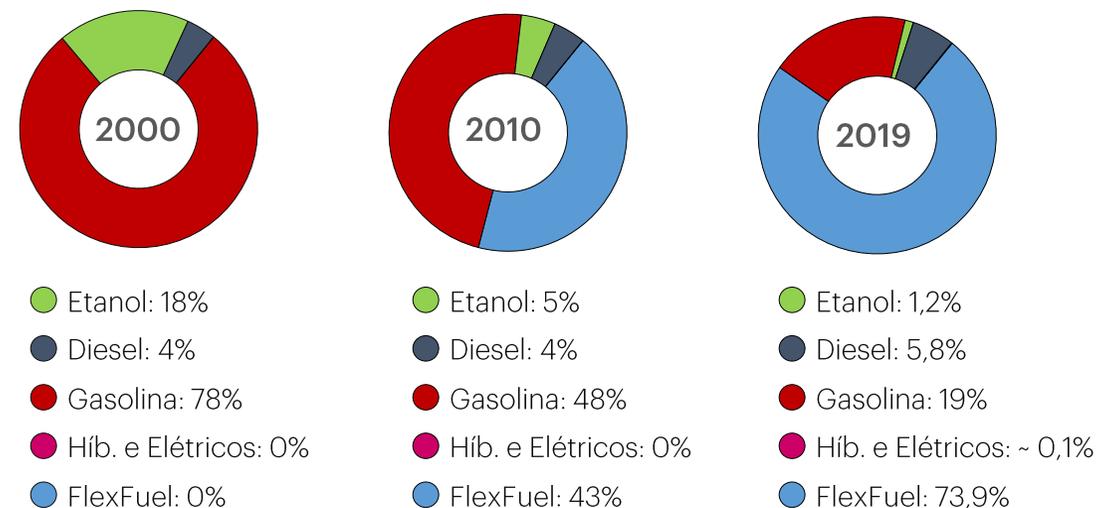


A venda de automóveis acompanhou o crescimento da renda per capita brasileira ao longo da década de 2000.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem veicular, Inovar Auto e Rota 2030 melhoraram a eficiência energética dos motores de veículos novos.

Figura 48 – Frota de leves por tipo de motorização em anos selecionados

Fonte: Elaborado por EPE



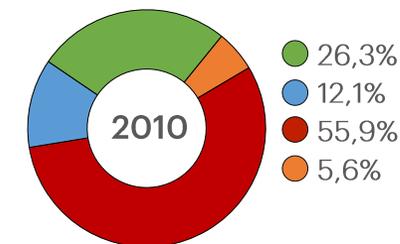
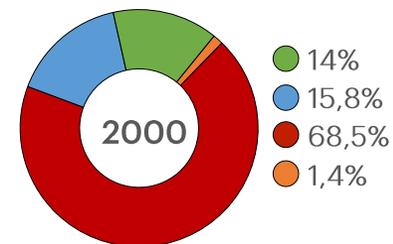
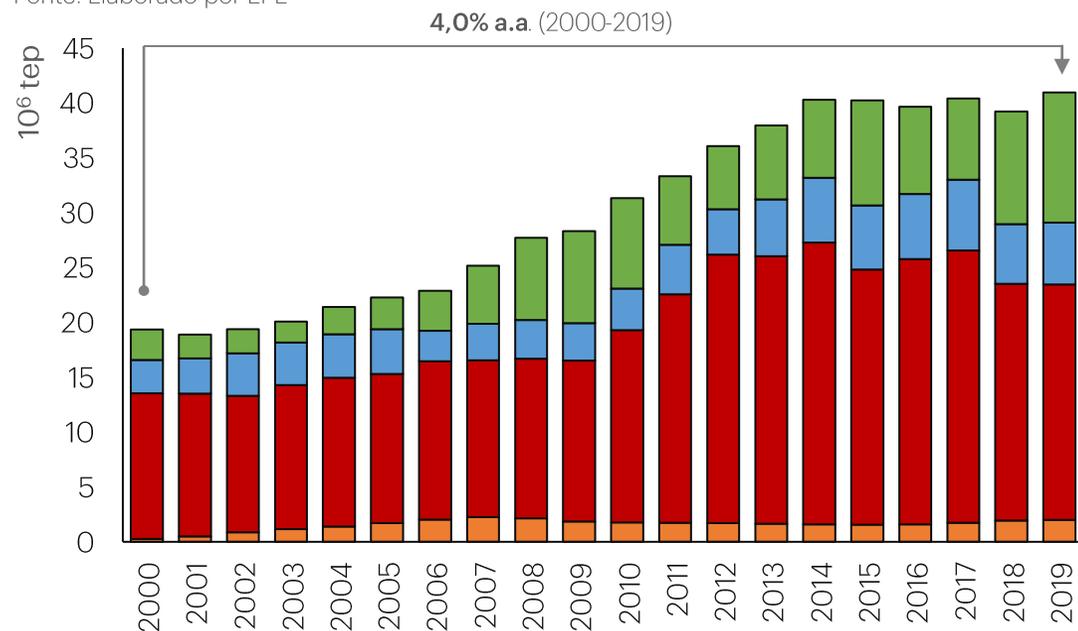
A entrada dos veículos flex fuel a partir de 2003 trouxe a possibilidade da escolha entre etanol hidratado ou gasolina C no momento do abastecimento. Sua participação na frota avançou rapidamente, o que influenciou na eficiência média da frota de leves, uma vez que estes apresentavam eficiência inferior que os análogos dedicados. O aumento da venda de comerciais leves esportivos (SUVs) também elevou o consumo específico da frota, por se tratar de veículos menos eficientes.

Ciclo Otto e o transporte rodoviário individual

A disseminação da frota de veículos flexfuel permitiu o aumento da demanda por etanol hidratado, cujo poder calorífico é inferior ao da gasolina A.

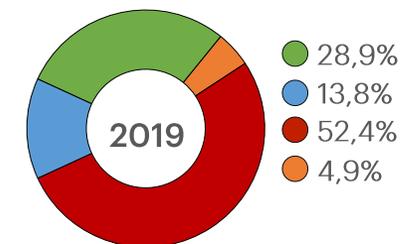
Figura 49 – Consumo energético por fonte

Fonte: Elaborado por EPE



Taxas anuais de crescimento

- Etanol Hidratado: 7,9% a.a.
- Etanol Anidro: 3,3% a.a.
- Gasolina A: 2,6% a.a.
- Gás Natural Veicular (GNV): 11,0% a.a.



A partir de 2003, o aumento da participação de veículos flexfuel na frota influenciou a eficiência média da frota de leves, não contribuindo para a eficiência sistêmica do setor de transportes. O aumento da adição obrigatória de etanol anidro de 20% para 27%, aliado ao aumento das vendas de etanol hidratado, permitiram que a participação do etanol subisse de 30% em 2000 para 43% em 2019. O aumento da participação do etanol reduziu a eficiência energética da frota, porém reduziu as emissões de carbono de forma significativa.

Transporte de Cargas

O transporte hidroviário e ferroviário cresceram 4,7% ao ano e 4,5% ao ano, respectivamente, mais que duplicando sua magnitude na atividade do País, melhorando a eficiência do setor como um todo (eficiência sistêmica). Alguns fatores pontuam essas trajetórias:

- Dado o crescimento do consumo de produtos agropecuários e da construção civil e a dependência do transporte rodoviário, o modo cresceu 5,3% ao ano.
- Apesar do aumento da atividade, destaca-se o aumento da eficiência energética do transporte rodoviário, que decorre do aumento da frota de caminhões modernos no começo da década, além de obras em rodovias.
- O aumento do transporte de produtos não minerais ou agrícolas e a containerização da carga reduziram a intensidade energética do modo ferroviário.

Figura 50 – Intensidade energética por modo [tep/(10⁶ t.km)]

Fonte: Elaborado por EPE

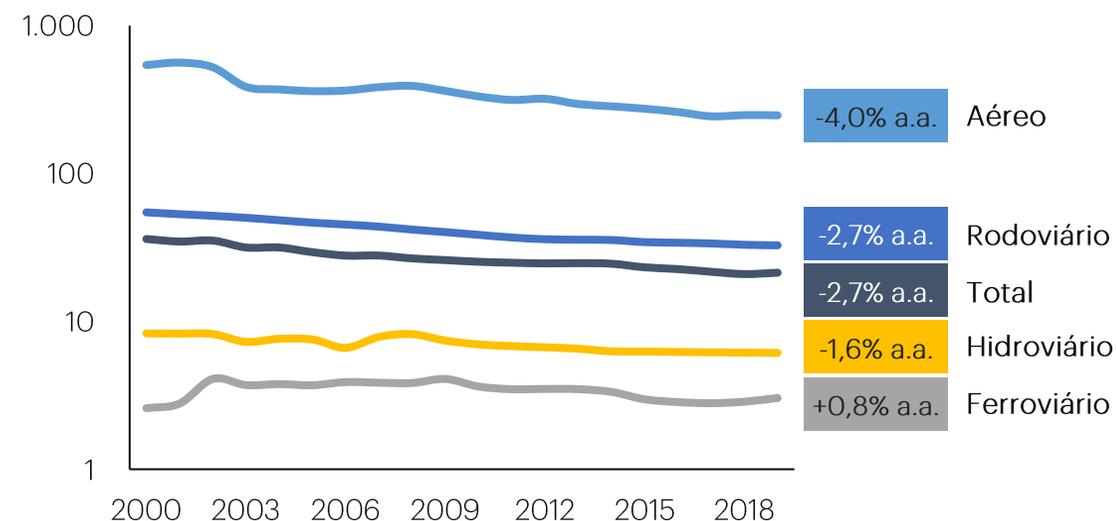
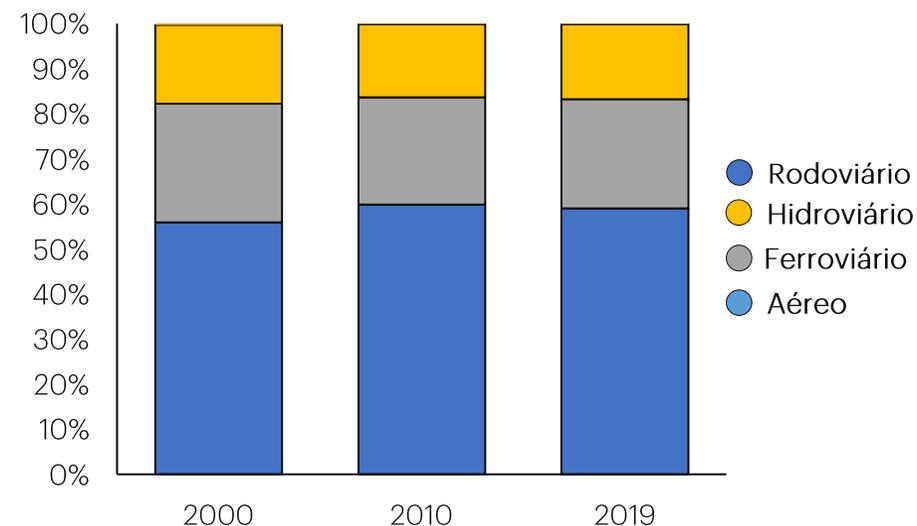


Figura 51 – Atividade por modo [t.km]

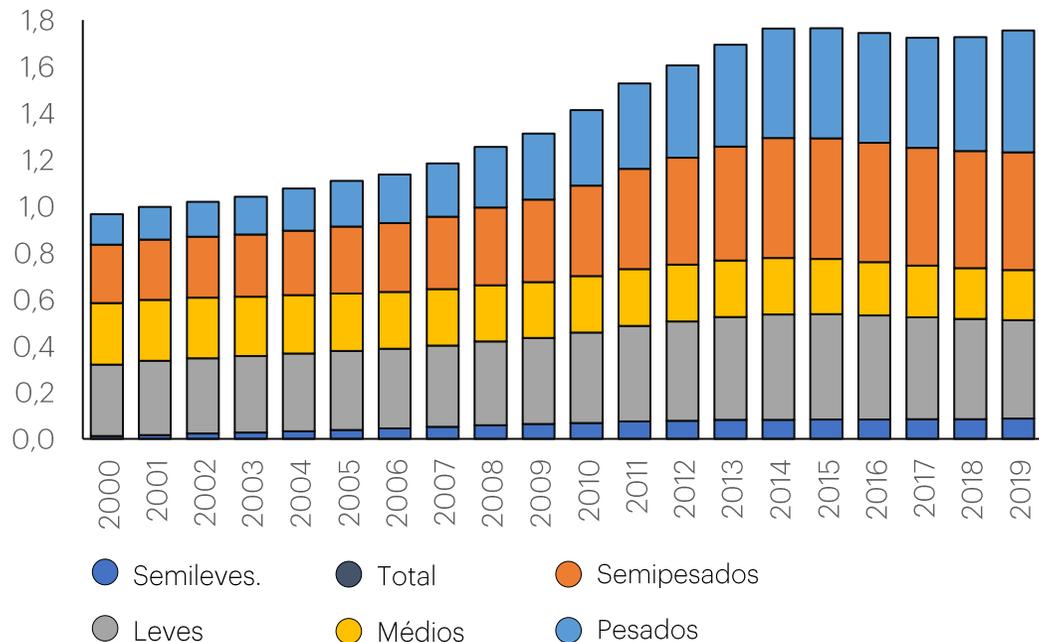
Fonte: Elaborado por EPE



Transporte rodoviário de cargas

Figura 52 – Frota de caminhões por categoria (milhões de unidades)

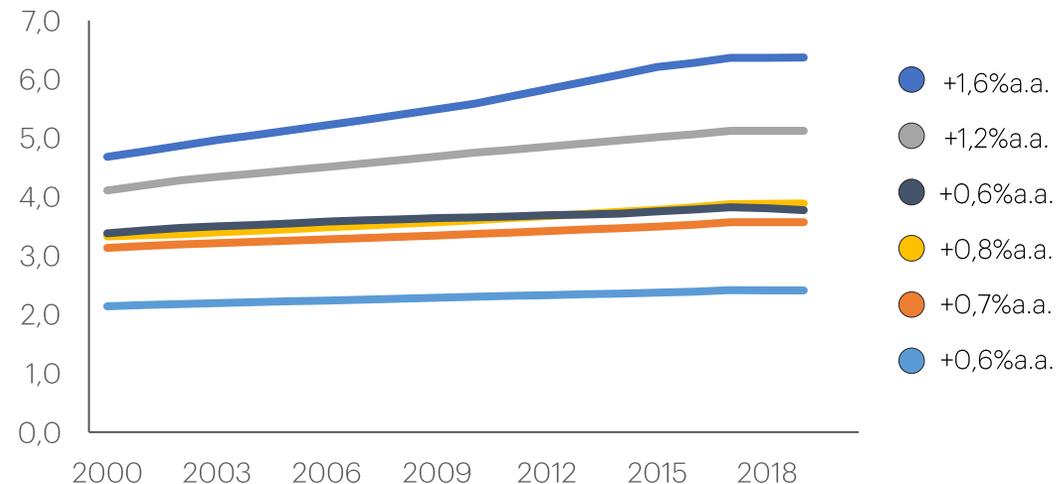
Fonte: Elaborado por EPE



A frota de caminhões cresceu ao longo das últimas duas décadas, a fim de facilitar o escoamento da produção agropecuária na nova fronteira agrícola na região Centro-Oeste e Norte do País. Elevada distância a portos e centros de consumo aumenta atividade e melhora eficiência da frota.

Figura 53 – Eficiência energética média de veículos novos vendidos (com carga) [km/L]

Fonte: Elaborado por EPE



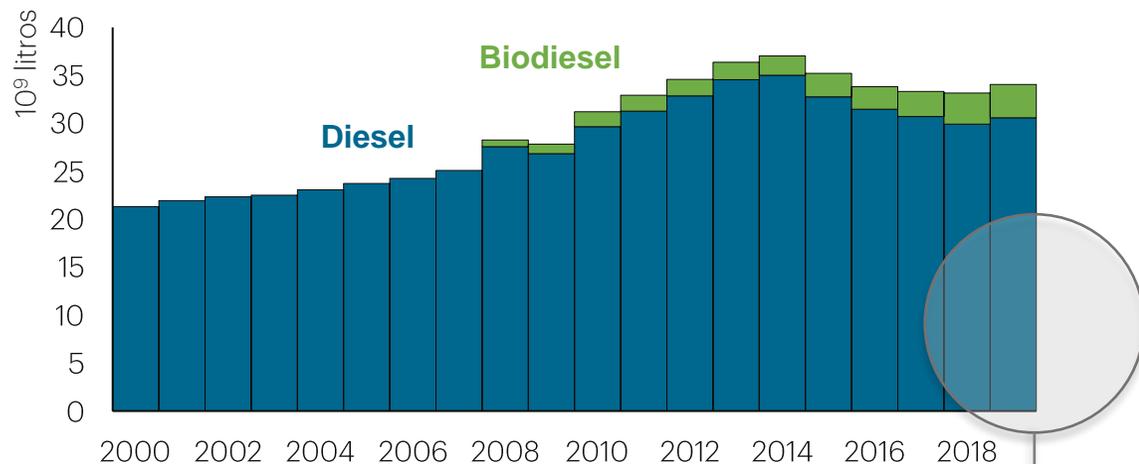
A introdução de novas fases do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve) estimulou a adoção de motores mais eficientes para alcançar limites de emissão.

O aumento da proporção de caminhões pesados e semipesados aumentou a eficiência média da frota em 0,9% ao ano, apesar da eficiência de caminhões novos ter crescido 0,6% ao ano.

Consumo de diesel e biodiesel

Figura 54 – Consumo de diesel e biodiesel (10⁹ litros)

Fonte: Elaborado por EPE a partir de dados da EPE (2020b)



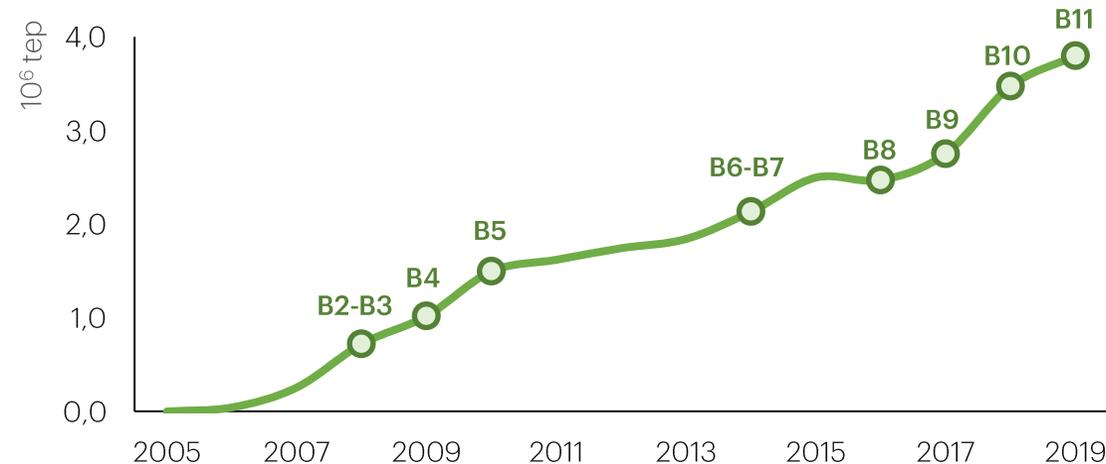
Demanda de óleo diesel cresceu 2,6% ao ano entre 2000 e 2019, liderada pelo crescimento da demanda dos setores agropecuário e de transportes.

A demanda de óleo diesel mineral avançou somente 2,0% ao ano, devido ao avanço do uso de biocombustíveis, que deslocam cada vez mais o combustível fóssil.

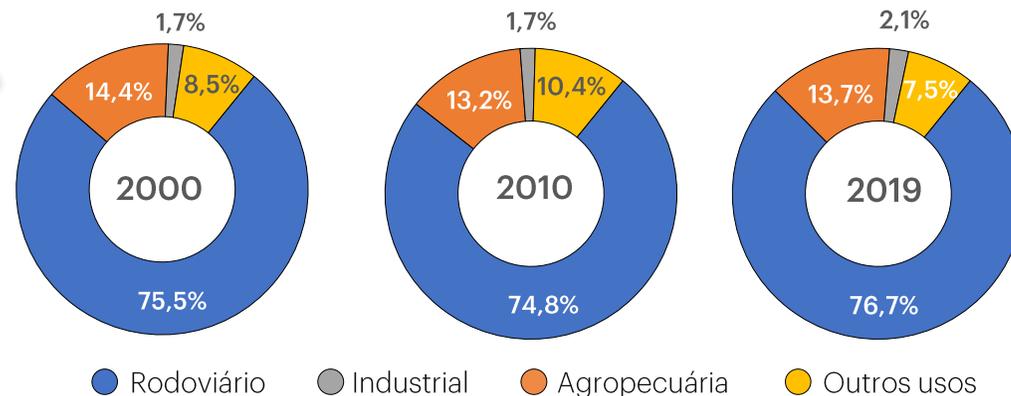
Embora existam ganhos ambientais, a eficiência energética deste biocombustível é menor do que a de seu análogo fóssil, aumentando o consumo específico de máquinas, e reduzindo a eficiência energética do transporte de cargas rodoviário.

Figura 55 – Evolução do consumo de biodiesel e seus percentuais de adição

Fonte: Elaborado por EPE a partir de dados da EPE (2020b)



Divisão setorial do uso de óleo diesel



Considerações Finais do Setor de Transportes



O Setor de transportes se tornou recentemente o componente mais importante do consumo final de energia do país. Dentro deste setor, o consumo rodoviário é o mais relevante.



A demanda energética do transporte de passageiros é dominada pelo consumo dos automóveis. O aumento da renda *per capita* ao longo das últimas duas décadas elevou ainda mais a participação desse segmento, reduzindo a eficiência sistêmica do setor de transportes como um todo.



O aumento na demanda de gasolina não acompanhou o crescimento da frota, devido aos ganhos de eficiência advindos de programas de etiquetagem de veículos novos, às políticas de incentivos à venda de veículos *flexfuel* e à expansão da produção de etanol.



O reduzido investimento relativo em infraestrutura logística manteve a dependência do modo rodoviário. Apesar do aumento da carga transportada por esse modo, a eficiência dos motores dos caminhões novos limitou o crescimento da demanda potencial de diesel. Além disso, os ganhos de eficiência do sistema foram relevantes, em especial devido ao aumento da participação de caminhões pesados e semipesados, mais eficientes para distâncias significativas.



A introdução do biodiesel na matriz de transportes contribuiu para o atendimento da demanda energética do transporte de cargas e coletivo, mitigando emissões de carbono e importações do diesel fóssil embora seu poder calorífico seja ligeiramente menor que o do diesel fóssil.

Impactos da Covid-19

Capítulo conjunto entre EPE e IEA.

Este capítulo é composto por três tipos de dados:

1. Dados coletados por empresas privadas e pela Universidade de Oxford, que não correspondem às estatísticas oficiais no Brasil. Estes dados são publicados por estas instituições para auxiliar os países no combate à Covid-19, e são utilizados neste capítulo para ajudar na análise sobre o impacto da pandemia no consumo de energia e na eficiência energética;
2. Dados coletados pela Agência Internacional de Energia, IEA;
3. Dados coletados por instituições públicas brasileiras, como a EPE e o IBGE.

A lista completa de referências está exposta no final deste documento.

Este capítulo inclui tanto fontes oficiais de dados, como outras menos tradicionais. Para maximizar a relevância para os formuladores de políticas sobre a análise das circunstâncias únicas em torno da pandemia em curso, este capítulo se concentra nas tendências atuais de mercado com possíveis implicações para a eficiência energética.

Para isso, ele se baseia em uma série de dados frequentemente atualizados de smartphones e buscas na web, além das estatísticas oficiais de energia.

Tanto a EPE quanto a IEA baseiam suas análises em um trabalho de longa data de coleta e qualidade de dados com os órgãos oficiais de estatística. As novas fontes (e métodos) de dados utilizados neste capítulo devem ser vistas como um complemento aos métodos mais tradicionais baseados em pesquisas, facilitando a validação e permitindo estimativas e insights preliminares.

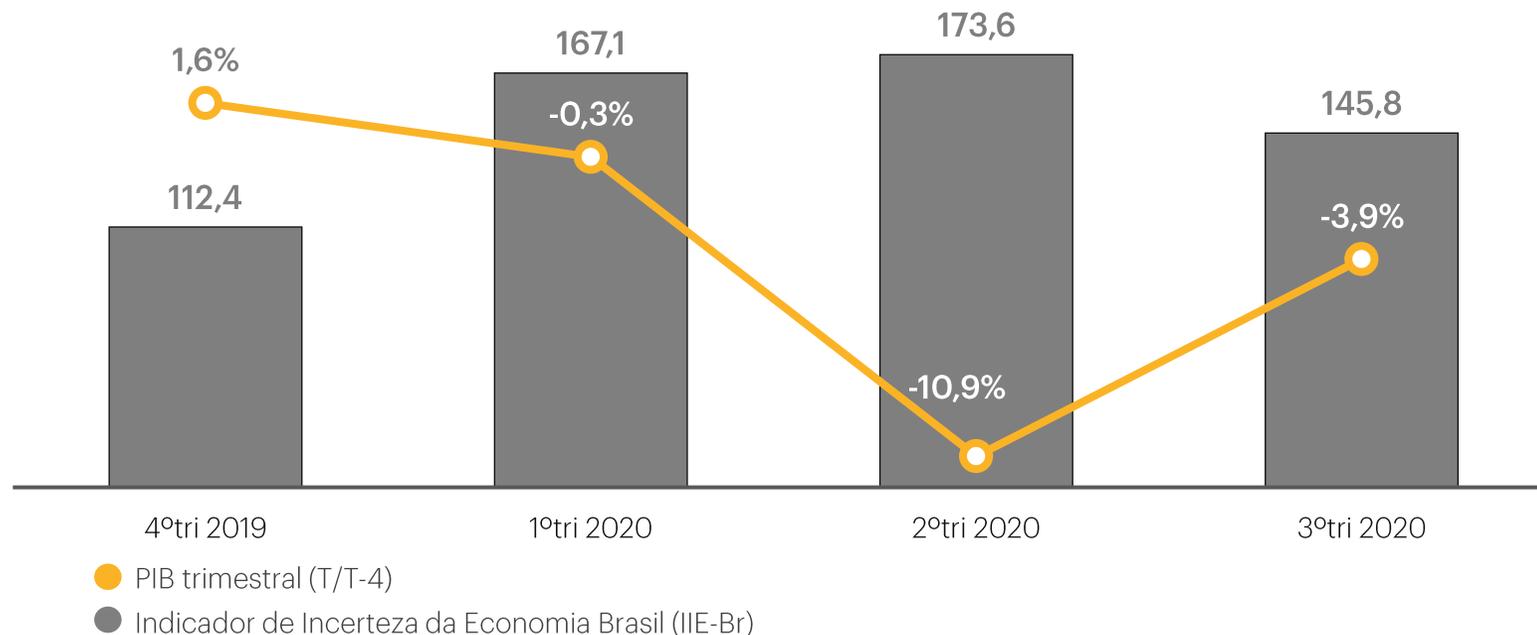
A disponibilidade de fontes complementares de dados em tempo real em diferentes áreas está aumentando rapidamente, e se alavancou mais fortemente nas circunstâncias excepcionais de 2020. Confiamos que o uso desses dados neste capítulo servirá para informar o leitor sobre importantes tendências e desenvolvimentos ao longo do ano passado.

Covid-19 teve um impacto substancial no PIB do Brasil

No segundo trimestre de 2020, o PIB contraiu 10,9%. No 3º trimestre, a economia se recuperou em relação ao trimestre anterior, com retração de 3,9%. Isso teve um efeito profundo nas residências e empresas, e impactou significativamente o consumo de energia e a eficiência. Tal fato reflete severas perdas de empregos, muitas dos quais afetam setores engajados em eficiência energética, como construção civil, indústria e serviços.

Figura 56 – PIB trimestral realizado (T/T-4) x Incerteza (FGV)

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de dados de IBGE (2020a) e FGV (2020)



Nota: Índice de Incerteza da Economia (IIE-Br) no último mês de cada mês trimestre. Segundo FGV (2020), o IIE-Br é índice construído pela FGV composto por dois componentes: i) IIE-Br Mídia, baseado na frequência de notícias com menção à incerteza nas mídias impressa e online; ii) IIE-Br Expectativa, construído a partir da média dos coeficientes de variação das previsões dos analistas econômicos, reportados na pesquisa Focus do Banco Central, para a taxa de câmbio e a taxa Selic 12 meses à frente e para o IPCA acumulado para os próximos 12 meses.

Medidas restritivas de diferentes graus continuam ao redor do País e do mundo

Os níveis variáveis de *lockdowns* continuam a impactar os padrões de investimento, comportamento e consumo. O nível de rigor tem variado dependendo das decisões dos atores públicos e privados, tais como governos municipais e estaduais e empregadores. Embora esta seja uma estimativa de alto nível, ela ilustra a existência contínua de restrições significativas, que estão tendo impactos na demanda de energia e nos padrões de consumo.

Figura 57 – Índice de rigor^[11] da resposta no Brasil e em países selecionados

Fonte: Universidade de Oxford (2020)

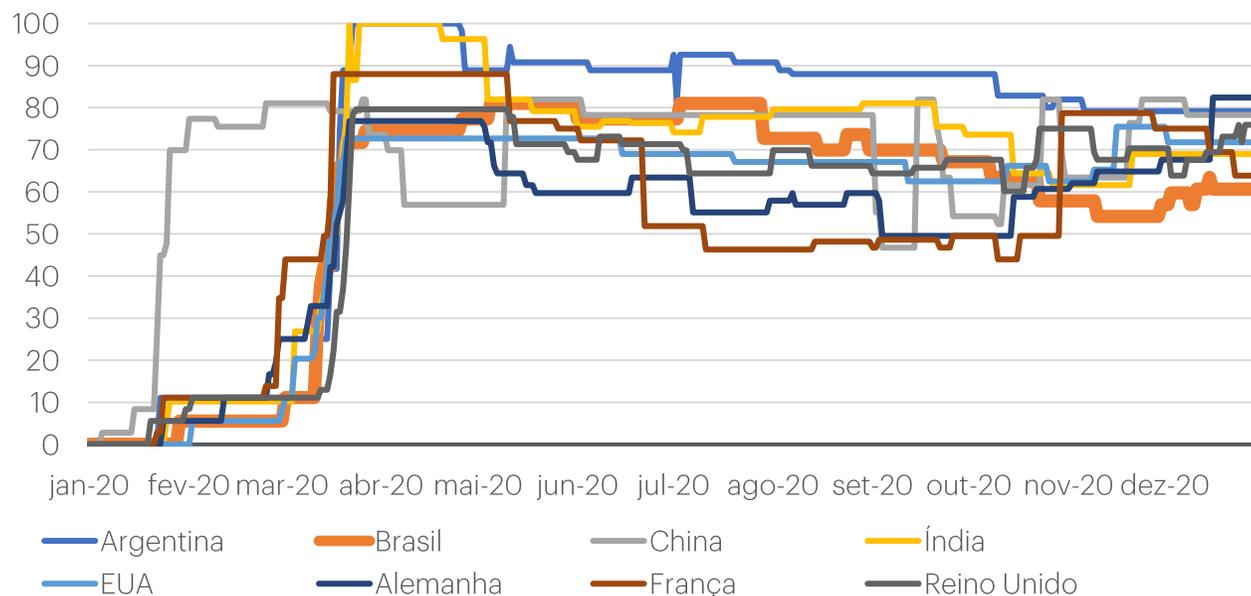
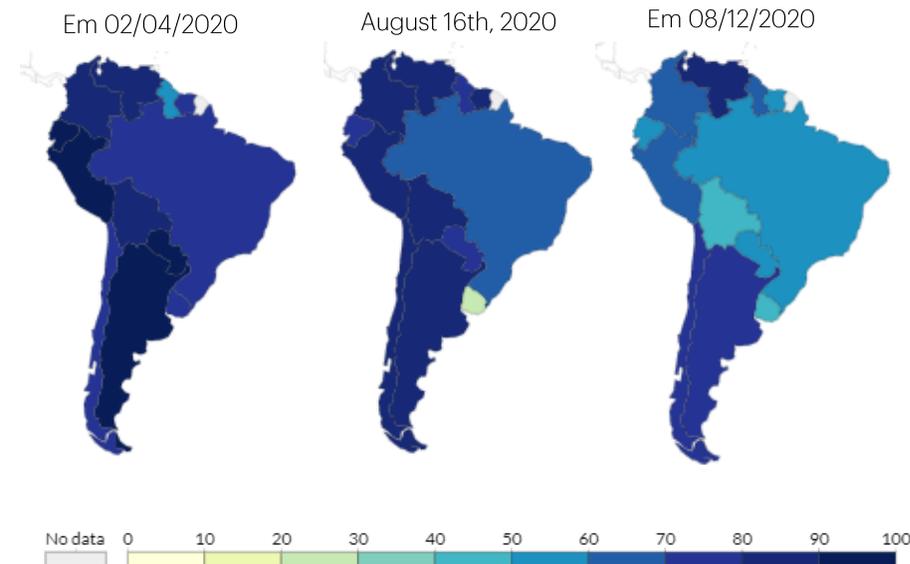


Figura 58 – Índice de rigor^[11] da resposta na América do Sul

Fonte: Universidade de Oxford (2020)

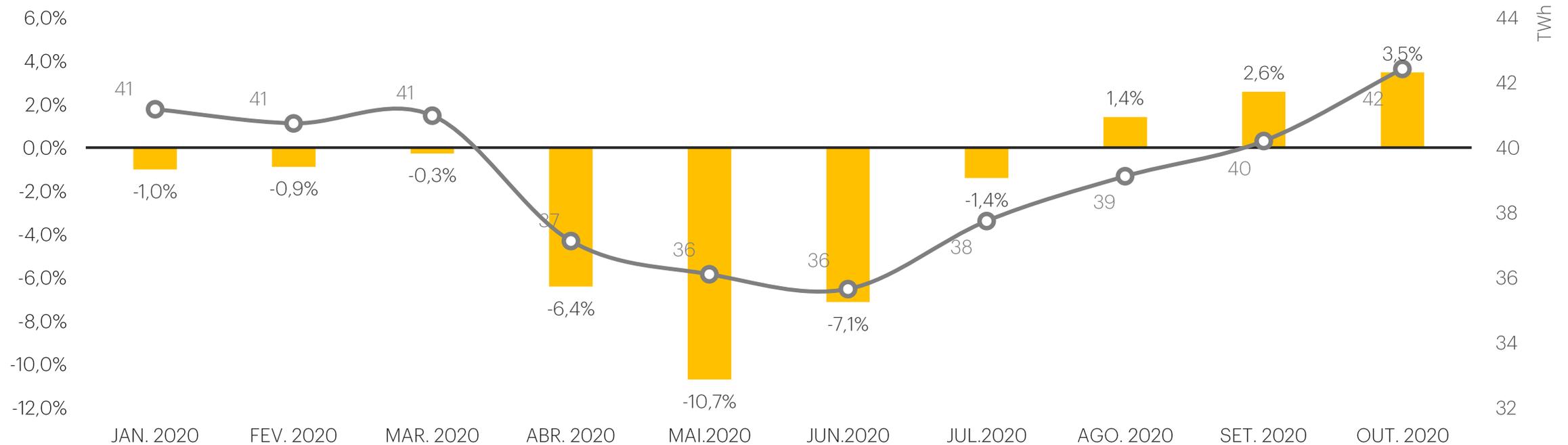


^[11] Esta é uma medida composta baseada em nove indicadores de resposta, incluindo fechamentos de escolas, de locais de trabalho e proibições de viagem, dimensionadas para um valor de 0 a 100 (100 = mais rigoroso). Se as políticas variam a nível subnacional, o índice é mostrado como o nível de resposta da sub-região mais estrita. Este índice registra simplesmente o número e o rigor das políticas governamentais, e não deve ser interpretado como 'pontuação' da adequação ou eficácia da resposta de um país. Para mais informações, visite: <https://bit.ly/3o3OZww>

Mudança na demanda de eletricidade em comparação com 2019 - Brasil

Figura 59 – Mudança na demanda de eletricidade por mês, 2020 vs. 2019

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de EPE (2020d)

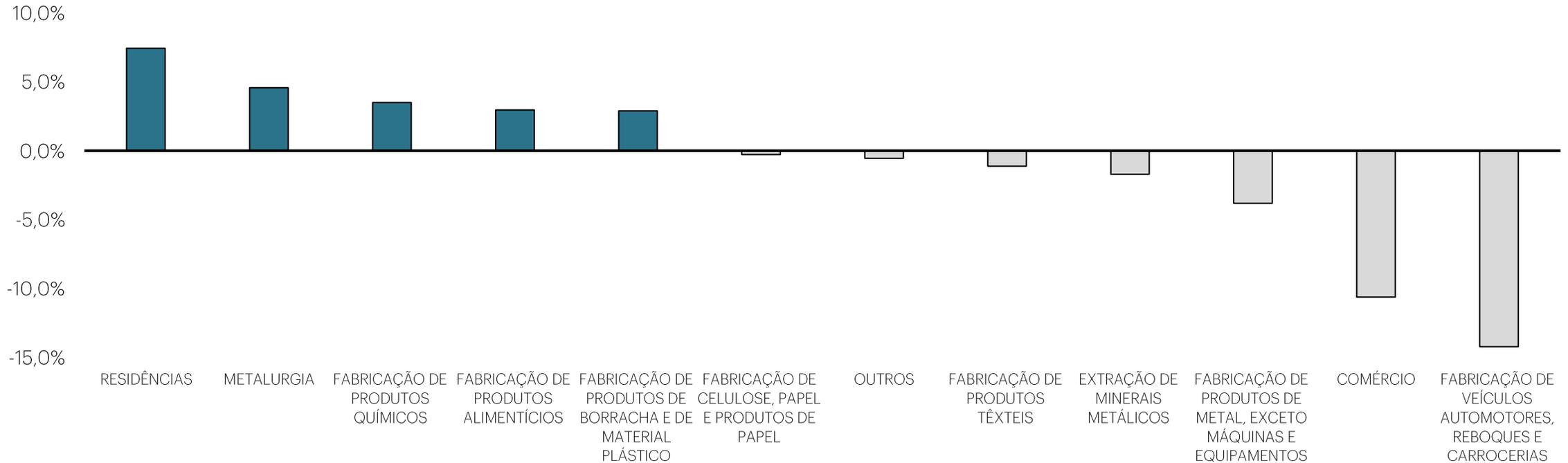


Em maio de 2020, a demanda de eletricidade ficou 10,7% abaixo do nível do mesmo mês em 2019. Em outubro, a demanda havia se recuperado para 3,5% acima dos níveis de desse mês em 2019.

Mudança na demanda de eletricidade por setor, em comparação com 2019 - Brasil

Figura 60 – Mudança na demanda de eletricidade por setor, T3 2020 vs. T3 2019

Fonte: Elaborado por EPE, a partir de EPE (2020d)

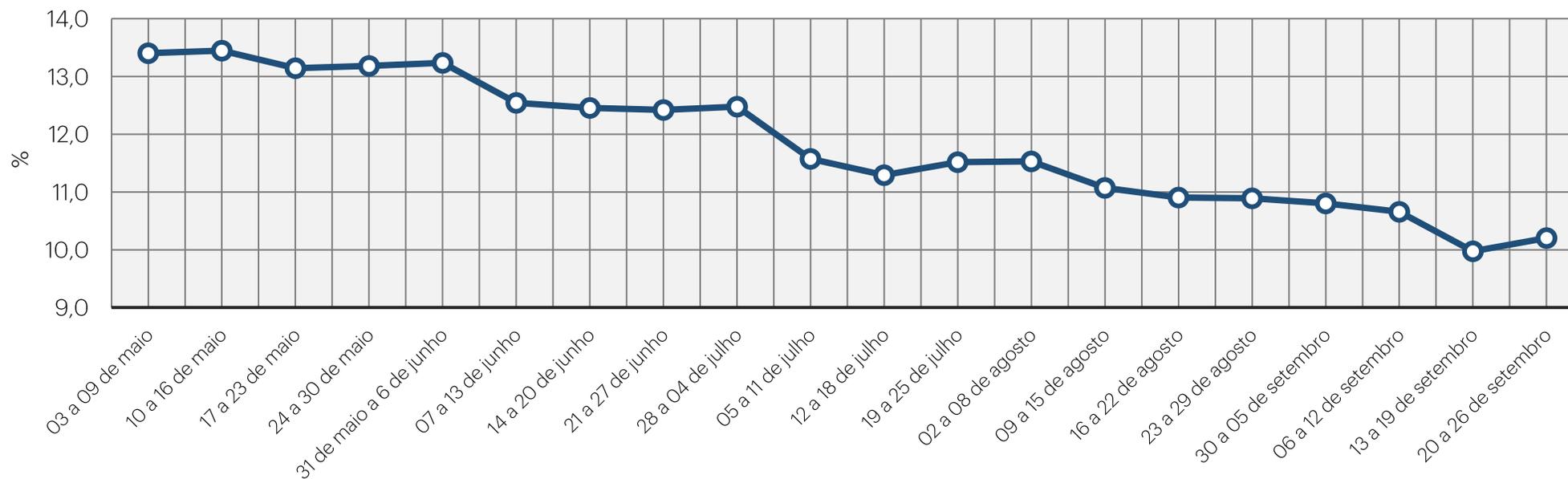


A demanda por eletricidade em vários setores, incluindo o residencial, estava acima dos níveis de 2019. Ao mesmo tempo, vários setores, principalmente o comercial e a fabricação de veículos, permaneceram bem abaixo dos níveis de 2019.

Mudanças no tempo gasto em casa e idas aos locais de trabalho impactaram o consumo de energia

Figura 61 – Percentual de pessoas ocupadas e não afastadas do trabalho, que trabalhavam de forma remota, no total da população ocupada e não afastada do trabalho – Brasil (%)

Fonte: Elaborado pela EPE a partir de dados do IBGE (2020b)^[12]



O tempo adicional gasto em casa indica uma mudança nos perfis de uso de aparelhos e de energia em edifícios residenciais.

^[12] Para maiores informações, acesse: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/investigacoes-experimentais/estatisticas-experimentais/27946-divulgacao-semanal-pnadcovid1>

Mudanças no tempo gasto em casa e idas aos locais de trabalho impactaram o consumo de energia

Figura 62 – Mudança no tempo gasto em casa, 2020 vs. 2019

Fonte: Google (2020a)^[13]

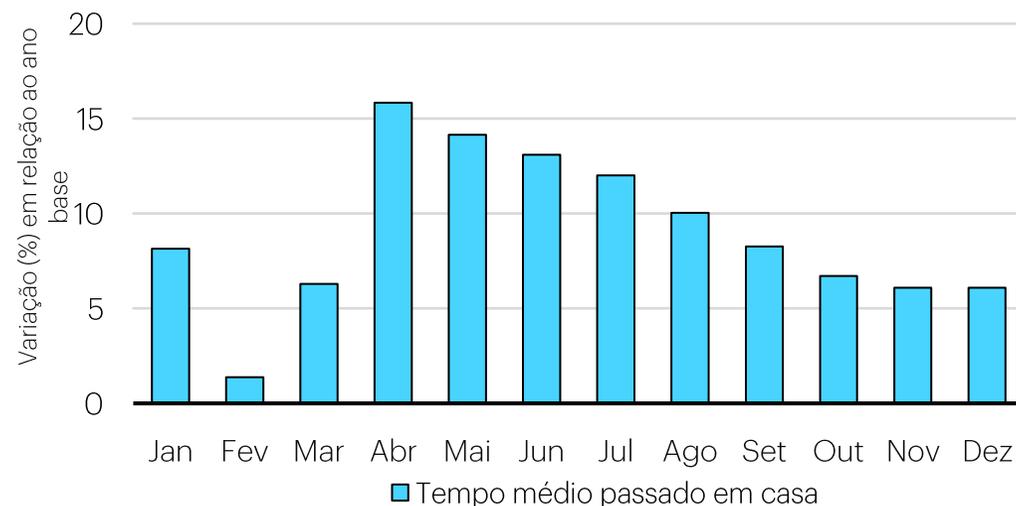
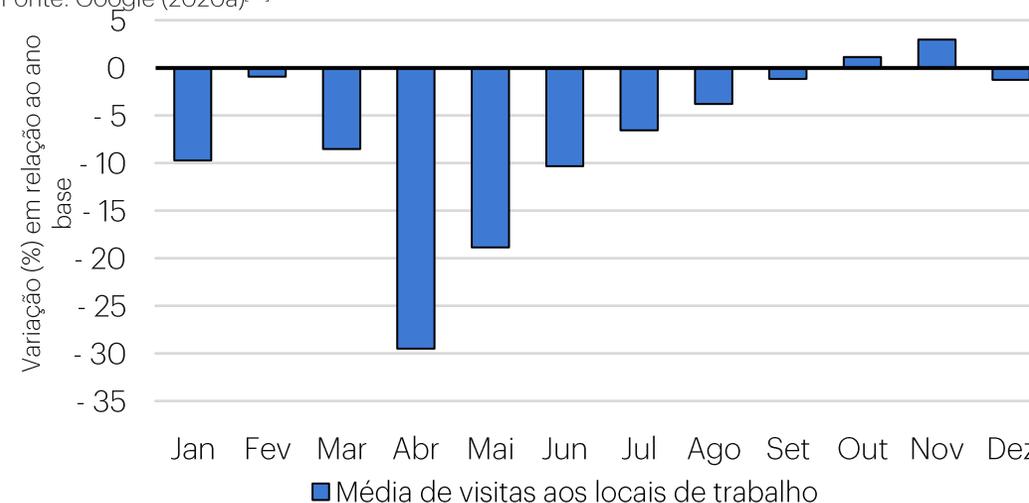


Figura 63 – Média de visitas aos locais de trabalho, 2020 vs. 2019

Fonte: Google (2020a)^[13]



No Brasil, como as visitas aos locais de trabalho estão sendo retomadas, o tempo médio gasto em casa diminuiu, embora tenha permanecido bem acima dos níveis de 2019, até dezembro. Os dados disponíveis sugerem quedas mais acentuadas na média de visitas aos locais de trabalho em abril e maio de 2020. Entretanto, em outubro, a média de visitas aos locais de trabalho havia se recuperado.

^[13] **Google Covid-19 Community Mobility Reports** mostra as tendências de mobilidade por região para diferentes categorias de sites. Para cada categoria em uma região, os relatórios mostram mudanças de duas maneiras diferentes:

- Número principal: compara a mobilidade na data do relatório com o dia de referência. Calculado para a data do relatório (a menos que haja lacunas) e reportado como uma porcentagem positiva ou negativa.
- Gráfico de tendências: mudanças percentuais nas seis semanas anteriores à data do relatório. É exibido como um gráfico.

Informações de identificação pessoal tais como localização, contatos e movimentação de indivíduos nunca são disponibilizadas. Estes relatórios são criados com conjuntos de dados agregados e anônimos de usuários que ativaram a configuração do Histórico de localização, que é desativado por padrão. Para maiores informações, <https://www.google.com/covid19/mobility/>

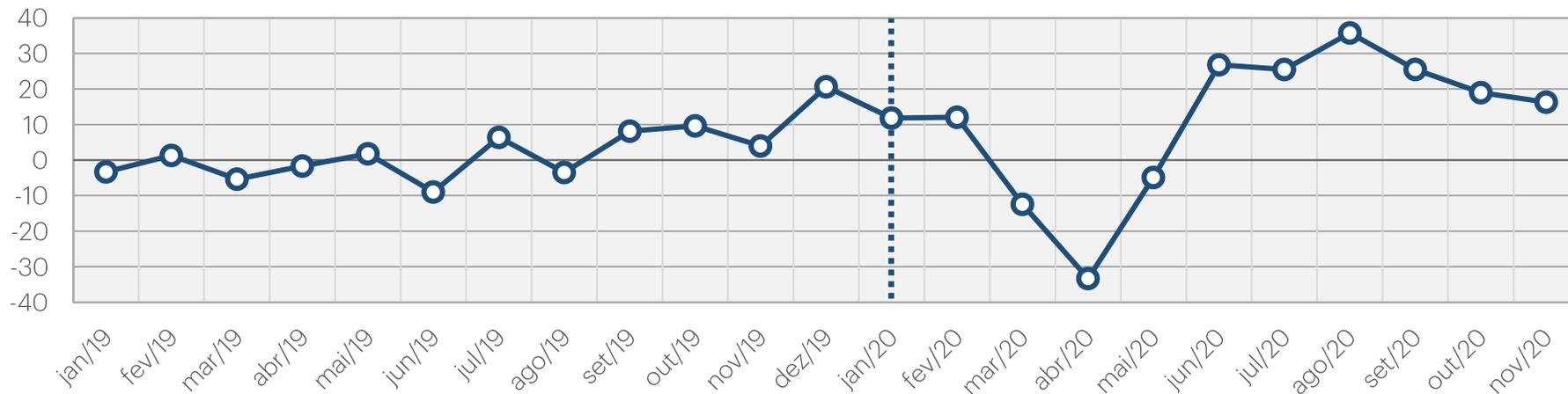
Aumento das vendas de eletrodomésticos

Os dados mostram que houve uma diminuição considerável nas vendas de eletrodomésticos nos primeiros três meses da pandemia (março até maio). A partir de Junho, com menores perspectivas do fim da pandemia, houve uma mudança, refletindo uma tendência de aumento das vendas online de eletrodomésticos, bem como de aumento das suas vendas totais.

A atividade online também aumentou. Os dados da ABINEE^[14] (2020) apoiam ainda mais isto, indicando que as empresas estão vendo um aumento nas compras pela Internet. As vendas online no Brasil de aparelhos e produtos de ar e ventilação cresceram 95,4% no segundo trimestre deste ano em comparação com o mesmo período do ano passado.

Figura 64 – Mudança mensal nas vendas de eletrodomésticos, em comparação com o mesmo mês do ano anterior (%).

Fonte: Elaborado pela EPE a partir de dados do IBGE (2020c)



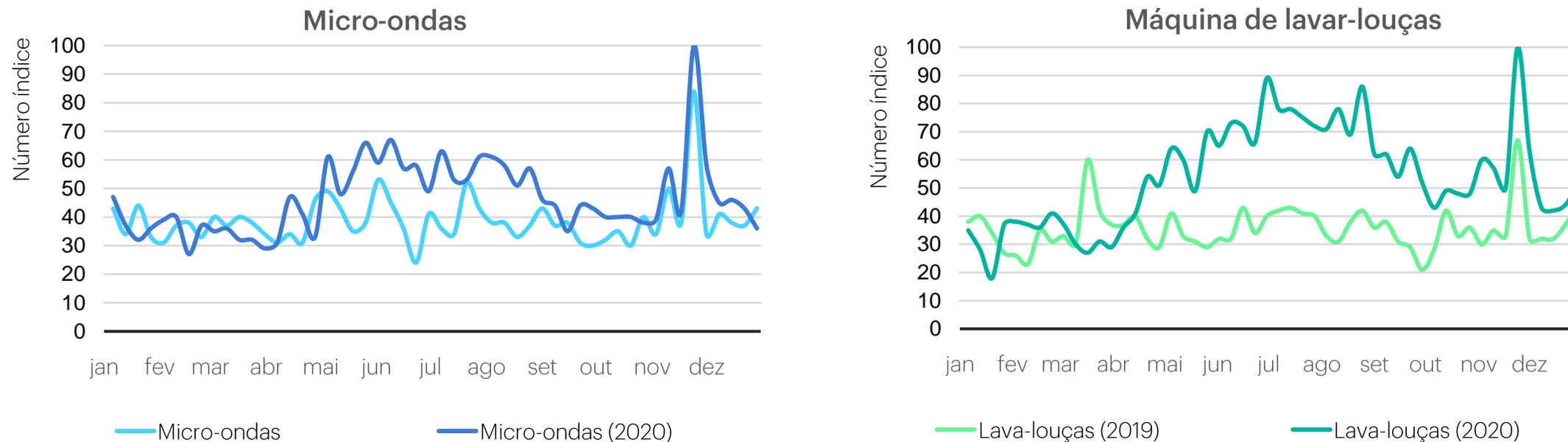
Na medida em que aparelhos mais eficientes estão substituindo modelos mais antigos e menos eficientes, o aumento das vendas pode melhorar a eficiência energética das residências. É importante garantir que as etiquetas sejam claramente visíveis e capazes de orientar as decisões dos clientes. Isto pode exigir uma revisão dos requisitos de normas e etiquetagem para garantir a eficácia das etiquetas.

^[14] Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, maiores detalhes disponíveis em: <http://www.abinee.org.br/noticias/com243.htm>

Aumento das vendas de eletrodomésticos

Figura 65 – Índices semanais de pesquisa de compras on-line para micro-ondas e máquinas de lavar louças, 2019 vs. 2020^[15]

Fonte: Google (2020b)



Os dados disponíveis sobre a compra de aparelhos on-line indicam que as duas classes de aparelhos com a diferença mais notável entre 2019 e 2020 foram as de micro-ondas e as máquinas de lavar louças. Embora estas não sejam as principais fontes de demanda de eletrodomésticos no Brasil, elas podem fornecer um ponto de dados valioso quando combinadas com outras fontes.

^[15] O Google Trends é uma ferramenta do Google que mostra os termos de busca mais populares no passado recente. Ele exibe gráficos tão frequentemente quanto um determinado termo é pesquisado em várias regiões do mundo, e em vários idiomas.

Considerações adicionais: Residências

A crise da Covid-19 trouxe à tona desigualdades em termos de qualidade e salubridade das habitações. É importante observar que, embora o tempo médio permanecido em casa aumenta e algumas compras de eletrodomésticos crescem neste período, há muitos lares que se encontram em dificuldades financeiras. Nesses casos, medidas estabelecidas pela Aneel para proteger as residências contra o desligamento de eletricidade e outras fontes de energia tem sido particularmente importante.

A eficiência energética pode ajudar a diminuir as contas domésticas melhorando a qualidade dos serviços de energia, tais como luz, refrigeração e resfriamento de espaços. Devido ao alto potencial de geração de empregos identificado no Plano de Recuperação Sustentável da Agência Internacional de Energia (IEA's Sustainable Recovery Plan^[16]) (IEA, 2020b), é importante considerar formas de aumentar os programas de eficiência energética para enfrentar o duplo desafio da falta de emprego e da pobreza. Neste sentido, o Brasil está em uma boa posição para aproveitar os programas existentes, dado o progresso feito no âmbito do PEE e do Procel Edifica.

^[16] O Plano de Recuperação Sustentável da IEA é um documento desenvolvido em colaboração com o FMI para identificar as ações que podem ser tomadas nos próximos três anos. Ele se concentra em medidas econômicas que poderiam ser implementadas de 2021 a 2023 em seis setores-chave: eletricidade, transportes, indústria, edificações, combustíveis e tecnologias emergentes de baixo carbono. O plano leva em conta objetivos nacionais e internacionais de crescimento a longo prazo, empregos existentes no futuro e objetivos de desenvolvimento sustentável. O efeito sobre o emprego seria significativo, economizando ou criando aproximadamente 9 milhões de postos de trabalho por ano durante os próximos três anos globalmente. Mais detalhes em: <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery/covid-19-and-energy-setting-the-scene#abstract>

Mudanças na demanda por gasolina e etanol – 2019 vs. 2020

Figura 66 – Demanda de gasolina C (10^3 m^3)

Fonte: Elaborado por EPE

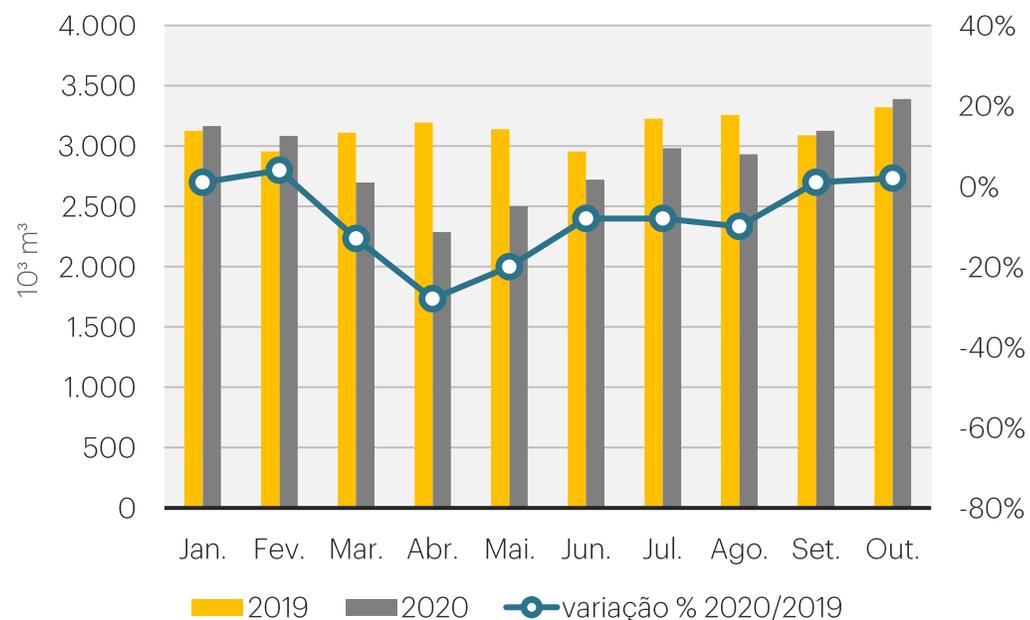
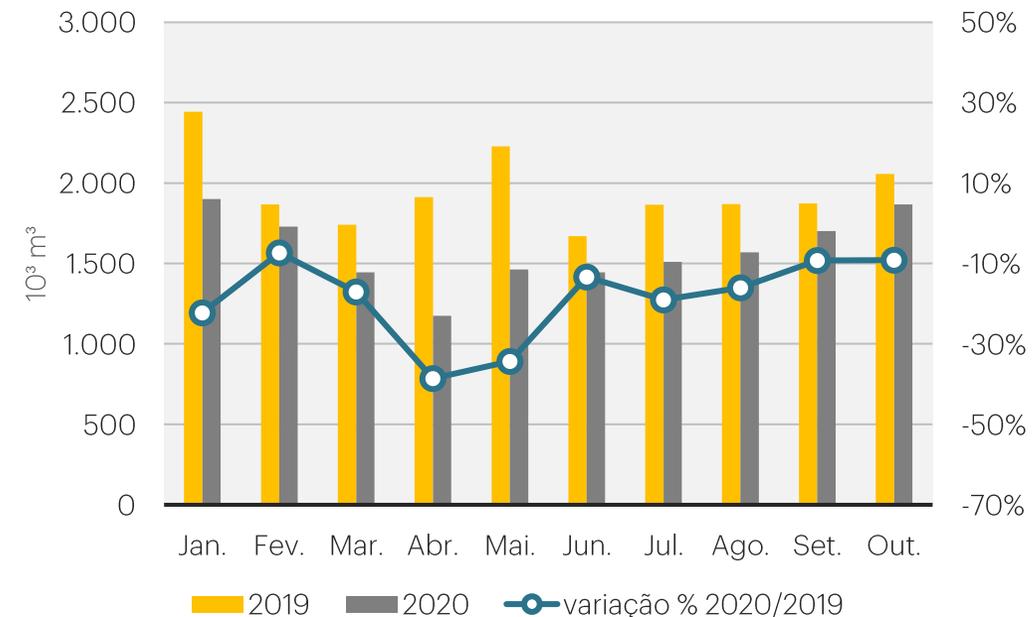


Figura 67 – Demanda de etanol hidratado (10^3 m^3)

Fonte: Elaborado por EPE



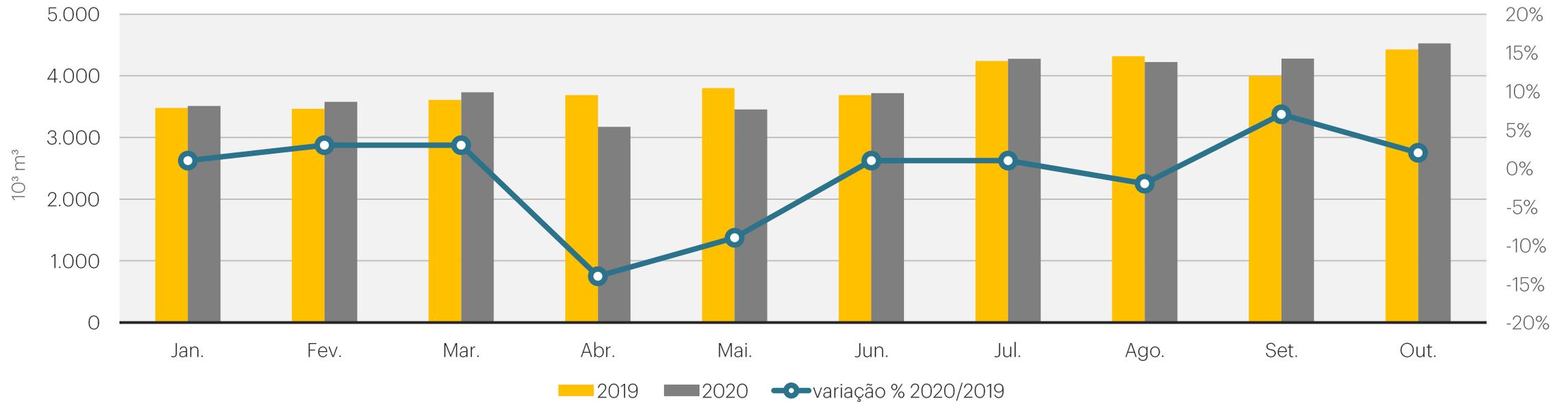
Entre janeiro e outubro, houve uma retração significativa das demandas de gasolina e de etanol no setor de transportes. O mês de abril de 2020 registrou as maiores quedas: 28% e 39%, respectivamente.

A partir de maio, houve algum aumento na demanda por esses combustíveis. A demanda de gasolina se recuperou para os níveis de 2019 em setembro e outubro; entretanto, a demanda de etanol permaneceu mais baixa.

Impacto sobre o óleo diesel – 2019 vs. 2020

Figura 68 – Demanda de óleo diesel no setor de transportes (10^3 m^3)

Fonte: Elaborado por EPE

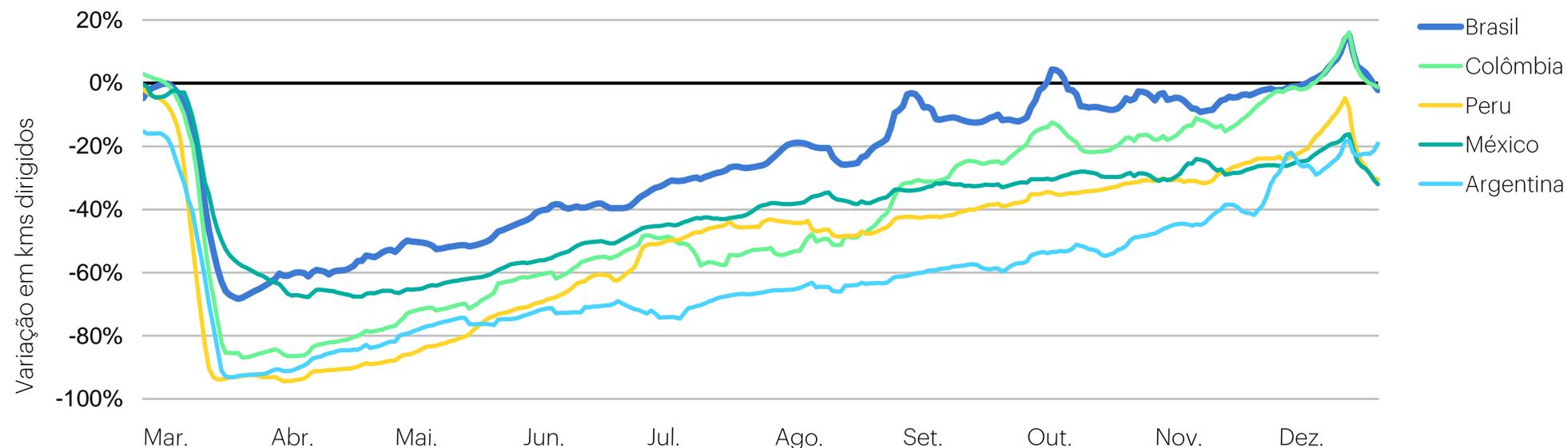


Embora a demanda pelo óleo diesel também tenha diminuído em abril e maio, ela se recuperou mais rapidamente, pois o frete rodoviário foi menos afetado pelas restrições relacionadas à Covid-19 do que o transporte individual.

Os níveis de mobilidade estão baixos, mas não tanto quanto em outros países da região

Figura 69 – Variação percentual em quilômetros dirigidos em países selecionados^[17]

Fonte: WAZE (2020)



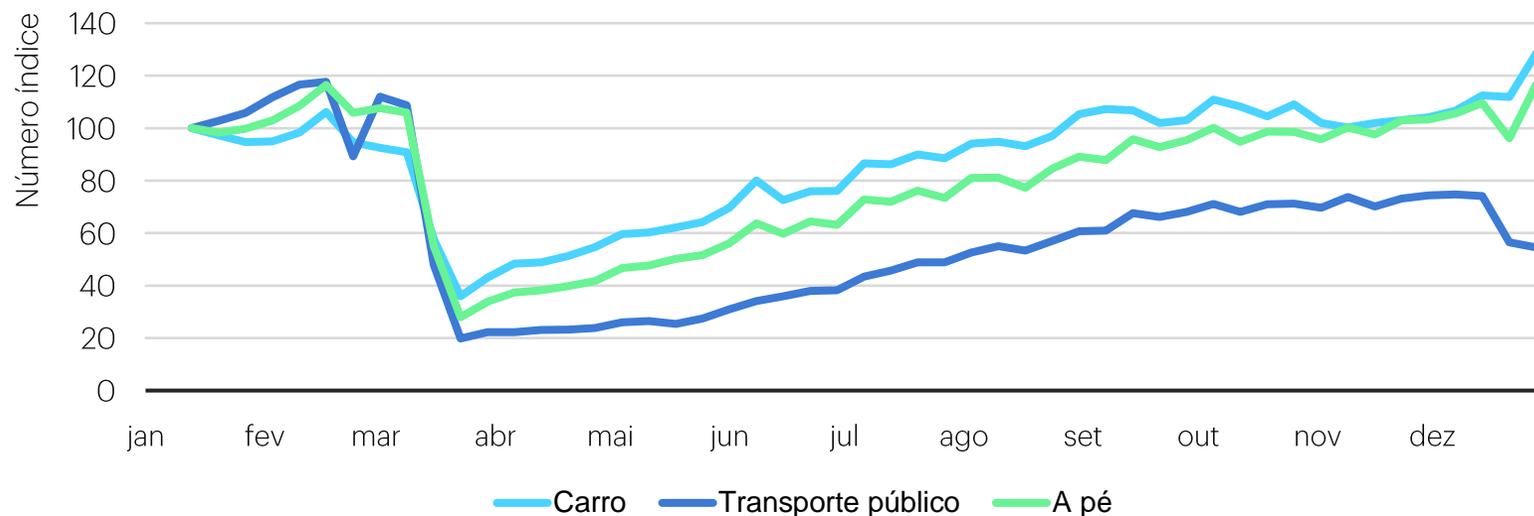
O declínio na demanda de energia de transporte ocorreu devido às políticas de *lockdown* e teletrabalho, que reduziram as distâncias percorridas pelo transporte terrestre e o número de viagens realizadas. Para o transporte rodoviário, o gráfico indica que o declínio da atividade no Brasil tem sido menos intenso do que em outros países da América Latina.

^[17] Os dados de variação percentual de quilômetros rodados compartilhados são agregados, anonimizados e provenientes do app Waze. Esses relatórios mostram o aumento ou a redução dos quilômetros rodados como uma variação percentual comparada a dados de base. As variações por dia são comparadas a valores de base referentes ao mesmo dia da semana. O valor de base é uma média do dia da semana correspondente durante um período de duas semanas (11 a 25 de fevereiro de 2020). Os relatórios mostram tendências de duas semanas considerando os dados mais recentes de aproximadamente dois a três dias anteriores. Como acontece com todas as amostras, isso pode ou não representar o comportamento exato de uma população maior. Para mais informações, visite: <https://www.waze.com/en-GB/covid19>

A atividade de transporte foi parcialmente deslocada para modos menos eficientes

Figura 70 – Índice de mudanças por tipo de viagem ao trabalho no Brasil, Jan-Dez 2020

Fonte: Apple (2020)^[18]



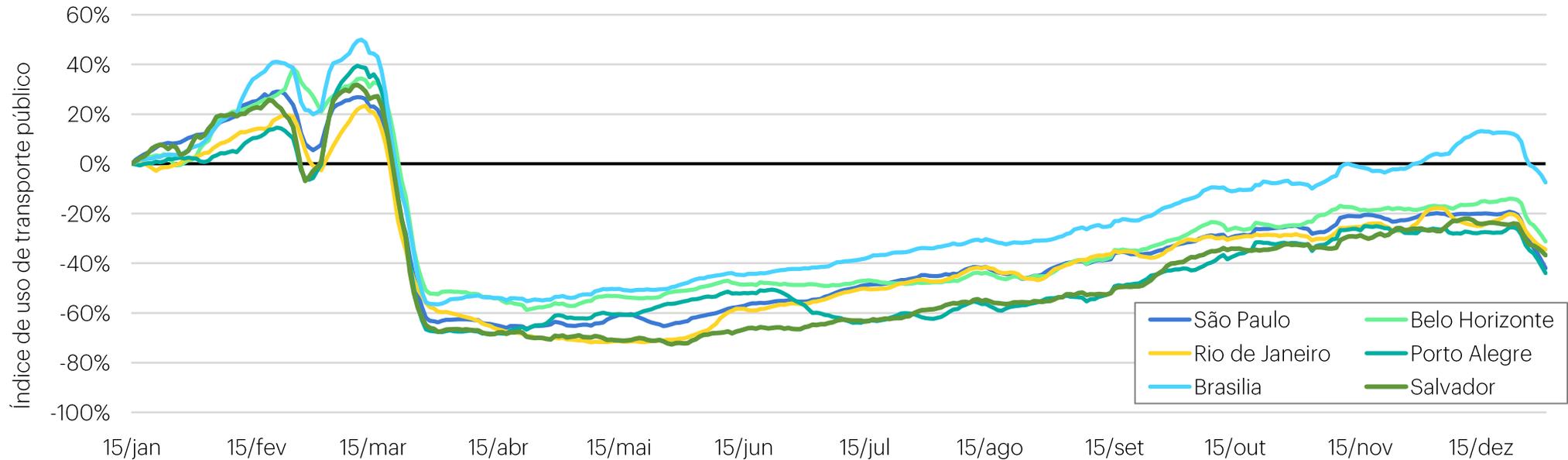
Alguns meios de transporte foram afetados mais significativamente do que outros. As preocupações com a saúde levaram a mudanças do transporte público para outras opções - com níveis de mobilidade para carros particulares e caminhadas se recuperando mais rapidamente do que o transporte público e começando a subir acima dos níveis do ano anterior.

^[18] Os gráficos do site “Apple Mobility Trends Reports” mostram um volume relativo de solicitações de direções por país/região, sub-região ou cidade em comparação a um volume de referência em 13 de janeiro de 2020. Definiu-se o dia de meia-noite à meia-noite, horário do Pacífico. As cidades são definidas como grandes regiões metropolitanas e seus limites geográficos se mantêm constantes no conjunto de dados. Em muitos países/regiões, sub-regiões e cidades, o volume relativo aumentou a partir de 13 de janeiro, consistente com o uso sazonal normal do app Mapas da Apple. Os efeitos dos dias da semana são importantes para normalizar à medida que se usam esses dados. Os dados enviados a partir dos dispositivos dos usuários para o serviço do Mapas estão associados a identificadores aleatórios rotativos, para que a Apple não tenha um perfil de movimentos específicos e buscas. O app Mapas da Apple não possui informações demográficas sobre seus usuários. Portanto, não se pode fazer nenhuma declaração sobre a representatividade de uso em relação à população em geral. Para mais informações, visite: <https://covid19.apple.com/mobility>

Índice de tráfego público, $\Delta\%$ de mudança em relação à semana de 15 de janeiro

Figura 71 – Variação no uso de transporte público em cidades selecionadas

Fonte: Moovit (2020)^[19]



Do ponto de vista regional, houve diferenças no declínio e no nível de recuperação do tráfego público por cidade.

^[19] O Moovit analisou as repercussões do Coronavírus (COVID-19) no transporte público, em relação ao uso típico antes do início do surto. Atualizadas diariamente, as informações do Moovit mostram a porcentagem de demanda alterada do transporte público em todo o mundo. Para mais informações, visite: <https://bit.ly/2Y12m64>

Níveis mais baixos de atividade econômica e mobilidade reduziram as emissões de GEE e melhoraram a qualidade do ar

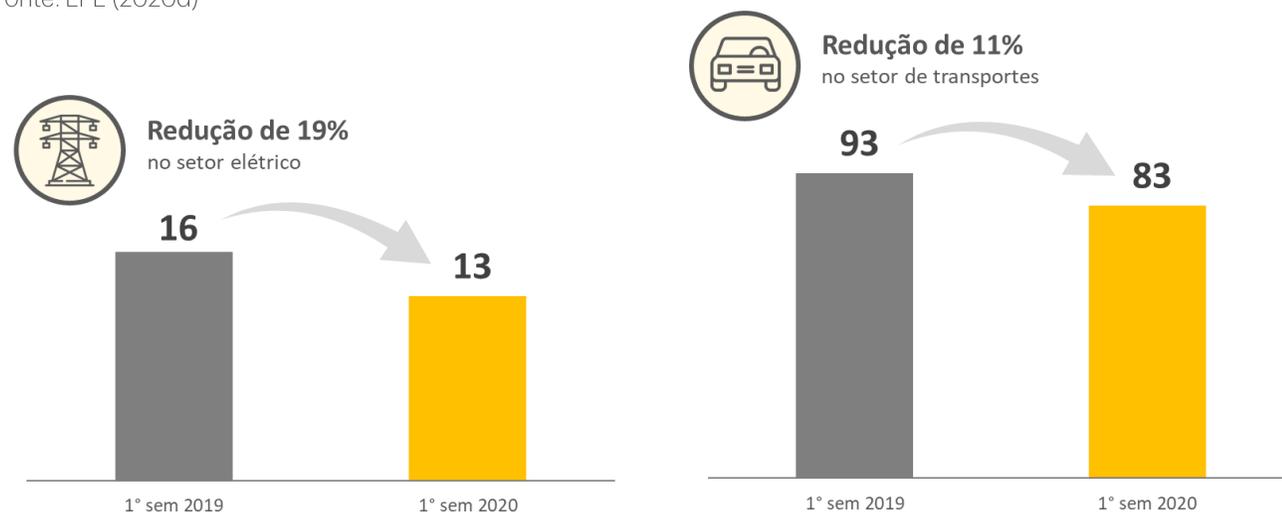
Em grandes cidades como São Paulo e Rio de Janeiro, foram observadas reduções de emissão de NO_x, CO e PM10^[20]. Entretanto, o declínio é temporário e está ligado a restrições sociais (IATA, 2020).

Embora haja incerteza quanto à duração da pandemia, a demanda de energia e as emissões devem se recuperar sem uma rápida transformação estrutural do setor energético, conforme delineado no Cenário de Desenvolvimento Sustentável da Agência Internacional de Energia (IEA's Sustainable Development Scenario)^[21].

Estratégias de planejamento do transporte urbano, tais como a mudança para o transporte a pé, de bicicleta e o transporte público, juntamente com políticas para melhorar a eficiência de combustível e diminuir as emissões dos veículos, serão importantes para melhorar estruturalmente a qualidade do ar e reduzir as emissões de GEE.

Figura 72 – Emissões de CO₂ nos primeiros semestres de 2019 e 2020 (MtCO₂)

Fonte: EPE (2020d)



Durante o primeiro semestre de 2020, o Brasil observou uma diminuição de 19% e 11% nas emissões de GEE provenientes dos setores elétrico e de transportes, respectivamente. Entretanto, estas reduções aconteceram por razões não planejadas e com enormes custos econômicos e sociais.

^[20] Material particulado de diâmetro inferior a 10 micrômetros

^[21] Para a descrição do Cenário de Desenvolvimento Sustentável da IEA, acesse [AQUI](#).

Conclusões do setor de transporte

Em geral, os níveis de mobilidade diminuíram em 2020, sendo o transporte público o meio mais afetado nas cidades brasileiras. Entretanto, o acesso e a demanda por parte da população ao transporte público permanecem importantes (iCS, 2020)^[22]

A ocasional redução da oferta de transporte público representa um problema a curto prazo para a população. Há uma preocupação a longo prazo de que as pessoas com maior renda passem do transporte público para veículos particulares. Isto poderia levar a maiores emissões de poluentes atmosféricos, incluindo o CO₂, além de reduzir a eficiência energética global do setor de transportes.

Várias cidades da América Latina, inclusive no Brasil, estão estudando formas de incentivar meios alternativos de transporte, como a caminhada e a bicicleta, tanto para tratar de preocupações de curto prazo, como a saúde da população, quanto de longo prazo, associadas ao excessivo congestionamento e à poluição.

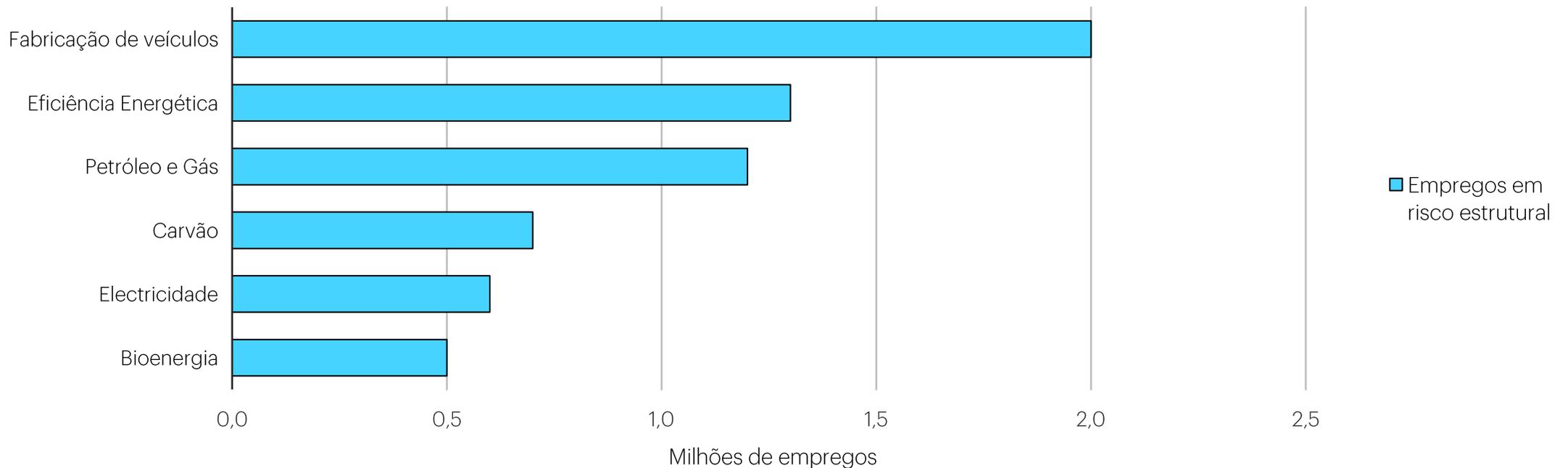
^[22] <https://www.climaesociedade.org/publicacoes?pgid=jjyqp4zj-3a489c81-eb44-4751-8e17-fc5180134c9a>

Os empregos com maior risco pós-Covid-19 no mundo

As definições de empregos de eficiência energética diferem entre países e regiões. Por exemplo, a China só conta os empregos em empresas de serviços de energia. A Europa conta os empregos no setor de edificações. Os EUA contam os empregos envolvidos tanto na produção e instalação de produtos de economia de energia quanto na prestação de serviços que reduzem o uso final de energia. Por exemplo, a fabricação de produtos com o selo ENERGY STAR, assim como o projeto de edificações e a contratação de serviços que fornecem isolamento e melhoram a iluminação natural estão incluídos nas estatísticas nacionais de empregos em eficiência energética.

Figura 73 – Empregos em risco estrutural

Fonte: IEA (2020b)



Estímulo ao investimento em tecnologia no Brasil

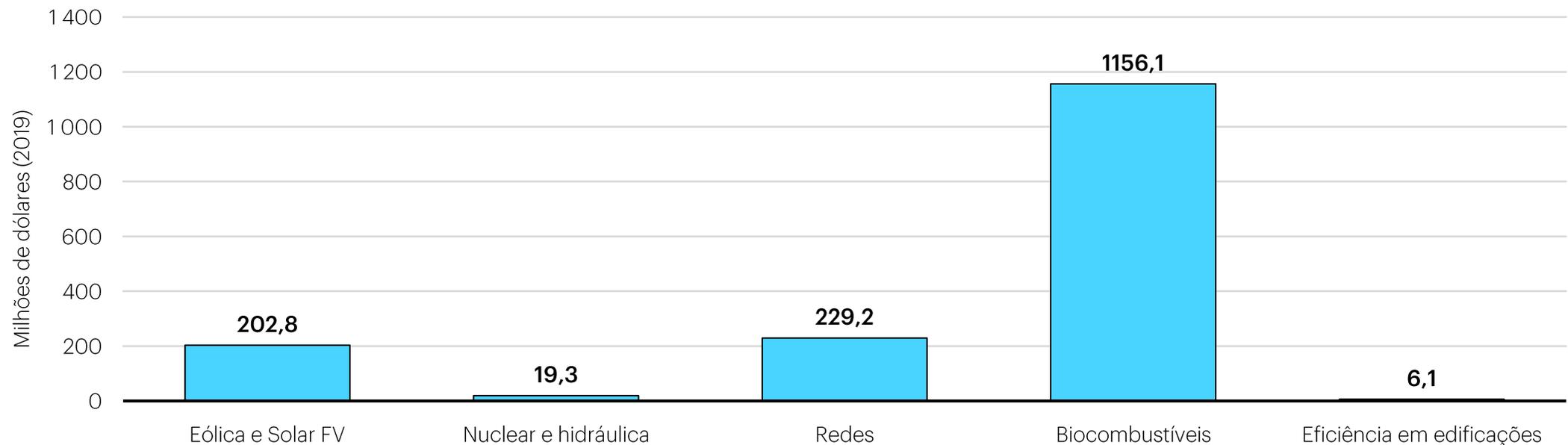
No Brasil, foram incluídos estímulos a investimentos em energia limpa. Os biocombustíveis constituem a maior parcela, seguidos pelos investimentos em redes e fontes eólica e solar fotovoltaica.

O investimento em eficiência das edificações tem sido baixo, apesar de ter um potencial de criação de empregos e de transição energética similar aos investimentos em biocombustíveis e em energia solar fotovoltaica.

Os investimentos em eficiência energética nas edificações e em outras áreas podem ser alavancados rapidamente a partir de programas existentes, como Procel Edifica e o PEE.

Figura 74 – Estímulo à energia limpa no Brasil

Fonte: IEA (2020c)^[23]



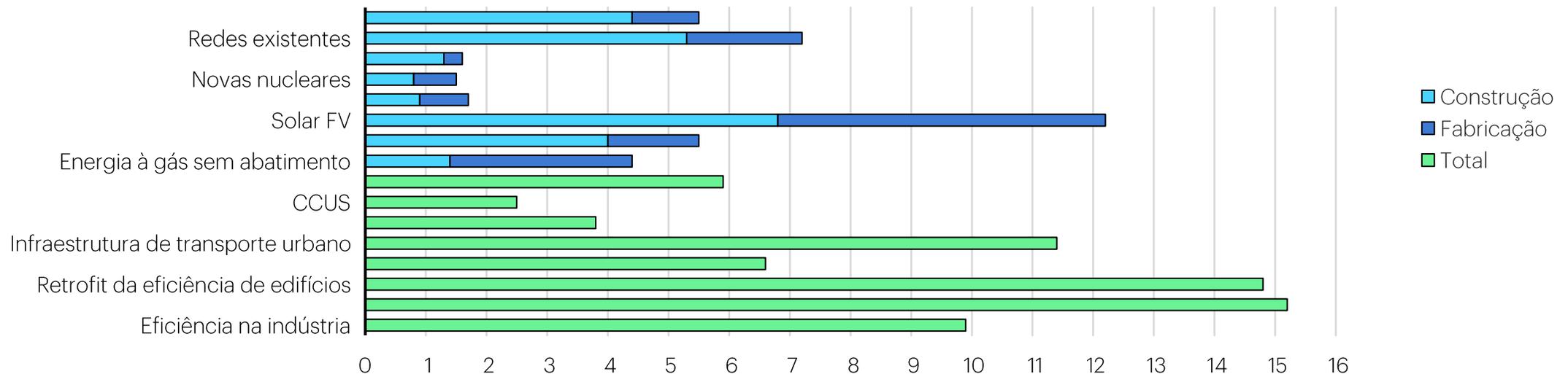
^[23] Maiores detalhes em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>

O estímulo à eficiência tem um alto potencial para criar empregos no mundo

Investimentos em retrofits de edificações, novas construções eficientes, energia solar fotovoltaica e infraestrutura de transporte urbano encabeçam a lista de itens com o maior potencial de criação de empregos.

Figura 75 – Criação de empregos nos setores de construção civil e industrial por cada 1 milhão de dólares de investimento de capital, de acordo com o Plano de Recuperação Sustentável (IEA)

Fonte: IEA (2020b)



Embora a Figura 75 mostre uma estimativa média do potencial de empregos nestes setores, a análise da IEA mostra que, nas economias emergentes, os benefícios dos empregos podem ser muito maiores. Por exemplo, estima-se que os retrofits de construção criem entre 21 e 31 empregos por 1 milhão de dólares investidos, o que é semelhante ao número de empregos que se estima que o setor de biocombustíveis gere nas economias.

Perspectiva global sobre eficiência energética e empregos

- Os pacotes de estímulo oferecem oportunidades para alinhar a recuperação econômica e social com uma estratégia energética sustentável
- Segundo o Plano de Recuperação Sustentável da IEA, as maiores quantidades de novos empregos seriam no retrofit de edificações e em outras medidas para melhorar suas eficiências energéticas; e no setor elétrico, particularmente em redes e energias renováveis.
- No Brasil, os investimentos em eficiência energética podem ser vetores poderosos para criação de empregos, dado o potencial de eficiência energética identificado.
- Apenas 0,02% do estímulo à eficiência energética mundial foi alocado na América Latina (IEA, 2020c)^[25]. Há uma oportunidade de reforçar o estímulo à eficiência energética a partir de pacotes existentes, tirando lições da própria experiência brasileira com programas de eficiência energética bem-sucedidos e da experiência internacional na concepção e implementação de pacotes de estímulo.
- O fortalecimento da coleta de dados para rastrear empregos em eficiência energética é um passo adicional importante para garantir que esses empregos sejam reconhecidos e possam ser rastreados dentro de uma economia mais ampla.
- Da mesma forma, o rastreamento de outros benefícios da eficiência energética, tais como melhorias na qualidade do ar (interior e exterior) e na saúde pública, pode ajudar ainda mais a desenvolver programas de eficiência energética para apoiar importantes objetivos de saúde pública e ambientais.

^[24] Participação da América Latina no anúncio de financiamento público ao estímulo à eficiência energética em relação ao mundo, até o final de outubro de 2020. IEA, Eficiência Energética 2020. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>

Fontes de análise adicionais sobre os impactos da Covid-19

- Para todas as análises da IEA sobre o impacto da Covid-19 no setor energético, ver: <https://www.iea.org/analysis/all?topic=covid-19>.
- IEA, **Promoting vehicle efficiency and electrification through stimulus packages**, 2020.
<https://www.iea.org/articles/promoting-vehicle-efficiency-and-electrification-through-stimulus-packages>
- IEA, **Paving the way to recovery with utility-funded energy efficiency**, 2020.
<https://www.iea.org/articles/paving-the-way-to-recovery-with-utility-funded-energy-efficiency>
- IEA, **How appliances have supported a world in lockdown and what this means for energy efficiency**, 2020.
<https://www.iea.org/commentaries/how-appliances-have-supported-a-world-in-lockdown-and-what-this-means-for-energy-efficiency>
- IEA, **Energy efficiency can boost economies quickly**, with long-lasting benefits, 2020.
<https://www.iea.org/commentaries/energy-efficiency-can-boost-economies-quickly-with-long-lasting-benefits>
- Webinar series: **Energy efficiency in a time of Covid-19 for Latin America**, 2020.
<https://www.iea.org/events/energy-efficiency-in-the-time-of-covid-19-highlights-from-energy-efficiency-2020>
- EPE, **Balanco Covid-19 – Impactos nos mercados de energia no Brasil: 1º semestre de 2020**
<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-covid-19-impactos-nos-mercados-de-energia-no-brasil-1-semester-de-2020>
- EPE, **Impactos da pandemia de Covid-19 no mercado brasileiro de combustíveis**
<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/impactos-da-pandemia-de-covid-19-no-mercado-brasileiro-de-combustiveis>

Referências bibliográficas

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Fábricas de eletrodomésticos e eletrônicos criam lojas virtuais. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/noticias/com243.htm>. Acessado em novembro de 2020. ABINEE, 2020.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220/2005. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/>. Acessado em outubro de 2020.

_____. NBR 15575/2013. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/>. Acessado em outubro de 2020.

_____. NBR 16697/2018. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/>. Acessado em outubro de 2020.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Programa de Eficiência Energética (PEE). Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>. Acessado em novembro de 2020.

_____. Resolução normativa Nº 414/2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>. Acessado em novembro de 2020.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 22, de 1.8.2005. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2005/agosto&item=ranp-22--2005>. Acessado em outubro de 2020.

Apple. Mobility Trends Reports. Disponível em: <https://covid19.apple.com/mobility>. Acessado em dezembro de 2020. Apple, 2020.

Brasil. Lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 24 de julho de 2000.

_____. Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 17 de outubro de 2001.

_____. Lei nº 13.280 de 03 de maio de 2016. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética. Diário Oficial da União. Brasília, 03 de maio de 2016.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente e MMA - Ministério do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA/MMA Nº 499, DE 6 DE OUTUBRO DE 2020. Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-conama/mma-n-499-de-6-de-outubro-de-2020-281790575>. Acessado em janeiro de 2021.

CSI. Cement Sustainability Initiative. Getting the Numbers Right Emissions Report 2018 (2019). Disponível em: <https://gccassociation.org/sustainability-innovation/gnr-gcca-in-numbers/>. Acessado em 13 de janeiro de 2021. CSI, 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acessado em outubro de 2020. EPE, 2020a.

_____. Balanço Energético Nacional 2020, ano base 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acessado em novembro de 2020. EPE, 2020b.

_____. Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2019 – Relatório de Indicadores. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2019>. Acessado em janeiro de 2021. EPE, 2020c.

_____. Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acessado em janeiro de 2021. EPE, 2020d.

_____. Balanço Covid-19 - Impactos nos mercados de energia no Brasil: 1º semestre de 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-covid-19-impactos-nos-mercados-de-energia-no-brasil-1-semester-de-2020>. Acessado em novembro de 2020. EPE, 2020e.

FGV [Fundação Getúlio Vargas]. IIE-Br – Indicador de Incerteza da Economia. Disponível em: https://portalibre.fgv.br/sites/default/files/2020-09/indicador_de_incerteza_brasil_fgv_press-release_set20_0.pdf. Acessado em janeiro de 2021. FGV, 2020.

GCCA. Global Cement and Concrete Association. Cement Statistics and Information Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/cement-statistics-and-information>. Acessado em 13 de janeiro de 2021.

Google. COVID-19: Relatório de Mobilidade da comunidade. Disponível em: <https://www.google.com/covid19/mobility/>. Acessado em dezembro de 2020. Google, 2020a.

_____. Google Trends. Disponível em: <https://trends.google.com.br/trends/?geo=BR>. Acessado em dezembro de 2020. Google, 2020b.

IATA - International Air Transport Association. COVID-19 Global and Regional Impact – Latest Economic Analysis. Disponível em : <https://www.iata.org/contentassets/cb691a38573642d0bbfd2ba380eaf04e/no2-americas-focus-october-2020.pdf>. Acessado em dezembro de 2020. IATA,2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Séries Estatísticas. Disponível em: <https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=ST46>. Acessado em dezembro de 2020. IBGE, 2020a.

_____. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD COVID19. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/investigacoes-experimentais/estatisticas-experimentais/27946-divulgacao-semanal-pnadcovid1>. Acessado em janeiro de 2021. IBGE, 2020b.

_____. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pmc/brasil>. Acessado em janeiro de 2021. IBGE, 2020c.

iCS – Instituto Clima e Sociedade. Mobilidade de Baixas Emissões, Qualidade do Ar e Transição Energética no Brasil. Disponível em: <https://www.climaesociedade.org/publicacoes?pgid=jyq4zj-3a489c81-eb44-4751-8e17-fc5180134c9a>. Acessado em dezembro de 2020. iCS, 2020.

IEA – International Energy Agency. Energy Technology Perspectives 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>. Acessado em janeiro de 2021. IEA, 2020a.

_____. Sustainable Recovery. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>. Acessado em janeiro de 2021. IEA, 2020b.

_____. Energy Efficiency 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>. Acessado em janeiro de 2021. IEA, 2020c.

IEA e CSI. Technology Roadmap, Low-Carbon Transition in the Cement Industry. Disponível em <https://webstore.iea.org/download/direct/1008>. Acessado em janeiro de 2021. IEA e CSI, 2018.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Disponível em: <https://www2.inmetro.gov.br/pbe/>. Acessado em outubro de 2020.

_____. Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para o nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>. Acessado em outubro de 2020.

Lawrence Berkley National Laboratories (LBNL), Lynn Price et al. China's Top-1000 Energy-Consuming Enterprises Program: Reducing Energy Consumption of the 1000 Largest Industrial Enterprises in China. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/935322..> Acessado em janeiro de 2021. LBNL, 2008.

LCTPi – Low Carbon Technology Partnerships Initiative. Cement. Disponível em: <https://docs.wbcsd.org/2015/11/LCTPi-Cement-Report.pdf>. Acessado em janeiro de 2021. LCTPi, 2015.

Moovit. Moovit Global Public Transport Report 2020. Disponível em : https://moovitapp.com/insights/en/Moovit_Insights_Public_Transit_Index-countries. Acessado em dezembro de 2020. Moovit, 2020.

MPOG - Ministério Do Planejamento, Orçamento e Gestão. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, DE 4 DE JUNHO DE 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Diário Oficial da União. Brasília, 4 de junho de 2014.

NASEO and EFI. 2020 U.S. Energy & Employment Report. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/5a98cf80ec4eb7c5cd928c61/t/5ee78423c6fcc20e01b83896/1592230956175/USEER+2020+0615.pdf> . Acessado em janeiro de 2021. NASEO and EFI, 2020.

PROCEL - Selo Procel de Economia de energia. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632%7D>. Acessado em novembro de 2020. PROCEL, 2020.

PROCEL EDIFICA – Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>. Acessado em novembro de 2020.

PROCEL RELUZ – Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6C524BD8642240ECAD7DEF8CD7A8COD9PTBRIE.htm>. Acessado em novembro de 2020.

PROCEL SANEAR – Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6D82CF76DD284E7B8A607F31CB419A79PTBRIE.htm>. Acessado em novembro de 2020.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Roadmap Tecnológico do Cimento. Disponível em: https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Roadmap_Tecnologico_Cimento_Brasil_Book-1.pdf. Acessado em janeiro de 2021. SNIC, 2019a.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Relatório Anual 2019. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf. Acessado em dezembro de 2020. SNIC, 2019b.

Universidade de Oxford. Coronavirus Government Response Tracker. Disponível em: <https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/coronavirus-government-response-tracker>. Acessado em dezembro de 2020. Universidade de Oxford, 2020.

USGS. United States Geological Survey. Cement Statistics and Information. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/cement-statistics-and-information>. Acessado em 13 de janeiro de 2021.

Waze. COVID-19 Impact Dashboard. Disponível em: <https://www.waze.com/en-GB/covid19>. Acessado em dezembro de 2020. Waze, 2020.