

PANORAMAS  
SETORIAIS

*Mudanças climáticas*



BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO  
ECONÔMICO E SOCIAL

PRESIDENTE  
Luciano Coutinho

VICE-PRESIDENTE  
Wagner Bittencourt de Oliveira

# PANORAMAS SETORIAIS

Mudanças climáticas



EDITADO PELA GERÊNCIA DE  
EDITORAÇÃO DO BNDES

COORDENAÇÃO EDITORIAL  
Alice Assumpção

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO  
Refinaria Design

COPIDESQUE E PADRONIZAÇÃO  
Alice Assumpção  
Leonardo Fernandes Souto

IMPRESSÃO  
Gráfica Stamppa

Os artigos assinados são de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do BNDES. É permitida a reprodução parcial ou total dos artigos desta publicação, desde que citada a fonte.

O conteúdo desta publicação pode ser acessado na Biblioteca Digital do BNDES, em [www.bndes.gov.br/bibliotecadigital](http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital).

Avenida República do Chile, 100/19º andar,  
20031-917, Rio de Janeiro - RJ  
Tel.: (21) 2172-7994  
[www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br)  
Para assinar gratuitamente esta publicação,  
envie *e-mail* para: [gedit@bndes.gov.br](mailto:gedit@bndes.gov.br)

# SUMÁRIO

## PANORAMAS SETORIAIS

### Mudanças climáticas

APRESENTAÇÃO .....	5
BANCOS DE DESENVOLVIMENTO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	9
AUTOMOTIVO .....	19
CIMENTO.....	31
MINERAÇÃO .....	39
PAPEL E CELULOSE .....	47
QUÍMICA .....	55
SIDERURGIA.....	63



PANORAMAS SETORIAIS  
Mudanças climáticas

APRESENTAÇÃO

O tema das mudanças climáticas tem recebido atenção crescente da sociedade, o que tem se traduzido na adoção de políticas com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ainda no final de 2009, o governo brasileiro assumiu, na 15ª Conferência das Partes (COP-15), em Copenhague, na Dinamarca, um compromisso voluntário de redução da emissão de gases de efeito estufa de 36,1% a 38,9% em relação à sua projeção para 2020. Esse compromisso foi consolidado pela Lei 12.187, de dezembro de 2009, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), regulamentada pelo Decreto 7.390, de dezembro de 2010, o qual definiu medidas para que a diminuição desejada fosse alcançada.

As medidas priorizadas foram a redução dos índices de desmatamento, o aumento da oferta de energia proveniente de fontes renováveis e da eficiência energética, a expansão de plantio de florestas, a ampliação da produção siderúrgica a partir de carvão vegetal, bem como medidas de mitigação aplicadas à agricultura. Além disso, havia a previsão de elaboração de planos setoriais que definiriam medidas adicionais para redução das emissões.

Nessa linha, foi elaborado o Plano Indústria (BRASIL, 2013), que estabeleceu para o setor industrial um objetivo de redução de emissões da ordem de 5% em 2020 em relação ao cenário base (*business as usual* – BAU). O BAU foi estimado aplicando-se uma taxa de crescimento de 5% ao ano ao valor das emissões do setor industrial em 2005, considerando tanto aquelas resultantes dos processos industriais quanto as referentes ao consumo de energia. Em 2005, as emissões advindas do uso de energia responderam por 50,5% das emissões totais da indústria, enquanto 49,5% decorreram dos processos industriais propriamente ditos. A meta assim estabelecida foi de 308 MtCO<sub>2</sub>eq para 2020. O objetivo dessa meta de redução de emissões é garantir que a indústria nacional apresente intensidade carbônica inferior à média observada no resto do mundo, mas que haja espaço para o crescimento da produção.

Em setembro de 2015, o Brasil anunciou, na Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, sua pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada, comprometendo-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% em 2025 e em 43% em 2030, em relação aos níveis de 2005, em termos absolutos. Para isso, as medidas anunciadas concentram-se nos setores de energia, de uso da terra e de agropecuária. Será necessário acabar com o desmatamento ilegal, restaurar florestas, recuperar pastagens degradadas, promover integração floresta-pecuária-lavoura, garantir 45% de fontes renováveis na matriz energética e aumentar a eficiência energética.

A ampliação do uso de fontes renováveis, assim como a eficiência energética da indústria, são necessárias para a consecução das metas de emissões. As emissões de gases de efeito estufa são especialmente relevantes para alguns segmentos industriais,

seja pelo volume gerado no processo ou pelo elevado consumo de insumos energéticos. Nesta edição do *Panoramas Setoriais*, voltada para a questão das mudanças climáticas, foram elaborados textos para os setores automotivo, de cimento, de mineração, de papel e celulose, de química e de siderurgia, com o objetivo de apresentar uma visão sintética sobre a situação de cada um desses segmentos no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa. Além disso, esta publicação inclui também uma reflexão sobre a importância dos bancos de desenvolvimento para o enfrentamento das mudanças climáticas.

## Referências

BRASIL. *Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010*. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm)>. Acesso em: 14 out. 2015.

\_\_\_\_\_. *Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009*. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm)>. Acesso em: 14 out. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. *Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixo Carbono na Indústria de Transformação*. Brasília, 2013.



PANORAMAS SETORIAIS  
Mudanças climáticas

# BANCOS DE DESENVOLVIMENTO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Luiza Curado  
Guilherme Martins\*

\* Respectivamente, economista e gerente do Departamento de Meio Ambiente da Área de Meio Ambiente do BNDES.

## Introdução

O enfrentamento das mudanças climáticas requer um esforço mundial conjunto, e seus desafios vão muito além das discussões políticas em torno das negociações, incluindo, entre outros, o financiamento dos projetos ao redor do mundo e, em especial, nos países em desenvolvimento.

Os bancos de desenvolvimento (BD), haja vista sua histórica participação em projetos de elevado risco e vulto e seu fundamental apoio ao desenvolvimento de projetos e setores não atendidos pelo financiamento privado, vêm desempenhando um importante papel em canalizar e alavancar recursos climáticos.

A despeito do montante já investido, há ainda uma enorme demanda adicional por investimentos que também não conseguirá ser suprida exclusivamente pelo setor privado, deixando uma importante lacuna a ser atendida pelo setor público. Os BDs, nesse contexto, apresentam-se como peças chave no futuro do financiamento climático, considerando suas qualificações – conhecem a demanda da sociedade e são uma interface entre o governo e o setor privado, sendo capazes de coordenar, junto com os governos locais, os instrumentos para superar barreiras à presença dos agentes privados.

Nesse cenário, o presente artigo tem como objetivo avaliar o atual papel dos bancos de desenvolvimento no auxílio ao financiamento climático e suas perspectivas de atuação.

## O papel dos bancos de desenvolvimento no financiamento climático

Os bancos de desenvolvimento e demais instituições financeiras públicas de desenvolvimento são importantes instrumentos para financiamento de longo prazo da economia. Ademais, como apontam Além e Madeira (2015, p. 11), a existência dessas instituições justifica-se pela demanda por financiamento a setores e projetos “que inspiram alta incerteza quanto a seu sucesso futuro e, por isso, são preteridos pelo sistema financeiro privado em detrimento de setores e projetos de investimentos cujos resultados esperados sejam menos incertos”.

Historicamente, essas instituições vêm se destacando, sobretudo nos mercados emergentes, como os principais apoiadores de projetos de elevado vulto, de grandes riscos ou de prazo mais longo, operando coordenadamente com o setor privado e com os governos locais e auxiliando o desenvolvimento dos países. Nesse sentido, os bancos de desenvolvimento têm papel fundamental para canalizar e alavancar recursos para os investimentos voltados ao enfrentamento das mudanças climáticas.

De fato, ao considerarmos uma amostra de vinte BDs formadores do International Development Finance Club (IDFC), o volume de recursos direcionados a investimentos verdes em 2013 foi de US\$ 99 bilhões, sendo grande parte (US\$ 87 bilhões) voltada às mudanças climáticas (IDFC, 2014).<sup>1</sup> Para efeito de comparação, sete dos principais bancos multilaterais,<sup>2</sup> em conjunto, destinaram cerca de US\$ 24 bilhões a mudanças climáticas no mesmo ano (WORLD BANK, 2015) e as nações desenvolvidas comprometeram-se a um aporte anual de US\$ 100 bilhões a partir de 2020 em financiamento climático destinado aos países em desenvolvimento.<sup>3</sup> Ainda, segundo dados compilados pelo Climate Policy Initiative (CPI), em 2013, o fluxo financeiro mundial para as mudanças climáticas atingiu US\$ 331 bilhões (BUCHNER *et al.*, 2014).

O Gráfico 1, a seguir, apresenta os financiamentos verdes realizados pelos membros do IDFC em 2012 e 2013, segmentados por categoria de financiamento, enquanto o Gráfico 2 traz maior detalhamento acerca dos financiamentos a energia limpa e a mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 2013.

Entre os instrumentos para financiamento climático, o CPI encontrou como de maior relevância: (i) instrumentos financeiros com condições de mercado; (ii) financiamentos reembolsáveis com condições diferenciadas; e (iii) financiamentos não reembolsáveis/doações. O estudo aponta que 74% do fluxo de recursos climáticos se referia ao primeiro tipo, demonstrando o caráter comercial dos projetos (BUCHNER *et al.*, 2014).

Considerando apenas os BDs, os resultados diferem significativamente, uma vez que são eles os principais provedores de financiamentos com condições diferenciadas. Os dados demonstram que 78% de seus financiamentos verdes foram realizados com essa condições, conforme Gráfico 3 (IDFC, 2014).<sup>4</sup>

---

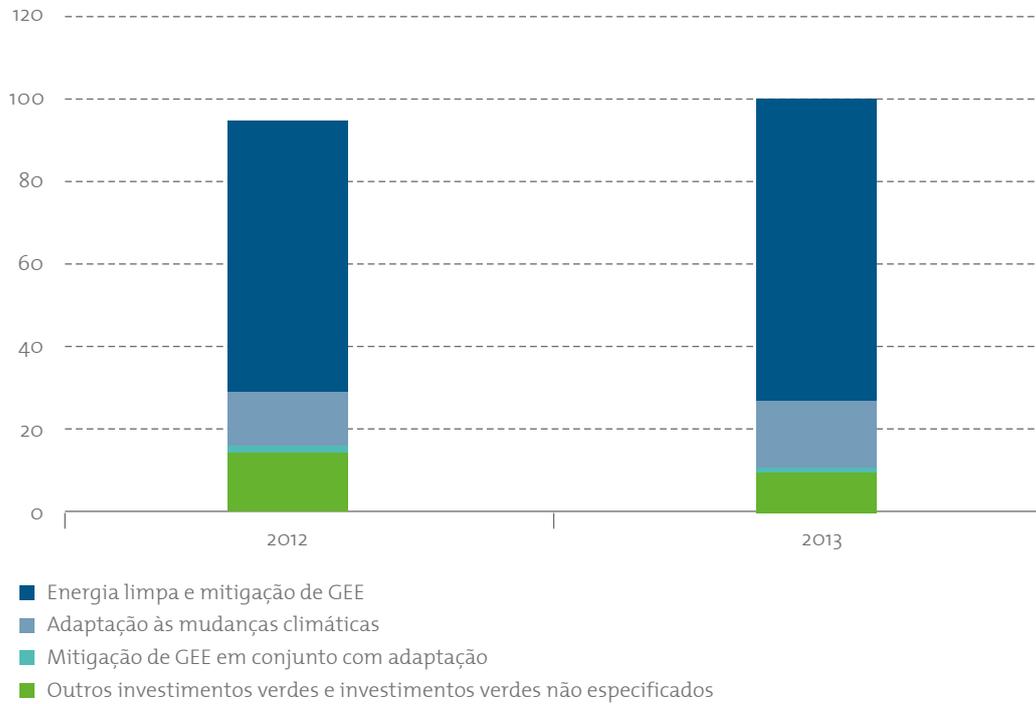
<sup>1</sup> São respondentes do relatório os seguintes membros do IDFC: (i) Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Brasil; (ii) KfW Bankengruppe (KfW), Alemanha; (iii) China Development Bank (CDB), China; (iv) Agence Française de Développement (AFD), França; (v) Development Bank of Southern Africa (DBSA), África do Sul; (vi) Nacional Financiera (Nafin), México; (vii) Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), com sede na Venezuela; (viii) Black Sea Trade and Development Bank (BSTDB), com sede na Grécia; (ix) Croatian Bank for Reconstruction and Development (HBOR), Croácia; (x) Industrial Development Bank of Turkey (TSKB), Turquia; (xi) Vnesheconombank (VEB), Rússia; (xii) Small Industries Development Bank of India (SIDBI), Índia; (xiii) Indonesia Eximbank (IEB), Indonésia; (xiv) Korea Finance Corporation (KoFC), Coreia do Sul; (xv) Japan International Cooperation Agency (JICA), Japão; (xvi) Central American Bank for Economic Integration (CABEI), com sede em Honduras; (xvii) Bancoldex, Colômbia; (xviii) Banco del Estado de Chile, Chile; (xix) Caisse de Dépôt et de Gestion (CDG), Marrocos; e (xx) Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD), Togo. O IDFC reúne 23 BDs nacionais, regionais e internacionais, que incluem ainda: (i) Islamic Corporation for the Development of the Private Sector (ICD), com sede na Arábia Saudita; (ii) Corporación Financiera de Desarrollo (COFIDE), Peru; e (iii) The Eastern and Southern African Trade and Development Bank (PTA Bank), com sede no Burundi.

<sup>2</sup> Banco Mundial; Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID); International Finance Corporation (IFC); African Development Bank (AfDB); Asian Development Bank (ADB); European Bank for Reconstruction and Development (EBRD); e European Investment Bank (EIB).

<sup>3</sup> Melhor detalhado na seção "Perspectivas".

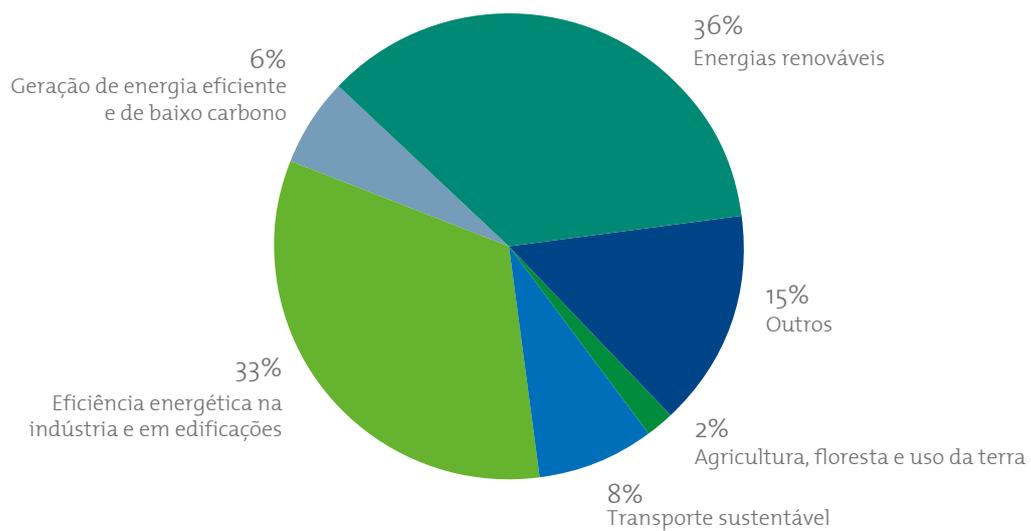
<sup>4</sup> O estudo inclui investimentos verdes em geral, mas os financiamentos climáticos são majoritários.

Gráfico 1: Financiamentos verdes do IDFC por categoria de projeto (em US\$ bilhões)



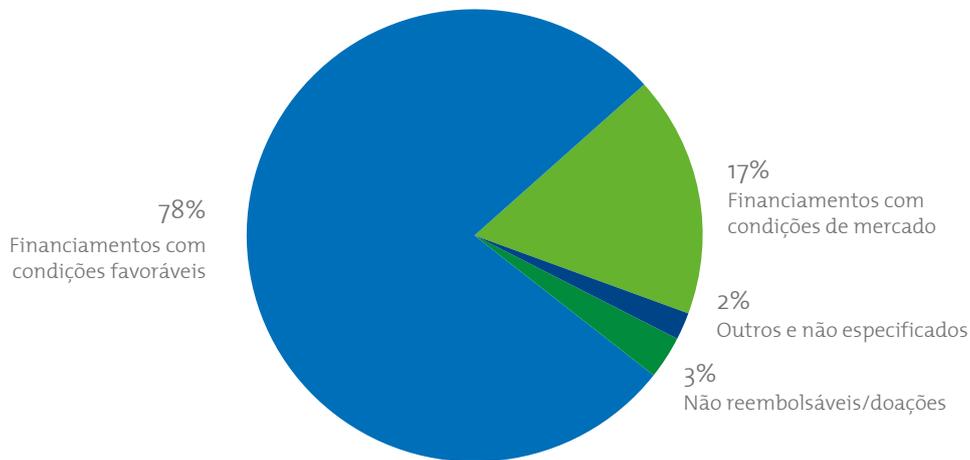
Fonte: IDFC (2014).

Gráfico 2: Financiamentos do IDFC a energia limpa e mitigação de GEE detalhados



Fonte: IDFC (2014).

Gráfico 3: Financiamentos verdes do IDFC segmentados por instrumentos financeiros



Fonte: IDFC (2014).

Apesar do volume menos expressivo, os financiamentos não reembolsáveis/doações mostram-se de extrema relevância para capacitação, para projetos de adaptação às mudanças climáticas e para projetos locais em comunidades tradicionais, sobretudo relativos à preservação florestal.

Em complemento à inequívoca importância dos bancos de desenvolvimento para a canalização de recursos direcionados ao enfrentamento das mudanças climáticas, seu papel pode e deve ir além. Espera-se que sua atuação inclua, entre outras iniciativas:

- i. apoio à implementação de políticas públicas;
- ii. produção, difusão e troca de conhecimento;
- iii. indução de melhores práticas;
- iv. criação de linhas de financiamento diferenciadas para estimular novos investimentos; e
- v. estabelecimento de critérios para financiamentos, como exigências de metas e aspectos relacionados a emissões de gases de efeito estufa, bem como de eficiência.

Nos casos em que o BD se utiliza de participação acionária como forma de apoio, ele poderá atuar auxiliando a estruturação da governança da empresa, agregando aspectos relacionados a mudanças climáticas à gestão da empresa e encorajando a adoção de melhores práticas. Entre as melhorias que podem ser estimuladas, o IDFC aponta uma seleção que inclui não apenas a questão climática, mas outros aspectos socioambientais (IDFC, 2012):

- i. aperfeiçoamento da governança corporativa, com foco em eficiência nos processos;
- ii. balanços ambientais e inventários de água e carbono;

- iii. políticas para enfrentamento das questões socioambientais na cadeia de fornecedores, o que pode incluir o financiamento climático para os fornecedores;
- iv. estabelecimento de metas de performance como consumo de água, tratamento de efluentes e saúde e segurança ocupacional; e
- v. adoção de sistemas integrados de gestão.

A incorporação dos conceitos socioambientais e, em especial, dos desafios climáticos nas estratégias dos bancos de desenvolvimento vem, nos últimos anos, ajudando a impulsionar os investimentos relativos ao tema. Como exemplo, a Agence Française de Développement (AFD) estipulou para o período 2012-2016 em 50% a participação mínima de financiamento climático no seu apoio a projetos em países em desenvolvimento e em 30% nos investimentos de sua subsidiária para o setor privado (AFD, 2015).

## Perspectivas

Apesar de vultosos, os fluxos financeiros atuais despendidos pelos bancos de desenvolvimento e demais agentes estão ainda muito aquém do que se espera necessário para o enfrentamento das mudanças climáticas.

Diante do imperativo por medidas de mitigação em escala global e da iminência dos efeitos adversos da mudança do clima, o Banco Mundial estima como necessário um volume adicional entre US\$ 30 bilhões e US\$ 100 bilhões por ano para investimentos em adaptação nos países em desenvolvimento e entre US\$ 140 bilhões e US\$ 175 bilhões para mitigação (WORLD BANK, 2009).

Já a Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA) estima que para migrar o setor de energia para um setor de baixo carbono serão necessários investimentos da ordem de US\$ 1 trilhão anual adicionais ao que seria investido em um cenário em que o impacto climático não é prioridade (IEA, 2012).

A 16ª Conferência das Partes (COP-16), realizada em Cancun, no México, em 2010, reconheceu a necessidade de canalizar recursos para investimentos em países em desenvolvimento e as nações desenvolvidas reforçaram o compromisso sinalizado em Copenhague, na Dinamarca, no ano anterior, de mobilizar US\$ 100 bilhões anuais a partir de 2020 (UNITED NATIONS, 2011).

Nesse cenário e, ainda, considerando o desafio de financiamento climático para as nações em desenvolvimento, foi estabelecido, na mesma conferência, o Green Climate Fund (GCF), fundo com objetivo de ser o principal mecanismo de financiamento internacional para apoiar o enfrentamento das mudanças climáticas por esses países.

O fundo, sediado na Coreia do Sul, proverá recursos com condições favoráveis para financiamento direto a investimentos e para alavancar outros financiamentos, incluindo de investidores privados e de mercados financeiros.

O GCF, hoje, conta com um compromisso de aporte de recursos de US\$ 10 bilhões por 33 países e irá operar por meio de uma rede de parceiros acreditados, que pode incluir instituições locais e regionais, bancos e fundos privados, organizações não governamentais e organismos internacionais. Espera-se que os BDs possam desempenhar um importante papel na aplicação dos recursos, em função de sua presença local, *expertise* e confiabilidade. Vinte instituições já obtiveram a acreditação para operar com o fundo, incluindo três membros do IDFC (AFD, Banco de Desarrollo de América Latina – CAF e KfW Bankengruppe – KfW), Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e Banco Mundial (GREEN CLIMATE FUND, 2015).

Apesar do objetivo do fundo de se tornar a principal fonte de financiamento multilateral para as mudanças climáticas, o volume comprometido é muito aquém do necessário e as expectativas de aportes ainda não dão conta do tamanho do desafio, conforme sugerem as estimativas apresentadas neste artigo.

Seja considerando os montantes adicionais do GCF, seja considerando um cenário em que eles sejam escassos, os bancos de desenvolvimento continuarão desempenhando um papel fundamental no financiamento climático. As soluções deverão envolver parcerias com o setor privado, buscando interações que otimizem o uso dos recursos existentes.

Segundo o IDFC, bancos de desenvolvimento estão em uma posição privilegiada para enfrentar o desafio de alavancar recursos climáticos, tendo em vista que conhecem a demanda da sociedade e que são uma interface entre o governo e o setor privado (IDFC, 2012). Dessa forma, eles são capazes não apenas de entender as barreiras à presença dos agentes privados como também de coordenar, junto com os governos locais, os instrumentos para superar esses obstáculos.

O BID também reconhece esse importante papel e recomenda para aumentar a eficácia dos investimentos do setor privado que: (i) os bancos de desenvolvimento sejam utilizados para gerir e canalizar recursos para o clima; e (ii) que se tenha em conta a experiência desses bancos para o esboço e funcionamento de novos mecanismos de financiamento climático. O documento ressalta ainda que essas instituições podem, em alguns casos, promover o desenvolvimento de mercado, por exemplo, em novos setores e indústrias emergentes (SMALLRIDGE *et al.*, 2013).

Entre outras vantagens esperadas da atuação dos bancos de desenvolvimento incluem-se: (i) sua capacidade de combinar uma maior quantidade de projetos de pequena escala adotando um enfoque de carteira e minimizando custos de transação (SMALLRIDGE *et al.*, 2013); e (ii) capacidade de monitorar a efetividade dos projetos.

A coordenação entre setores privado e público será uma condição essencial para dar conta dos desafios futuros, bem como a criação de soluções inovadoras de financiamento. Entre os desafios e oportunidades identificados para ampliar os fluxos de financiamentos climáticos existentes, podemos citar:

- i. alavancagem de recursos privados a partir da otimização na alocação dos recursos públicos disponíveis, direcionando-os para solucionar as barreiras aos investimentos climáticos;
- ii. ampliação do uso de *green/climate bonds*, ou títulos verdes, fonte de recurso que vem emergindo e, segundo apontado no relatório do World Economic Forum (2013), tem potencial para atingir um mercado de US\$ 170 bilhões anuais;
- iii. utilização de recursos não reembolsáveis para capacitação e para o auxílio ao desenvolvimento de projetos que possam estar aptos a obter financiamentos tradicionais adicionais, criando condições para melhor aproveitamento e utilização dos recursos reembolsáveis;
- iv. aumento dos ainda incipientes fluxos de recursos para financiamento à adaptação nas regiões mais vulneráveis; e
- v. expansão do uso de instrumentos financeiros adicionalmente aos empréstimos, participação acionária e garantias, com objetivo de reduzir o risco dos investimentos para o setor privado (VENUGOPAL *et al.*, 2012).

A importância do aprimoramento da componente de financiamento para viabilizar o enfrentamento da mudança do clima atrai iniciativas de um amplo conjunto de atores. Como exemplo, o Innovation Lab for Climate Finance foi constituído pelos governos do Reino Unido, Estados Unidos e Alemanha com a missão de desenvolver novos instrumentos financeiros para alavancar investimentos climáticos. A partir de uma chamada por ideias de novos instrumentos, a iniciativa selecionou sete produtos, dos quais quatro estão em desenvolvimento, incluindo um *swap* cambial de longo prazo e um seguro para conservação de energia.

## Conclusões

O estabelecimento de um novo regime multilateral para controle das emissões globais será acompanhado de esforços adicionais para o financiamento climático, meio de implantação fundamental para que países em desenvolvimento aumentem suas resiliências climáticas e alterem suas trajetórias de emissões sem abdicar de possibilidades de aumento de bem-estar para suas populações. A quantificação do suporte financeiro provido por bancos de desenvolvimento à mitigação da mudança do clima e à adaptação de seus efeitos adversos demonstra que tais instituições já cumprem papel relevante

no financiamento climático. Entretanto, a atuação dos bancos de desenvolvimento no financiamento climático tende a ser intensificada, sobretudo, por:

- i. serem candidatos naturais a canalizar recursos destinados a financiar investimentos climáticos;
- ii. serem instituições tradicionalmente convocadas pelos governos nacionais para implantar políticas públicas, em especial associadas ao desenvolvimento; e
- iii. por já estarem internalizando a mudança do clima como elemento central de suas estratégias de atuação.

Assim, os bancos de desenvolvimento continuarão apoiando o enfrentamento climático, financiando diretamente setores e projetos, alavancando recursos, estimulando investimentos, difundindo conhecimento e estimulando melhores práticas e soluções inovadoras.

## Referências

AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT – AFD. *AFD and climate change: balancing development and climate*. Paris, 2015. Disponível em: <[http://www.afd.fr/webdav/shared/PORTAILS/PUBLICATIONS/PLAQUETTES/AFD-Changement\\_climat\\_GB.pdf](http://www.afd.fr/webdav/shared/PORTAILS/PUBLICATIONS/PLAQUETTES/AFD-Changement_climat_GB.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2015.

ALÉM, A. C.; MADEIRA, R. M. As instituições financeiras públicas de desenvolvimento e o financiamento de longo prazo. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, n. 43, p. 5-39, jun. 2015.

BUCHNER, B. et al. *Global Landscape of Climate Finance 2014*. San Francisco: Climate Policy Initiative, 2014. Disponível em: <<http://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2014/11/The-Global-Landscape-of-Climate-Finance-2014.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2015.

GREEN CLIMATE FUND. *List of Accredited Entities*. Songdo, 2015. Disponível em: <[http://www.gcfund.org/fileadmin/00\\_customer/documents/Accreditation/GCF\\_List\\_of\\_Accredited\\_Entities\\_20150722.pdf](http://www.gcfund.org/fileadmin/00_customer/documents/Accreditation/GCF_List_of_Accredited_Entities_20150722.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2015.

INTERNATIONAL DEVELOPMENT FINANCE CLUB – IDFC. *Work Plan 2: leverage private and public funds: position paper on leverage of public and private funds*. Frankfurt, 2012. Disponível em: <[https://www.idfc.org/Downloads/Publications/02\\_other\\_idfc-expert\\_documents/IDFC\\_Position\\_Paper\\_on\\_Leverage\\_Private\\_and\\_Public\\_Funds\\_01-06-12.pdf](https://www.idfc.org/Downloads/Publications/02_other_idfc-expert_documents/IDFC_Position_Paper_on_Leverage_Private_and_Public_Funds_01-06-12.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2015.

\_\_\_\_\_. *IDFC green finance mapping for 2013*. Frankfurt, 2014. Disponível em: <[https://www.idfc.org/Downloads/Publications/01\\_green\\_finance\\_mappings/IDFC\\_Green\\_Finance\\_Mapping\\_Report\\_for\\_2013\\_12-09-14.pdf](https://www.idfc.org/Downloads/Publications/01_green_finance_mappings/IDFC_Green_Finance_Mapping_Report_for_2013_12-09-14.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. *Energy Technology Perspectives 2012: pathways to a clean system*. Paris, 2012. Disponível em: <<http://www.iea.org/textbase/npsum/ETP2012SUM.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2015.

SMALLRIDGE, D. *et al.* *The role of national development banks in catalyzing international climate finance*. Washington, DC: IDB, 2013. Código da publicação: IDB-MG-148. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/3478/Role%20of%20NDB%203-12-13final%20web.pdf?sequence=2>>. Acesso em: 21 out. 2015.

UNITED NATIONS. United Nations Framework Convention on Climate Change. *Report of the conference of the parties on its sixteenth session held in Cancun from 29 November to 10 December 2010: addendum part two: action taken by the conference of the parties at its sixteenth session: decision 1/CP.16*. Bonn: UNFCCC, 2011. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2015.

VENUGOPAL, S. *et al.* Public financing instruments to leverage private capital for climate-relevant investments: focus on multilateral agencies. *World Resources Institute, Working Paper*, Dec. 2012. Disponível em: <[http://www.wri.org/sites/default/files/pdf/public\\_financing\\_instruments\\_leverage\\_private\\_capital\\_climate\\_relevant\\_investment\\_focus\\_multilateral\\_agencies.pdf](http://www.wri.org/sites/default/files/pdf/public_financing_instruments_leverage_private_capital_climate_relevant_investment_focus_multilateral_agencies.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2015.

WORLD BANK. Generating the Funding Needed for Mitigation in World Development. In: WORLD BANK. *World development report 2010: development and climate change*. Washington, DC, 2009.

\_\_\_\_\_. *2014 joint report on multilateral development banks' climate finance*. Washington, DC, 2015. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/mdb-climate-finance-2014-joint-report-061615.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2015.

WORLD ECONOMIC FORUM. *The green investment report: the ways and means to unlock private finance for green growth: a report of the green growth action alliance*. Geneva, 2013. Disponível em: <[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GreenInvestment\\_Report\\_2013.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GreenInvestment_Report_2013.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2015.

PANORAMAS SETORIAIS  
Mudanças climáticas

# AUTOMOTIVO

Daniel Chiari Barros  
Bernardo Hauch Ribeiro de Castro  
Luiz Felipe Hupsel Vaz\*

\* Respectivamente, economista, gerente e engenheiro do Departamento das Indústrias Metal-mecânica e de Mobilidade da Área Industrial do BNDES.

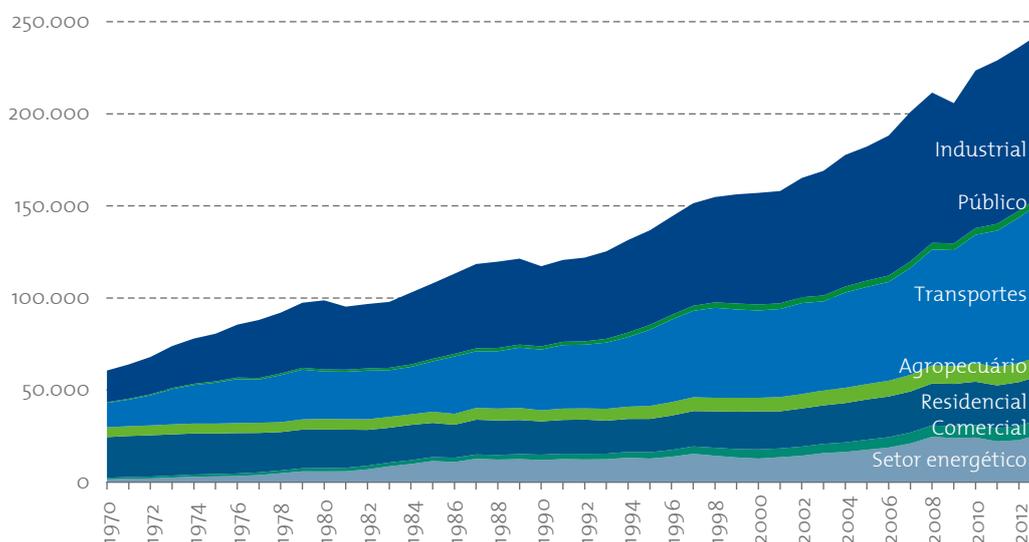
## Introdução

Tradicionalmente, os veículos são movidos por um motor a combustão interna em que uma mistura de ar e combustível, em geral gasolina ou diesel, sofre compressão. A queima na câmara de combustão gera diversos gases nocivos, que são expelidos pelo escapamento.

O escape dos sistemas a combustão emite, além de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o principal gás de efeito estufa (GEE), outros GEEs em menor quantidade, como metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e hidrofluorcarbonetos (HFC). Os últimos são emitidos pelos sistemas de refrigeração dos veículos e pelo transporte refrigerado (EPA, [201-?]).

O setor de transportes é o segundo maior consumidor de energia do Brasil, atrás apenas da indústria (Gráfico 1). Desde 1970, a demanda por energia cresceu a uma taxa média de 4,4% ao ano, enquanto o Produto Interno Bruto (PIB) cresceu o equivalente a 3,9% ao ano. Do total consumido pelo setor de transportes, o predomínio é rodoviário: aproximadamente 92,6% são oriundos desse modo, 4,4% do aéreo, 1,6% do hidroviário e 1,4% do ferroviário (ANP, 2014; EPE, 2014).

Gráfico 1: Série histórica do consumo final energético por setor no Brasil 1970-2013 (em  $10^3$  tep\*)



Fonte: Elaboração própria, com base em ANP (2014).

\* Tonelada equivalente de petróleo

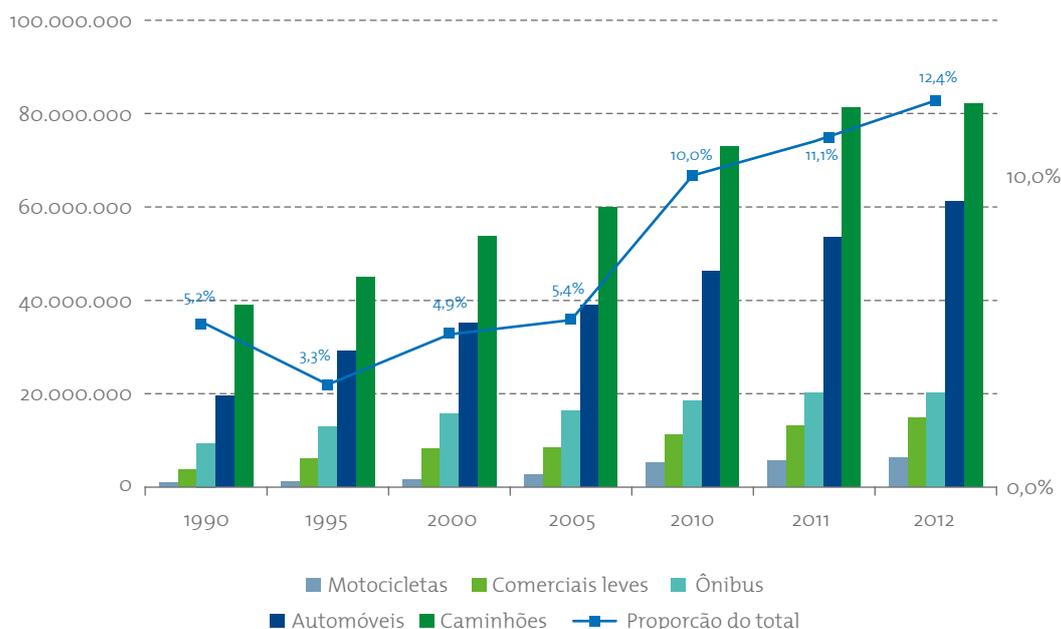
## Os veículos e as emissões de gases de efeito estufa

O modo rodoviário é tradicionalmente caracterizado por veículos movidos por combustíveis fósseis. Apesar de a indústria liderar o consumo total de energia, suas fontes são diversas e incluem principalmente eletricidade. Já o setor de transportes

tem por base o petróleo, liderando a demanda com 68,9% do consumo final energético de derivados de petróleo. Desse consumo, a principal fonte é o óleo diesel, seguido da gasolina (EPE, 2014). O primeiro é utilizado predominantemente em ônibus e caminhões, enquanto a gasolina é usada principalmente em automóveis e motocicletas.

A queima de combustíveis fósseis pelos veículos leva à emissão de gases nocivos à saúde e/ou ao meio ambiente, especialmente gás carbônico. De fato, com o crescimento significativo da frota brasileira, o setor de transportes passou a responder por 12,4% das emissões totais de GEE do país – número bem superior aos 3,3% de 1995 – com automóveis e caminhões liderando a quantidade de emissões (Gráfico 2), mesmo com as diversas regulamentações para redução (BRASIL, 2014).

Gráfico 2: Emissões brasileiras por tipo de veículo em CO<sub>2</sub>eq (em tGWP) e proporção do total das emissões brasileiras de GEE oriundas de veículos



Fonte: Elaboração própria, com base em Brasil (2014).

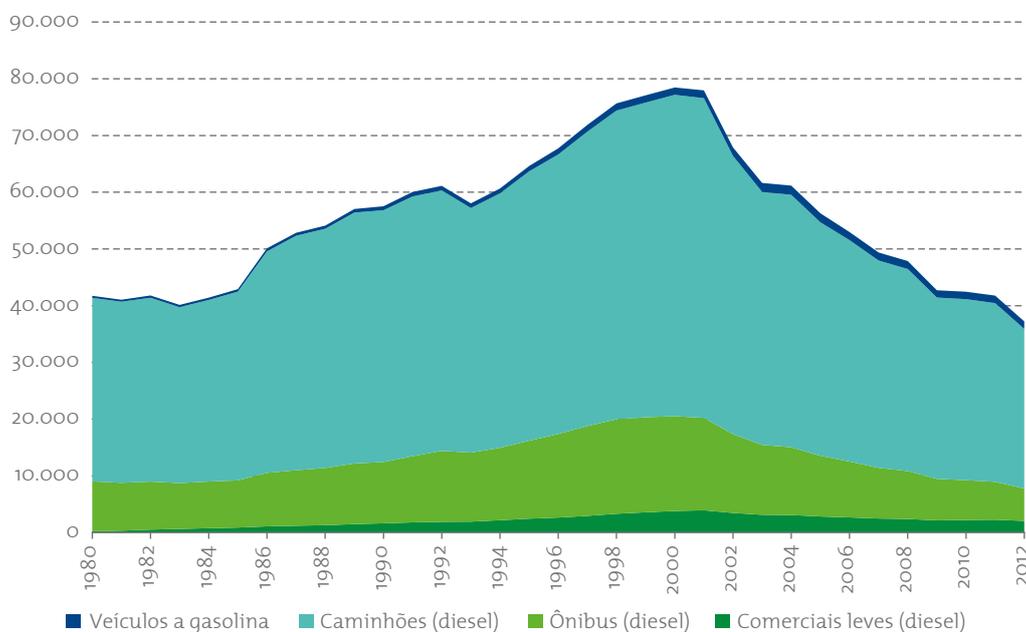
Nota: CO<sub>2</sub>eq, ou equivalente em dióxido de carbono, é uma métrica que expressa o potencial de aquecimento global de diversos gases caso fossem emitidos como CO<sub>2</sub>. Gases considerados: metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e compostos orgânicos voláteis, com exceção do metano (NMVOC).

Os veículos a diesel são ainda responsáveis pela emissão de quase todo o material particulado (MP) que, embora não seja um GEE, é cancerígeno e altamente nocivo à saúde (Gráfico 3). Cabe ressaltar, contudo, que o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve)<sup>1</sup> e o Programa de Controle da Poluição do

<sup>1</sup> Para detalhes, ver Ibama (2011).

Ar por Motociclos e Veículos Similares (Promot) vêm reduzindo, por meio regulatório, as emissões do GEE metano, além de outros poluentes como, por exemplo, o MP, os óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>) e o monóxido de carbono (CO), que não são considerados GEEs. Embora tenham induzido a uma melhora considerável na redução desses poluentes, esses programas não limitam a emissão do CO<sub>2</sub>. O Novo Regime Automotivo, criado em 2012 e denominado Inovar-Auto, estabelece metas de consumo de combustível. Como há uma relação direta entre o consumo energético e as emissões de CO<sub>2</sub>, a exigência de maior eficiência energética terá impacto sobre as emissões.

Gráfico 3: Emissões de material particulado (em t/ano)



Fonte: Elaboração própria, com base em Brasil (2014).

Nota: Apenas emissões de material particulado oriundas do escapamento.

É importante notar que mesmo os automóveis movidos a etanol emitem GEE. O etanol, todavia, é dito de ciclo fechado de absorção-liberação de carbono, pois a cana-de-açúcar absorve o CO<sub>2</sub> da atmosfera, em especial durante a fase de crescimento. No que tange à mudança do clima, portanto, o etanol tem menor impacto sobre o efeito estufa do que a gasolina. Para avaliar o impacto sobre a qualidade do ar nos grandes centros urbanos, o que foge ao escopo do trabalho, seria necessário observar a localização das emissões.

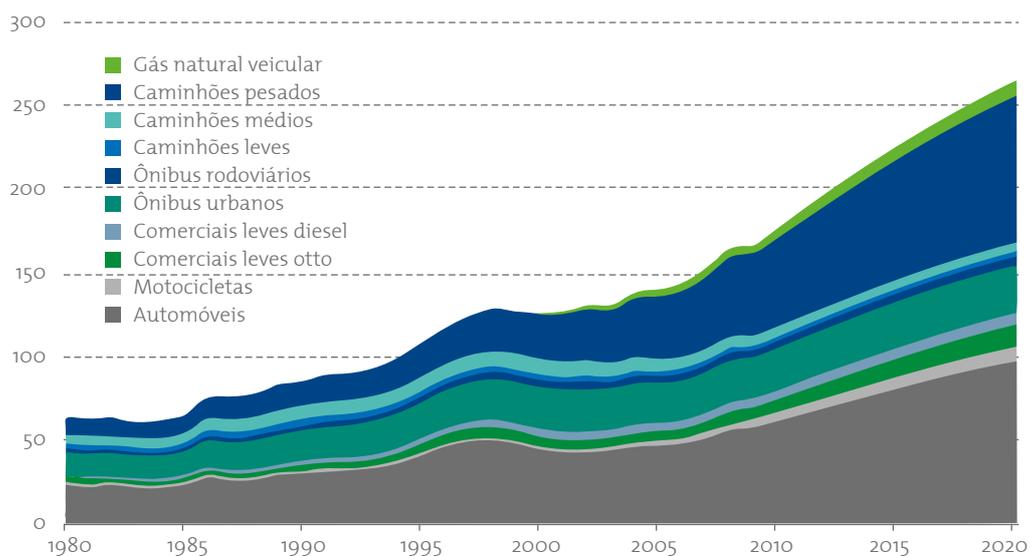
O setor automotivo está relacionado ao Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM),<sup>2</sup> sendo objeto específico da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). De acordo com

<sup>2</sup> Para detalhes, ver Brasil (2013).

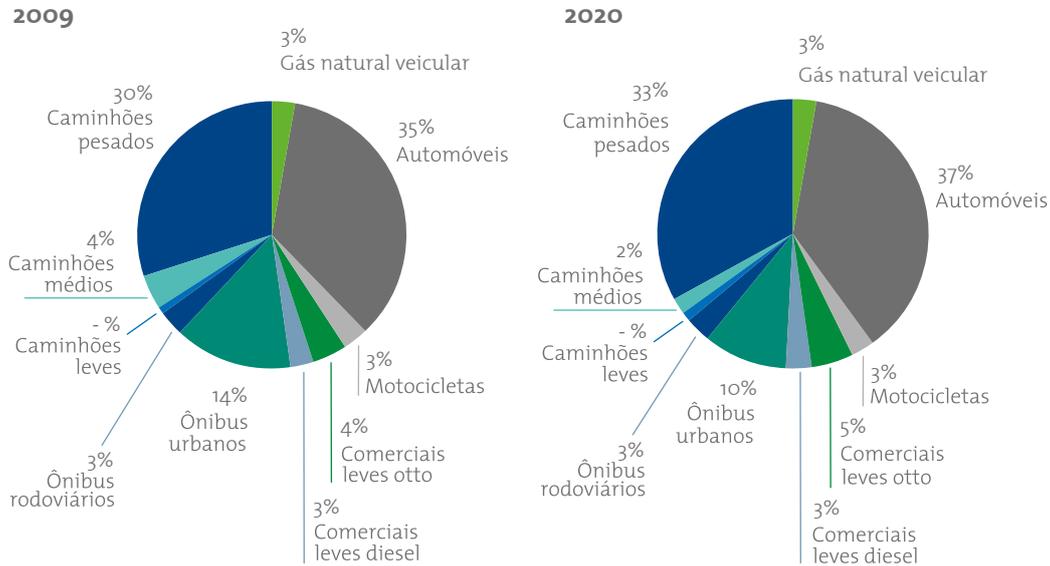
o PSTM, no cenário do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT),<sup>3</sup> as emissões relacionadas apenas ao transporte de cargas devem alcançar 98 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2020. O modal rodoviário deverá ser responsável por lançar 86 milhões de toneladas ou 88% desse total. Em 2010, ano-base, foram lançadas 69 milhões de toneladas do gás decorrentes da movimentação de cargas. O modal rodoviário respondeu por 63 milhões de toneladas ou 92% desse total. Já o transporte rodoviário de passageiros foi responsável por emitir 89 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em 2010. Em 2020, esse montante deve alcançar 135,4 milhões de toneladas. Considerando carga e passageiros, portanto, o transporte rodoviário no Brasil lançou 152 milhões de toneladas do gás na atmosfera em 2010 e deve lançar 221 milhões de toneladas em 2020.

Em 2011, foi publicado o 1º *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários* pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Segundo o documento, em 2009, ano-base, foram emitidas 170 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> oriundas do transporte rodoviário como um todo. Em 2020, a estimativa é de que as emissões do gás alcancem 270 milhões de toneladas, um aumento de 60% em relação a 2009 e um valor maior que o previsto pelo PSTM. Os automóveis, incluídos os movidos a gás natural, deverão responder por 40% das emissões e, os caminhões, por 36% do total.

Gráfico 4: Emissões de CO<sub>2</sub> por categoria de veículos – série histórica e composição 2009 e 2020 (em 10<sup>6</sup>t e %)



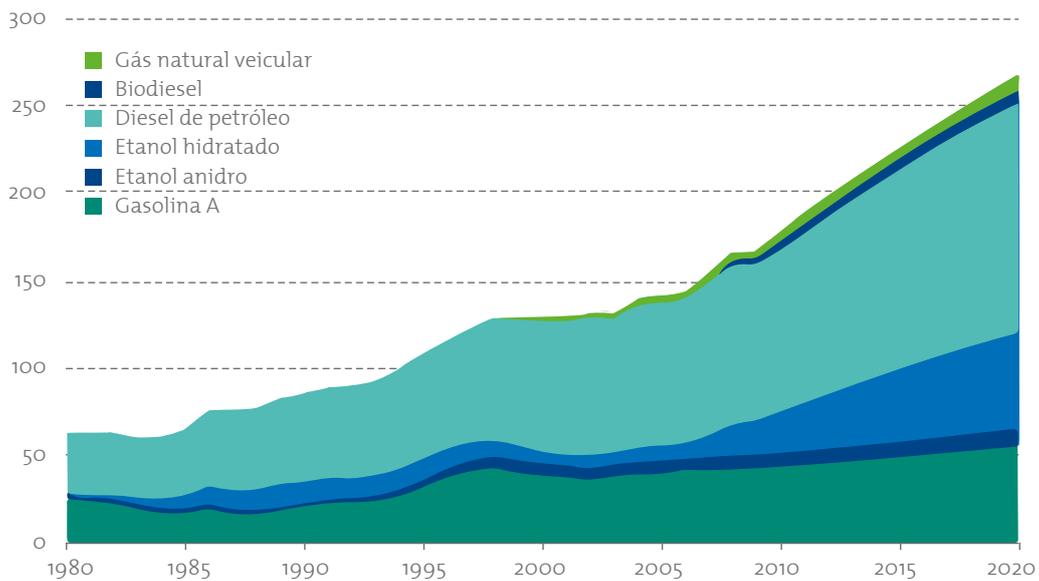
<sup>3</sup> Cenário considera a evolução dos momentos de transporte entre 2010 e 2031, que será proporcionada pelo conjunto de todas as obras rodoviárias, ferroviárias e hidroviárias indicadas no PNL 2011.

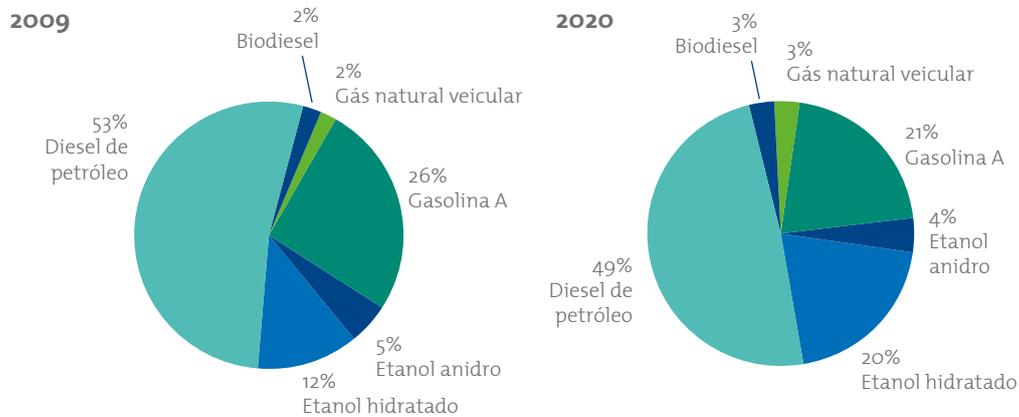


Fonte: Brasil (2011).

Analisando as emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de combustível, o diesel continuará sendo o principal responsável pelas emissões, mas deverá ter participação reduzida de 53% para 49% do total. Projeta-se maior participação do etanol e redução da participação da gasolina.

Gráfico 5: Emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de combustível – série histórica e composição 2009 e 2020 (em 10<sup>6</sup>t e %)





Fonte: Brasil (2011).

## Os veículos e a mitigação de gases de efeito estufa

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), órgão ligado à Organização das Nações Unidas (ONU), o setor de transporte respondeu por 13% do total de GEEs lançados na atmosfera em 2004 (IPCC, [2007?]). Como visto no Gráfico 2, no Brasil, o transporte rodoviário representou 12,4% das emissões de GEE do país em 2012. Como o transporte rodoviário é amplamente dominante no Brasil, a intensidade de emissões do setor no país é próxima à média mundial. Em 2010, das emissões de CO<sub>2</sub> oriundas do transporte de carga, 92% advieram do modal rodoviário (BRASIL, 2013).

Existem muitas medidas em curso no mundo a fim de reduzir as emissões de GEE no setor automotivo. A maioria dos países desenvolvidos conta com regulamentações específicas para aferição e controle dos níveis de emissão de poluentes e consumo de combustível. Na União Europeia, as metas de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) estão continuamente sendo revistas, exigindo mais tecnologia das montadoras. Para o ano de 2020, a meta de emissões para os veículos leves está fixada em 95 gCO<sub>2</sub>/km, de acordo com o New European Driving Cycle (NEDC),<sup>4</sup> uma redução de cerca de 27% em relação ao valor previsto na legislação vigente no período de 2012 a 2015, de 130 gCO<sub>2</sub>/km (DIESELNET, [201-?]). Para alcançar a meta, uma maior hibridização e/ou eletrificação de parte dos veículos será necessária (MCKINSEY & COMPANY, 2014).

Nos Estados Unidos, as metas também são fixadas no longo prazo, sendo posteriormente desdobradas em metas anuais, facilitando a programação dos fabricantes e

<sup>4</sup> Para detalhes sobre o ciclo de teste NEDC, ver DIESELNET ([201-?]).

a definição das agendas de pesquisa e desenvolvimento (P&D). O ciclo de teste *federal test procedure* (FTP-75) é usado para mensurar as emissões dos automóveis e comerciais leves em condições urbanas. Já o ciclo de teste *highway fuel economy test* (HWFET) mede as emissões dos veículos leves em condições de estrada.<sup>5</sup> Estima-se que as metas possam reduzir a dependência de petróleo em dois milhões de barris/dia em 2025,<sup>6</sup> além de promover uma economia acumulada de US\$ 1,7 bilhão em combustível pelas famílias.

No Brasil, metas de eficiência energética passaram a ser exigidas pelo Inovar-Auto como critério de habilitação da empresa no Novo Regime Automotivo. A meta, que deverá ser cumprida até outubro de 2017, é expressa em consumo energético (MJ/km) e segue a norma ABNT NBR 7024:2010, que reflete a norma adotada nos Estados Unidos. A meta utiliza o critério de massa corporativa dos veículos comercializados. Ela não precisa ser alcançada por cada modelo de veículo, mas por empresa.

O Quadro 1 apresenta um levantamento de regulamentações de emissões em diversos países. As metas de emissões foram convertidas para um mesmo ciclo, o NEDC, a fim de facilitar a comparação. Nos países em que a meta é estipulada em consumo, como no caso do Brasil, foi realizada conversão para emissões de CO<sub>2</sub> (ver metodologia no Quadro 1). Destaca-se que elas diferem fundamentalmente em dois aspectos: quanto ao ciclo de condução e ao parâmetro para mensuração da frota. Há convergência em três ciclos diferentes: os países americanos normalmente utilizam o ciclo criado nos Estados Unidos; Europa, China e Índia utilizam o ciclo europeu; e o Japão utiliza um ciclo próprio. Tais ciclos consistem em procedimentos padronizados que buscam reproduzir o amplo conjunto de situações reais de trânsito enfrentadas pelos motoristas. Quanto ao parâmetro de mensuração da frota, há duas formas adotadas. A primeira utiliza a soma da massa dos veículos comercializados. A segunda utiliza o *footprint*,<sup>7</sup> que é uma medida da área de sombra do veículo.

---

<sup>5</sup> Em 1996, foi realizada uma revisão na regulamentação norte-americana a fim de superar as falhas que o ciclo FTP-75 apresenta. Tal revisão criou dois novos ciclos de testes complementares, o US06 e o SC03. O primeiro representa condições de alta velocidade, alta aceleração e comportamento agressivo, e o segundo representa emissões associadas ao uso do ar-condicionado. Para detalhes, ver United Nations ([201-?]) e EPA ([201-?]).

<sup>6</sup> O consumo atual dos Estados Unidos é de cerca de 20 milhões de barris/dia.

<sup>7</sup> *Footprint* é a área entre eixos de veículos, dada pelo produto da distância entre eixos (definida como a distância entre os centros da roda dianteira e traseira) pela bitola (distância transversal média entre os centros das bandas de rodagem dos pneus).

Quadro 1: Panorama global sobre regulamentações de emissões (levantamento não exaustivo)

PAÍS/REGIÃO	ANO-ALVO	META DE EMISSÕES CONVERTIDAS PARA O CICLO NEDC* (gCO <sub>2</sub> /km)	PARÂMETRO PARA AFERIÇÃO DA MÉDIA CORPORATIVA	FROTA-ALVO	CICLO DE TESTE
Brasil	2017	138	Peso	Automóveis/comerciais leves	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Canadá	2025	97	Footprint	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Canadá	2025	141	Footprint	Comerciais leves	Combinado (FTP-75 + HWFET)
China	2015	161	Peso e por veículo	Automóveis/comerciais leves	NEDC
China (proposta)	2020	117	Peso e por veículo	Automóveis/comerciais leves	NEDC
Coreia do Sul	2015	145	Peso	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Coreia do Sul (proposta)	2020	97	Peso	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Estados Unidos	2025	97	Footprint	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Estados Unidos	2025	141	Footprint	Comerciais leves	Combinado (FTP-75 + HWFET)
Índia	2021	113	Peso	Automóveis	NEDC
Japão	2020	122	Peso	Automóveis	JC08
Japão	2015	155	Peso	Comerciais leves	JC08
México	2016	145	Footprint	Automóveis	Combinado (FTP-75 + HWFET)
México	2016	196	Footprint	Comerciais leves	Combinado (FTP-75 + HWFET)
União Europeia	2021	95	Peso	Automóveis	NEDC
União Europeia	2020	147	Peso	Comerciais leves	NEDC

Fonte: Elaboração própria, com base em Yang (2014).

\* Alguns países estabelecem as metas em consumo de combustível, e não em emissões de CO<sub>2</sub>. A conversão foi feita pelo International Council on Clean Transportation (ICCT), com metodologia disponível em Kühlwein, German e Bandivadekar (2014).

Vários países estabelecem créditos adicionais para veículos inovadores, permitindo que montadoras que lancem veículos elétricos ou híbridos sejam mais beneficiadas no atendimento às metas. Cabe ressaltar também que, além das legislações sobre as emissões de dióxido de carbono, as regulamentações de emissões de outros gases também estão tornando-se mais restritivas.

Os governos também vêm estipulando metas de adoção de veículos elétricos, reforçando o compromisso de reduzir o consumo de combustíveis fósseis e de acelerar a difusão da tecnologia elétrica. A meta conjunta da União Europeia é ter entre oito mi-

Ihões a nove milhões de veículos elétricos em circulação até 2020, cerca de 3% da frota total projetada. França, Alemanha e Holanda, por exemplo, têm metas de dois milhões, um milhão e 200 mil veículos, respectivamente (MCKINSEY & COMPANY, 2014).

## Perspectivas para as emissões de gases de efeito estufa por veículos

Há estimativas mais recentes do que as divulgadas pelo PSTM para o Brasil. O Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa (Seeg), iniciativa do Observatório do Clima, apresentou dados sobre emissões do setor para 2013. Segundo o Seeg (2015), as emissões de CO<sub>2</sub> do setor de transporte alcançaram 212,2 milhões de toneladas em 2013. A maior parte das emissões foi oriunda do transporte de passageiros (54,2%). Caminhões e automóveis responderam por 40,5% e 28,6% do total de emissões, respectivamente.

A eficiência energética seguirá como um dos principais *drivers* da indústria automotiva. A preocupação com o consumo de combustíveis e com as emissões permanecerá na agenda do setor. Há previsões mais e menos otimistas. Em publicação sobre energia intitulada *The Outlook for Energy: a View to 2040*, a ExxonMobil apresentou suas perspectivas para o setor de transporte como um todo com foco no consumo de combustível (EXXONMOBIL, 2015). Como o consumo está diretamente relacionado às emissões, as projeções para o consumo sugerem trajetórias para as emissões. A empresa projeta que o segmento de veículos leves<sup>8</sup> é o único, entre os voltados ao transporte, que não deverá ampliar de forma significativa a demanda energética até 2040, em relação a 2010. Espera-se que a demanda por combustível no segmento cresça aproximadamente 10% até atingir um pico por volta de 2025 e, então, apresente ligeiro declínio de cerca de 5% até 2040. O incremento projetado nas vendas e na frota de veículos *full hybrids* será o principal responsável por essa redução. A ExxonMobil projeta que veículos *full hybrids* representarão cerca de 50% das vendas e 33% da frota global de veículos leves em 2040. Nos veículos pesados,<sup>9</sup> é esperado crescimento de 65% na demanda por energia entre 2010 e 2040. Estima-se que, em 2040, representarão 40% do total consumido no transporte e que, a partir de 2025, passem a consumir mais combustível que os veículos leves. Os demais segmentos (aéreo, ferroviário e aquaviário) deverão crescer 75% na mesma base e representar 30% do total consumido para transporte.

---

<sup>8</sup> Automóveis e comerciais leves.

<sup>9</sup> Ônibus e caminhões.

## Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2014*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/?pg=71976#Se\\_\\_o2](http://www.anp.gov.br/?pg=71976#Se__o2)>. Acesso em: 8 dez. 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores*. Brasília, 2011.
- \_\_\_\_\_. *Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM)*. Brasília, 2013.
- \_\_\_\_\_. *Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013: ano-base 2012*. Brasília, 2014.
- DIESELNET. *Emission test cycles*. Mississauga, [201-?]. Disponível em: <[https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)>. Acesso em: 2 dez. 2014.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço Energético Nacional 2014: relatório síntese: ano base 2013*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/BEN%202014%20Rel%20S%C3%ADntese%20ab%202013a.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2014.
- EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Vehicle testing regulations*. Washington, DC, [201-?]. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nvfe/testing/regulations-vehicles.htm>>. Acesso em: 3 dez. 2014.
- EXXONMOBIL. *The outlook for energy: a view to 2040*. Irving, 2015. Disponível em: <[http://cdn.exxonmobil.com/~media/global/files/outlook-for-energy/2015-outlook-for-energy\\_print-resolution.pdf](http://cdn.exxonmobil.com/~media/global/files/outlook-for-energy/2015-outlook-for-energy_print-resolution.pdf)>. Acesso em: 11 set. 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. *Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – Proconve*. 3 ed. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=4792%3Amanual-portugues>>. Acesso em: 11 set. 2015.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *IPCC fourth assessment report: climate change 2007*. Geneva, [2007?]. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/spmssp-b.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/spmssp-b.html)>. Acesso em: 11 set. 2015.
- KÜHLWEIN, J.; GERMAN, J.; BANDIVADEKAR, A. *Development of test cycle conversion factors among worldwide light-duty vehicle CO<sub>2</sub> emission standards*. Washington, DC: ICCT, 2014.
- MCKINSEY & COMPANY. *Evolution: electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?* Amsterdam: Amsterdam Roundtables Foundation, 2014.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA – SEEG. *Evolução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil (1990-2013)*: setor de energia e processos industriais. São Paulo: Observatório do Clima, 2015. Disponível em: <[https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/seeg.tracersoft.com.br/wp-content/uploads/2015/08/energia\\_industria\\_2015.pdf](https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/seeg.tracersoft.com.br/wp-content/uploads/2015/08/energia_industria_2015.pdf)>. Acesso em: 11 set. 2015.

UNITED NATIONS. United Nations Environment Programme – UNEP. *International test cycles for emissions and fuel economy*. Nairobi, [201-]. Disponível em: <[http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test\\_cycles.asp#pg](http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test_cycles.asp#pg)>. Acesso em: 3 dez. 2014.

YANG, Z. *Improving the conversions between the various passenger vehicle fuel economy/CO<sub>2</sub> emission standards around the world*. Washington: International Council on Clean Transportation, 2014. From the blogs staff. Disponível em: <<http://www.theicct.org/blogs/staff/improving-conversions-between-passenger-vehicle-efficiency-standards>>. Acesso em: 8 jan. 2015.

PANORAMAS SETORIAIS  
Mudanças climáticas

# CIMENTO

Pedro Sergio Landim de Carvalho  
Pedro Paulo Dias Mesquita  
Luciane Melo\*

\* Respectivamente, gerente e economista do Departamento de Indústria de Base da Área de Insumos Básicos do BNDES e gerente do Departamento de Pesquisas e Operações da Área de Pesquisa e Acompanhamento Econômico do BNDES.

## Introdução

A produção de cimento apresenta impacto elevado em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEE), com destaque para o dióxido de carbono, que corresponde a quase o total dos GEE emitidos.<sup>1</sup> As emissões dessa indústria em nível mundial são estimadas em cerca de 5% do total das emissões antrópicas de carbono (WBCSD, 2010). No Brasil, a indústria de cimento foi responsável por 29,7% das emissões de CO<sub>2</sub> de processos industriais em 2012 (BRASIL, 2014).

Além de carbono, a produção de cimento emite outros poluentes atmosféricos, tais como material particulado (poeira) e gases vinculados à chuva ácida. Nesse contexto, observa-se o endurecimento progressivo das legislações que determinam os padrões de emissão no Brasil e em outros países (PINHO, 2012).

O cimento é obtido a partir da moagem do clínquer com outros materiais, denominados genericamente de adições. O clínquer é produzido basicamente a partir de calcário e argila, que são britados, moídos e misturados em proporções definidas. Esse material é levado a altas temperaturas em fornos especiais. O processo produtivo do clínquer é, portanto, de forma simplificada, uma combinação de exploração e beneficiamento de substâncias minerais, transformadas por meio do calor (ABDI, 2012).

Em termos mundiais, a maior parte das emissões de carbono da produção de cimento, cerca de 90%, é resultante da geração de energia térmica e da descarbonatação do calcário, etapa do processo industrial em que o calcário, por meio de uma reação química, libera carbono para produção de clínquer. Desse total, estima-se que a geração de energia térmica e a descarbonatação do calcário sejam responsáveis, respectivamente, por 40% e 50% das emissões. Os 10% restantes distribuem-se entre transporte e consumo de energia elétrica na fábrica (ABDI, 2012).

Nem todas as empresas publicam relatórios de sustentabilidade, mas algumas empresas brasileiras participam da Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento (Cement Sustainability Initiative), um esforço global para adoção de práticas sustentáveis nessa indústria. As empresas que participam dessa iniciativa responderam por cerca de 20% da produção mundial em 2013.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Emissões de metano respondem por 0,01% do total de emissões nos fornos. Os demais gases de efeito estufa considerados pelo Protocolo de Quioto possuem participação ainda mais baixa nas emissões dessa indústria (ABDI, 2012).

<sup>2</sup> Informações obtidas na base de dados Cement Sustainability Initiative, Getting the Numbers Right (GNR), do World Business Council for Sustainable Development.

## Iniciativas para mitigação das emissões de gases de efeito estufa na produção de cimento

O valor da redução voluntária das emissões definida pelo Plano Indústria para 2020, se aplicado à indústria do cimento, representava, em 2013, um desafio para o setor. A meta de emissão foi determinada para a indústria como um todo, pela redução em 5% do valor estimado de emissões para 2020, obtido a partir da aplicação de uma taxa de crescimento de 5% ao ano às emissões anuais a partir de 2005 (BRASIL, 2013). No período 2004-2013, a produção de cimento cresceu aproximadamente 7% ao ano (SNIC, 2014).<sup>3</sup> O déficit habitacional e a necessidade de realizar investimentos significativos em infraestrutura devem promover o crescimento do consumo, que ainda apresenta níveis *per capita* inferiores à média mundial e a de outros países emergentes. Apesar das elevadas taxas de crescimento observadas desde 2004, em 2012, o consumo *per capita* no Brasil atingiu 353,6 kg/hab, bastante inferior ao consumo da China, Coreia do Sul, Marrocos e Tunísia, por exemplo, e à média mundial, que era de 543 kg/hab. Em 2012, o Brasil foi o quinto maior produtor e o quarto maior consumidor em níveis absolutos, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos (SNIC, 2014).

Os meios mais utilizados para reduzir as emissões de carbono nesse segmento são a produção de cimentos compostos com menor composição de clínquer e o uso de combustíveis alternativos para geração de energia térmica. Entre os combustíveis alternativos, destacam-se o coprocessamento de resíduos, o uso de biomassa e o gás natural (ABDI, 2012).

No que diz respeito às tecnologias mais eficientes disponíveis, a alternativa mais favorável seria a difusão do processo via seca, que representa a maior parte da capacidade instalada no Brasil e, portanto, não teria como provocar uma redução significativa da intensidade de carbono desse segmento da indústria. De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (Snic), o Brasil possui um parque industrial moderno, com instalações eficientes no que diz respeito ao consumo energético, e predomínio dos fornos via seca, que respondem por 99% da produção de cimento no país (SNIC, 2008).<sup>4</sup>

Avalia-se que é possível ampliar o coprocessamento de resíduos no Brasil, que ainda se encontra em níveis inferiores aos observados em países europeus, Estados

---

<sup>3</sup> A redução recente do nível de atividade econômica torna mais fácil atingir a meta de emissões. Entretanto, espera-se que, superadas as dificuldades econômicas conjunturais, o segmento retome a expansão, embora num ritmo de crescimento menos intenso que o observado na última década.

<sup>4</sup> Não há informações sobre qual o percentual das unidades com fornos via seca que utilizam também preaquecedores e precalcinadores. Pinho (2012) aponta que há uma diferença substancial do consumo de energia entre os fornos via seca que utilizam preaquecedores ou calcinadores e aqueles que não contam com esses equipamentos.

Unidos e Japão (ABDI, 2012). O seu crescimento pode ser facilitado, uma vez que 75% das unidades produtoras de cimento integradas no Brasil, responsáveis por 80% da produção de clínquer, possuem licença ambiental e capacidade tecnológica para coprocessar resíduos (PINHO, 2012).<sup>5</sup> De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), os resíduos coprocessados em 2013 representam a eliminação de um passivo ambiental de 1,25 milhão de toneladas. Os pneus constituem 23% (286 mil t) do total, equivalentes a 57 milhões de pneus de automóveis (1 t = 200 mil pneus).

Além disso, é possível ampliar o uso de biomassa e de gás natural. É importante destacar, entretanto, que a oferta de combustíveis alternativos pode ser escassa ou de difícil acesso e que o poder calorífico do combustível pode não ser alto o suficiente se comparado ao seu custo (ABDI, 2012).

Quanto ao uso de materiais em substituição parcial ao clínquer, o Brasil apresenta uma situação bastante favorável, com uma das mais baixas taxas de utilização de clínquer no mundo (66,9% em 2013, de acordo com dados do Getting the Numbers Right, do World Business Council for Sustainable Development). A redução adicional dessa taxa depende da disponibilidade de cinzas de termoelétricas e escória de alto-forno siderúrgico, materiais cujas características permitem sua utilização como substitutos parciais ao clínquer. Cabe destacar que há restrições às adições que podem ser utilizadas<sup>6</sup> para cada tipo de cimento produzido.

O predomínio dos fornos via seca, a elevada utilização de substitutos ao clínquer e a crescente participação do uso de coprocessamento de resíduos, resulta em uma menor emissão de carbono quando comparada à média internacional.<sup>7</sup>

Apesar do bom desempenho da indústria do cimento no Brasil no que diz respeito à intensidade de carbono, acredita-se que ainda haja algum espaço para redução adicional, mesmo que incremental, por meio das medidas mencionadas, em especial da ampliação do coprocessamento de resíduos. O Quadro 1, a seguir, sumariza essas ações, bem como apresenta alternativas promissoras que devem se tornar viáveis a longo prazo.

---

<sup>5</sup> Esse autor ressalta que, para coprocessar resíduos, é necessário realizar adaptações nos processos produtivos e na logística, assim como obter licença de órgãos ambientais.

<sup>6</sup> Gesso, escórias de alto-forno siderúrgico, materiais pozolânicos, materiais carbonáticos e cinzas de termoelétricas, denominados genericamente adições, são materiais misturados ao clínquer para produzir cimento. A quantidade e os tipos de materiais utilizados como adições conferem ao cimento certas características, tais como impermeabilidade, durabilidade e resistência a compressão, que estão associadas às suas possíveis aplicações.

<sup>7</sup> De acordo com as informações disponíveis na base de dados Getting the Numbers Right, na comparação com regiões, o Brasil apresentou uma das menores taxas de emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada produzida de cimento em 2013, atrás apenas da América do Sul (Brasil excluído).

Quadro 1: Medidas para redução das emissões de gases de efeito estufa

AÇÃO DE REDUÇÃO	POTENCIAL DE REDUÇÃO	BARREIRAS	P&D	INVESTIMENTO NECESSÁRIO
Eficiência de fornos	Alto	» Troca do tipo de forno é viável somente para novas plantas	Nulo	Muito alto
Reaproveitamento de calor dos fornos (na etapa de preaquecimento e para a cogeração de energia)	Baixo	» Reaproveitamento do calor em outras etapas depende do equipamento existente; » Cogeração de energia é utilizada apenas no Japão, devido aos elevados custos de energia	Nulo	Alto/muito alto
Combustíveis alternativos (coprocessamento de resíduos, biomassa e gás natural)	Alto	» Morosidade no processo de licenciamento pelos órgãos ambientais para coprocessamento; » Oferta de combustíveis alternativos pode ser escassa ou de difícil acesso; » Poder calorífico do combustível pode não ser alto o suficiente se comparado ao seu custo	Baixo (depende do combustível)	Baixo/médio (depende da disponibilidade do combustível)
Cimento com adições	Alto	» Oferta de materiais adicionáveis pode ser restrita	Baixo	Baixo/médio (depende da disponibilidade de materiais)
Novos tipos de cimento (Novacem, Calera, Calix e Geopolímeros)	Alto	» Produzidos em pequena escala; » Não há comprovação de que são viáveis economicamente; » Utilização não foi testada no longo prazo; » Necessidade de requalificar os usuários de cimento; » Geopolímeros possuem limitações de desempenho e apresentam custo mais elevado	Muito alto	Muito alto
Captura e armazenamento de carbono (CCS)	Alto	» Nova tecnologia de baixa maturidade, alto risco de investimento, escala produtiva baixa ou inexistente	Muito alto	Muito alto

Fonte: ABDI (2012) e WBCSD (2010).

O aproveitamento do calor dos fornos em outras etapas do processo produtivo já é realizado. Em unidades equipadas com preaquecedores e precalcinadores, o calor emitido nos fornos é reaproveitado no próprio processo para aquecer o material que será transformado em clínquer. Pinho (2012) aponta que há soluções tecnológicas de cogeração que permitiriam gerar energia a partir do calor residual dos gases. Atualmente só há registro desse aproveitamento no Japão, devido ao elevado custo da energia nesse país (ABDI, 2012).

A adoção de novos tipos de cimento e de tecnologias para captura e armazenamento de carbono (CCS) deve tornar-se alternativa para mitigação das emissões de carbono no longo prazo. Os cimentos que não utilizam clínquer devem inicialmente ocupar nichos de mercado e, caso se mostrem viáveis, ter seu uso difundido (WBCSD, 2010). O

estabelecimento de um custo para as emissões pode incentivar a adoção de inovações que resultem em menor intensidade carbônica no setor. O custo das emissões pode ser definido com o estabelecimento de um imposto ou por um mecanismo de mercado, como o Sistema de Comercialização de Emissões Europeu (*European Union Emissions Trading System – EU ETS*).<sup>8</sup>

## Perspectivas para as emissões na produção de cimento

Como visto, a indústria de cimento no Brasil apresenta uma situação favorável em relação ao restante do mundo, em termos de intensidade de emissão de carbono. A necessidade de realização de investimentos elevados em infraestrutura projeta uma demanda crescente por cimento. A tendência, portanto, é de elevação das emissões brutas do setor.

Para os próximos anos, a ampliação do uso de combustíveis alternativos, com destaque para o coprocessamento, e o aumento do uso de adições, em substituição parcial ao clínquer, devem manter-se como as duas principais forças positivas para a redução da intensidade de carbono do segmento. Em relação ao uso de combustíveis alternativos, é importante destacar que uma característica dos fornos de cimento é sua possibilidade de adaptação para uso de diversos combustíveis diferentes, de tal modo que a escolha baseia-se no custo e na disponibilidade. No longo prazo, as maiores oportunidades de redução para esse segmento estão no desenvolvimento de tecnologias de captura e armazenamento de carbono e na difusão de substitutos ao cimento.

## Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. *Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono: caderno 3: nota técnica cimento*. São Paulo, 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil*. 2. ed. Brasília, 2014.

---

<sup>8</sup> O EU ETS é o principal mercado de negociação de carbono em funcionamento no mundo, cobrindo os principais setores emissores de gás carbônico (energia, aço, papel e celulose, cimento, cerâmico etc.) em 31 países (União Europeia, Islândia, Noruega e Liechtenstein). O sistema funciona com o princípio de *cap and trade*, ou seja, é estabelecido um teto para as emissões anuais de gases de efeito estufa (permissões de emissão). A partir desse limite, as empresas participantes recebem ou compram permissões de emissão, que podem ser negociadas, de modo que o limite estabelecido não seja ultrapassado. O custo das permissões cria incentivo para que as empresas adotem medidas para redução de suas emissões.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. *Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixo Carbono na Indústria de Transformação*. Brasília, 2013.

PINHO, M. *Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas indústria do cimento*. Ribeirão Preto: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, 2012.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO – SNIC. *Relatório anual 2008*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/pdf/relat2008-9web.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2015.

\_\_\_\_\_. *Relatório anual 2013*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2013final.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2015.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. Cement Sustainability Initiative. *Cement technology roadmap 2009: carbon emissions reductions up to 2050*. Paris, 2010.



PANORAMAS SETORIAIS  
Mudanças climáticas

# MINERAÇÃO

Pedro Sergio Landim de Carvalho  
Pedro Paulo Dias Mesquita  
Luciane Melo\*

\* Respectivamente, gerente e economista do Departamento de Indústria de Base da Área de Insumos Básicos do BNDES e gerente do Departamento de Pesquisas e Operações da Área de Pesquisa e Acompanhamento Econômico do BNDES.

## Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de minérios (ICMM, 2014). Entre os bens minerais produzidos, destacam-se o ferro, o nióbio, a bauxita e o manganês. A indústria extrativa mineral representou 1,6% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2013,<sup>1</sup> e, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram), a exportação de bens minerais totalizou 15,2% das exportações brasileiras nesse mesmo ano (IBRAM, 2015). Com saldo comercial de US\$ 26 bilhões em 2014, o setor apresenta impacto positivo relevante sobre a balança comercial brasileira. O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação à Mudança do Clima na Mineração (Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono – Plano MBC) aponta ainda a geração de cerca de um milhão de empregos pelo setor (BRASIL, 2013).

De acordo com o *II Inventário de gases efeito estufa do setor mineral*, realizado pelo Ibram, o total de emissões desse segmento<sup>2</sup> representou 0,9% das emissões brasileiras (IBRAM, 2014; BRASIL, 2014) em 2011. O Brasil apresenta, pelas características de suas minas e da sua matriz energética, emissões mais baixas que a de outros países mineradores (BRASIL, 2013).

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) considerou o setor de mineração prioritário. Justifica-se essa priorização pelo destaque que o Brasil possui nessa atividade em termos mundiais e pela relevância dessa atividade para a economia, evidenciada pela participação no produto, saldos comerciais e presença em diversas cadeias produtivas. Além disso, a mineração conta com grandes projetos de investimento, em que a questão da sustentabilidade social e ambiental é cada vez mais importante (BRASIL, 2013).

O Plano MBC, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, foi elaborado com o objetivo, entre outros, de identificar ações que possam mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) da mineração, contribuindo para o alcance dos compromissos voluntários do Brasil no âmbito da PNMC (BRASIL, 2013). Para reduzir as emissões, o Plano MBC indicou objetivos específicos, tais como aumentar o conhecimento a respeito das emissões de GEE do processo de mineração, disseminar boas práticas para redução de emissões, incentivar a ampliação do investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação e garantir apoio às pequenas e médias empresas mineradoras (BRASIL, 2013).

---

<sup>1</sup> Valor da transformação industrial da indústria extrativa mineral, exceto gás e petróleo, obtido em IBGE (2013) e produto interno bruto no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).

<sup>2</sup> Foram inventariadas as emissões de 16 bens minerais e da pelotização (minério de ferro), que representam 90% da produção mineral em termos de valor, com emissões totais de 11,3 milhões tCO<sub>2</sub>eq, e emissões brasileiras de 1,3 bilhão tCO<sub>2</sub>eq em 2011.

As principais fontes de emissões de GEE da mineração são o consumo de energia e de combustível utilizado no transporte de minério dentro da mina. Segundo o Ibram (2014), 90% das emissões de GEE na fase de extração resultam dessas atividades (IBRAM, 2014).

O Plano MBC aponta os principais fatores que afetam a emissão de GEE no segmento de mineração: alterações no tipo de minério extraído, no teor de minério (*mineral grade*) e na relação estéril/minério (*strip ratio*); distância média de transporte (entre a cava e o beneficiamento e entre a cava e a pilha estéril); eficiência energética dos motores utilizados; recuperação mássica e produtividade do processo; e conhecimento das reservas minerais (BRASIL, 2013). Os fatores mencionados afetam, de diferentes formas, a necessidade de beneficiamento e de transporte e, por consequência, o consumo de combustível e de energia. As emissões de GEE na mineração são resultado da combinação de características do bem mineral, da mina e das fontes de energia consumida.

Considerando que na mineração características que determinam o volume de emissões podem variar bastante entre diversos projetos, torna-se ainda mais importante realizar inventários. Segundo o Ibram, quando foi iniciada a realização do *II Inventário de gases efeito estufa do setor mineral*, mais de 75% das empresas associadas não possuíam inventários de emissões públicos para o ano de 2011 (IBRAM, 2014).

A tendência natural é que, ao longo do tempo, as emissões específicas por tonelada de minério cresçam em virtude, principalmente, da deterioração do teor de minério e do aumento da relação estéril/minério (BRASIL, 2013). Dessa forma, a fim de reduzir as emissões de GEE na mineração, o aumento da eficiência dos processos, máquinas e equipamentos utilizados deve agir na direção contrária dessa tendência natural.

## Medidas para mitigação das emissões de gases de efeito estufa

O Plano MBC faz um levantamento de diversas iniciativas de abatimento e, por meio de discussões com representantes e especialistas do setor, foram selecionadas aquelas mais adequadas à realidade brasileira e com maior potencial de redução de emissões. As iniciativas identificadas foram sumarizadas no Quadro 1 a seguir.

Como esperado pelas características da atividade mineradora, as oportunidades de redução de emissões podem ser agrupadas em três conjuntos de medidas: alteração da fonte energética utilizada, otimização energética e uso de novas tecnologias.

A alteração de fonte energética utilizada envolve, principalmente, a substituição de combustíveis não renováveis de alto teor de carbono por combustíveis renováveis ou não renováveis menos carbono-intensivos. A otimização energética inclui trocas de equipamentos ou instalação de peças que reduzam o consumo de

combustível ou eletricidade. Finalmente, o uso de novas tecnologias abrange tanto inovações nos equipamentos quanto tecnologias para o planejamento e desenvolvimento da exploração mineral, além da adoção de processos mais automatizados e integrados, a exemplo de sistemas *truckless*, que substituem o uso de caminhões por correias transportadoras (BRASIL, 2013).

Quadro 1: Iniciativas para redução das emissões na mineração

INICIATIVAS	DESCRIÇÃO	BARREIRAS	POTENCIAL DE REDUÇÃO
Substituição da fonte energética – de combustíveis de alto teor de carbono por combustíveis renováveis ou não renováveis de menor intensidade carbônica	Uso de biocombustíveis no transporte interno	Oferta insuficiente de biocombustíveis e gás a preço competitivo	Médio
	Uso de gás natural na pelotização (parte do esforço observado nos últimos anos)	Logística dos combustíveis	Baixo
Troca ou ajuste de equipamentos com o objetivo de otimizar o consumo de combustível ou eletricidade	Substituição da frota e aumento da capacidade dos caminhões de mineração	Investimento necessário é elevado	Médio
	Otimização da combustão (pelotização)		Baixo
	Instalação de equipamento de otimização de torque de caminhões ( <i>fan clutch</i> )		Médio
	Utilização de equipamentos mais eficientes		Médio
Uso de novas tecnologias na mineração	Alteração de desenho das minas	Uso de correias transportadoras envolve um alto valor de investimento, depende da configuração da mina e reduz flexibilidade	Alto
	Uso de equipamentos avançados para a mineração, tais como auxílio elétrico a caminhões, correias transportadoras associadas à britagem na mina e veículos híbridos		

Fonte: Brasil (2013).

Entre os minérios avaliados no Plano MBC, a extração do minério de ferro e o processo de pelotização foram responsáveis em conjunto por cerca de 70% das emissões de GEE inventariadas em 2011 (IBRAM, 2014). Apesar de o processo de pelotização ser a maior fonte emissora de GEE no setor de mineração, respondendo por 52% das emissões em 2011 (IBRAM, 2014), o uso de pelotas de ferro tem impacto redutor sobre as emissões totais de GEE quando avaliada toda a cadeia de transformação do ferro em aço. Isso decorre da maior eficiência gerada pelo uso de pelotas no processo de redução do minério de ferro para produção do ferro-gusa, resultando em volume menor de emissões de GEE por tonelada produzida (BRASIL, 2013).

A partir das informações constantes no referido inventário do Ibram e no Plano Nacional de Mineração 2030 (BRASIL, 2010), o Plano MBC realizou uma análise de 15

produtos (14 minerais e a pelotização) com o objetivo de identificar o potencial de abatimento das emissões para o ano de 2020 (BRASIL, 2013).<sup>3</sup>

Para calcular o potencial de abatimento de emissões, o Plano MBC partiu dos valores da produção dos bens minerais no ano-base 2008 e dos índices de emissões levantados.<sup>4</sup> A seguir, foram aplicadas as taxas de crescimento de cada minério previstas no Plano Nacional de Mineração 2030, o que resultou no cenário base para 2020. A partir desse número, foram estimados os impactos das oportunidades identificadas (Quadro 1) para quatro produtos (ferro, pelotas, agregados e carvão energético) considerando três cenários diferentes em relação à capacidade de superação das barreiras existentes e níveis de adoção das iniciativas.

Para estimar as emissões futuras e o potencial de redução, foram consideradas as seguintes etapas da mineração: lavra, beneficiamento físico, pelotização e transporte interno à mina. Para fazer a projeção de emissões (cenário base) foram considerados todos os 15 produtos, mas, para estimar o potencial de abatimento, foram examinadas as iniciativas selecionadas para a mineração de ferro, incluindo a pelotização, agregados (brita) e carvão. O potencial de abatimento para a mineração, nos três cenários, varia entre 740 mil e 2,7 milhões tCO<sub>2</sub>eq, contra uma projeção de emissões total de 17,4 MtCO<sub>2</sub>eq em 2020 (BRASIL, 2013).

## Expectativas para as emissões da mineração

O *II Inventário de gases efeito estufa do setor mineral*, publicado pelo Ibram em 2014 para o ano-base 2011, incluiu alguns bens minerais que não haviam sido cobertos no inventário anterior, ano-base 2008. Foram incluídos nessa segunda edição: fosfato, gipsita, areia, brita, carvão mineral e rochas ornamentais. Considerando apenas os bens minerais para os quais há inventário nos dois anos, em que, portanto, a comparação é possível, os dados revelam um aumento nas emissões na maior parte dos bens minerais. A redução das emissões obtida no processo de pelotização compensou o crescimento identificado nos demais bens minerais, fazendo com que as emissões aumentassem praticamente no mesmo percentual do aumento da produção, mantendo a intensidade das emissões inalterada. A Tabela 1 a seguir apresenta a comparação entre os resultados obtidos pelos inventários de 2008 e 2011.

---

<sup>3</sup> O Plano MBC é aplicado aos seguintes produtos minerais: minério de ferro incluindo a pelotização, potássio, fosfato, zinco, níquel, chumbo, ouro, cobre, bauxita, nióbio, manganês, agregados (areia e brita) e carvão mineral. Contudo, as iniciativas de abatimento foram definidas apenas para quatro produtos, responsáveis por 80% das emissões: ferro, pelotas, agregados (brita) e carvão energético.

<sup>4</sup> Os índices de emissões para dez minérios foram definidos a partir do inventário conduzido pelo Ibram. Para os demais, os índices foram obtidos por meio de análises do processo produtivo, entrevistas com empresas e comparações internacionais (BRASIL, 2013).

Tabela 1: Comparativo entre movimentações e emissões 2008-2011

BEM MINERAL	MOVIMENTAÇÃO 2008 (ROM) (10 <sup>3</sup> t)	TOTAL DE EMISSÕES 2008 (tCO <sub>2</sub> eq)	MOVIMENTAÇÃO 2011 (ROM) (10 <sup>3</sup> t)	TOTAL DE EMISSÕES 2011 (tCO <sub>2</sub> eq)	STATUS (movimentação)	STATUS (emissões)
Areia	-	-	346.772	690.923	-	-
Bauxita	38.220	379.499	35.135	477.751	-8,1% ▼	25,9% ▲
Brita	-	-	268.000	533.974	-	-
Carvão	-	-	12.305	13.195	-	-
Caulim	7.912	317.212	7.135	296.456	-9,8% ▼	-6,5% ▼
Cobre	38.788	308.306	63.800	303.362	64,5% ▲	-1,6% ▼
Ferro	491.525	1.516.380	519.300	1.627.929	5,7% ▲	7,4% ▲
Fosfato	-	-	41.383	180.836	-	-
Gipsita	-	-	3.223	10.951	-	-
Manganês	5.574	8.496	5.189	32.996	-6,9% ▼	288,4% ▲
Nióbio	20.970	13.948	8.391	23.419	-60,0% ▼	67,9% ▲
Níquel	6.731	10.863	18.420	518.079	173,7% ▲	4669,2% ▲
Ouro	118.995	301.060	136.500	497.369	14,7% ▲	65,2% ▲
Potássio	2.562	20.231	2.556	22.169	-0,2% ▼	9,6% ▲
Rochas ornamentais	-	-	23.435	114.672	-	-
Zinco	2.241	22.240	2.303	21.586	2,8% ▲	-2,9% ▼
	PRODUÇÃO 2008 (10 <sup>3</sup> t)	TOTAL DE EMISSÕES 2008 (tCO <sub>2</sub> eq)	PRODUÇÃO 2011 (ROM) (10 <sup>3</sup> t)	TOTAL DE EMISSÕES 2011 (tCO <sub>2</sub> eq)	STATUS (movimentação)	STATUS (emissões)
Pelotização	55.300	5.957.420	62.400	5.924.584	12,8% ▲	-0,6% ▼
Total base 2008	788.818	8.855.655	861.129	9.745.700	10,1% ▲	10,1% ▲
Total 2011			1.556.247	11.290.249		

Fonte: Adaptado a partir de Ibram (2014).

A tendência, portanto, é de crescimento gradual da intensidade carbônica da mineração brasileira. O incentivo à adoção de medidas que reduzam as emissões e mudem ou ao menos retardem essa tendência é muito importante, considerando-se o peso e a relevância dessa atividade para a economia do país.

## Referências

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*. Brasília, 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. *Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação à Mudança do Clima na Mineração: Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono (Plano MBC)*. Brasília, 2013.

\_\_\_\_\_. *Plano Nacional de Mineração 2030*. Brasília, 2010.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS – ICMM. *The role of mining in national economies*. 2. ed. London, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *PIA: pesquisa industrial anual: empresa e produto*. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://questionarios.ibge.gov.br/downloads-questionarios/pia-pesquisa-industrial-anual-empresa-e-piapesquisa-industrial-anual-produto.html>>. Acesso em: 13 nov. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. *II Inventário de gases efeito estufa do setor mineral*. Brasília, 2014.

\_\_\_\_\_. *Informações sobre a economia mineral brasileira 2015*. Brasília, 2015.



PANORAMAS SETORIAIS

Mudanças climáticas

# PAPEL E CELULOSE

André Barros da Hora  
Luciane Melo\*

\* Respectivamente, gerente do Departamento de Indústria de Base Florestal Plantada da Área de Insumos Básicos do BNDES e gerente do Departamento de Pesquisas e Operações da Área de Pesquisa e Acompanhamento Econômico do BNDES.

## Introdução

A indústria brasileira de papel e celulose é bastante competitiva, fruto principalmente da alta produtividade da atividade florestal, derivada de décadas de investimentos intensivos em pesquisa e desenvolvimento, assim como das condições edafoclimáticas do Brasil. No período 1970-2013, a produção brasileira de celulose cresceu a taxas médias de 7,1% ao ano, e a produção de papel acompanhou esse movimento, a uma taxa de 5,4% ao ano, o que coloca o Brasil como o quarto maior produtor de celulose e o nono maior produtor de papéis do mundo (IBÁ, 2015). A avaliação é de que há significativo potencial de ampliação dessa indústria no país, induzido tanto pelo mercado externo, no caso da celulose e dos papéis para embalagens, quanto pela demanda interna, uma vez que o consumo nacional de papéis ainda é 15% inferior à média mundial.

Dois atividades distintas compõem o setor de papel e celulose: florestal e industrial, com impactos diversos sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE). O segmento florestal, que atende integralmente à demanda da indústria,<sup>1</sup> é responsável pela fixação de carbono e, considerando-se a expansão anual das áreas de florestas, seu impacto sobre as emissões é positivo. Segundo especialistas, o cálculo das emissões e remoções de carbono aplicado às duas atividades mostraria esse segmento com um balanço positivo. De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), as florestas plantadas para fins industriais no Brasil absorveram, em 2014, 1,69 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> da atmosfera, no processo de fotossíntese, o que equivale a um ano das emissões nacionais (IBÁ, 2015).

O setor de papel e celulose é intensivo em energia, com uma participação de 4,3% no consumo total no Brasil em 2014 (EPE, 2015). Embora energético-intensivo, a maior parte da energia consumida pelo setor é gerada a partir de fontes renováveis, subprodutos de seus processos produtivos. Em 2014 (EPE, 2015), 71% da energia consumida pelo setor foi proveniente de fontes renováveis, destacando-se a participação de 63% de energia térmica e elétrica gerada a partir de biomassa e licor negro (que são zero GEE pelo Greenhouse Gas Protocol), o que faz com que a emissão de GEE da atividade industrial seja mais baixa do que, a princípio, o consumo de energia indicaria. A introdução da atividade florestal nessa análise torna os resultados do setor ainda mais favoráveis: de acordo com informações da empresa CMPC,<sup>2</sup> estima-se que a formação de base florestal sequestre cerca de oito a dez vezes mais CO<sub>2</sub> do que se emite nas plantas industriais.

---

<sup>1</sup> Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa), 100% da madeira utilizada na fabricação de celulose tem origem em florestas plantadas de eucalipto e pinus (BRACELPA, 2013).

<sup>2</sup> Informação fornecida, via e-mail, pela empresa.

A elaboração de inventários de gases de efeito estufa não é prática usual no segmento de papel, mas é relativamente bem desenvolvida em celulose. Apesar de o assunto ainda ter baixo nível de conhecimento geral, os principais líderes do setor já o incorporaram a suas práticas corporativas. Na Fibria, por exemplo, há inventários periódicos de balanço de carbono (sequestros/emissões) e indicadores de desempenho ambiental, reportados em métricas internas que compõem a remuneração variável dos funcionários. Além disso, há iniciativas voluntárias como o Carbon Disclosure Project (CDP) e reportes em relatorias anuais com base no Global Reporting Initiative (GRI) e Dow Jones Sustainability Index (FIBRIA, 2015).

Para o setor de celulose e papel existem ações pontuais de inventários preparados pela Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP). A IBÁ também está desenvolvendo indicadores nesse sentido, porém o trabalho ainda não está concluído, nem divulgado parcialmente.

## Alternativas para a mitigação das emissões no setor de papel e celulose

A celulose é um composto químico natural fibroso presente nos vegetais, cuja extração pode ser realizada por meio de processos mecânicos ou químicos. O objetivo desses processos é dissolver a lignina, substância que liga as fibras da madeira, de modo a obter a celulose. Segundo informações da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO), no Brasil, em 2013, mais de 90% da celulose foi produzida por processos químicos, com predominância do processo *kraft*.<sup>3</sup>

De forma bastante simplificada, a produção do papel envolve a formação de uma massa a partir da celulose, que é depositada para formar a folha, a qual, em seguida, é seca e uniformizada. A secagem é a etapa que mais consome energia, utilizada para retirar água da folha de papel por meio de processos mecânicos e do uso de calor.

A queima de combustíveis para geração de calor e vapor utilizados no processo de produção de celulose e papel é a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa nessa indústria.<sup>4</sup> O setor, ao longo dos últimos anos, vem reduzindo o uso de combustíveis fósseis como fonte de energia. No período 2005-2010, o setor de papel e celulose reduziu as suas emissões, em valores absolutos, em 6,8%, enquanto a produção aumentou 28%.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> Informações obtidas na base de dados da FAO Statistics, da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO).

<sup>4</sup> Não são emitidos gases de efeito estufa pelas reações químicas que ocorrem durante o processo produtivo (ABDI, 2012).

<sup>5</sup> ABDI (2012).

De acordo com informações disponíveis, a intensidade média das emissões no Brasil é significativamente inferior à média mundial (BRACELPA, 2013; ICFPA, 2015).<sup>6</sup>

Dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostram que a energia térmica na indústria de papel e celulose é obtida principalmente pela queima de gás natural, lenha (resíduos de madeira) e lixívia (licor negro). A participação dos combustíveis fósseis nas fontes energéticas do setor, que no período 1970-1979 foi de 53% em média, caiu para 26% nos dez anos seguintes. A partir de 1990 as reduções foram marginais, observando-se uma participação média de 14% no período 2010-2014. Além disso, entre as fontes não renováveis utilizadas para geração de calor, verificou-se uma ampliação do uso de gás natural, menos carbono-intensivo que o óleo combustível. As fontes renováveis, como já apontado, tiveram sua participação elevada, atingindo participação de 71% em 2014, notadamente lenha e lixívia, que em conjunto responderam por 63% da energia consumida (EPE, 2015).

As oportunidades para mitigação das emissões de GEE na indústria de papel e celulose, apresentadas de forma sintética no Quadro 1 a seguir, foram levantadas a partir de ABDI (2012). Como esperado, entre as opções de mitigação do setor, estão relacionadas a implantação de medidas de eficiência energética, a ampliação do uso de fontes renováveis e não renováveis de menor intensidade carbônica e a cogeração. Foram incluídas, adicionalmente, algumas tecnologias emergentes tanto para a produção de papel quanto para a de celulose.

Para a produção de celulose, foram identificadas duas tecnologias inovadoras: a caustificação eletrolítica direta e a gaseificação da lixívia. A caustificação eletrolítica tem como resultado esperado principal a simplificação do processo produtivo. A gaseificação da lixívia tem como resultado o aumento da eficiência energética, com impacto relevante sobre as emissões. Para a produção de papel, foram incluídas três inovações aplicáveis à etapa de secagem: a secagem mecânica em correia condensadora; a formação de folha seca; e a secagem por impulso. As três inovações para a produção de papel são interessantes do ponto de vista da redução das emissões de GEE e, de formas diferentes, procuram tornar o processo de secagem mais eficiente por meio da redução do consumo de energia.<sup>7</sup>

De modo geral, ainda há obstáculos para aplicação das tecnologias emergentes apresentadas, como a falta de produção de bens de capital em escala industrial, o elevado custo de capital para implantação e, principalmente, a ausência de comprovação dos benefícios gerados pela sua utilização (ABDI, 2012).

---

<sup>6</sup> Segundo a Bracelpa (2013), o fator de emissões do setor no Brasil é de 0,35 tCO<sub>2</sub>eq/t, enquanto a média mundial é de 0,65 tCO<sub>2</sub>eq/t. Para os membros do The International Council of Forest & Paper Associations (ICFPA, 2015), em 2012-2013, esse indicador era de 0,57 tCO<sub>2</sub>eq/t produzida.

<sup>7</sup> CGEE (2013) e ABDI (2012) descrevem essas inovações.

A cogeração de energia também se constitui em oportunidade para o setor que já vem sendo utilizada, mas pode ser ampliada.<sup>8</sup> A reciclagem de papel é uma alternativa para redução do uso de energia, pois o consumo na produção de polpa de celulose virgem é superior ao da reciclagem, o que gera um balanço final positivo a favor do reaproveitamento do papel. O impacto nas emissões, contudo, não é claro, pois depende principalmente dos combustíveis utilizados nas unidades de reciclagem em comparação com as unidades que produzem a polpa de celulose virgem (ABDI, 2012).

O Quadro 1, apresentado a seguir, sintetiza as principais oportunidades para redução de emissões na indústria de papel e celulose.

Quadro 1: Medidas para mitigação das emissões de gases de efeito estufa

OPORTUNIDADES DE REDUÇÃO DE EMISSÕES			PONTOS FRACOS	PONTOS FORTES
Novas tecnologias	Aplicadas à produção de celulose	Caustificação eletrolítica direta	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Não há ainda viabilidade técnica para adoção em larga escala;</li> <li>» Baixo impacto sobre consumo de energia e sobre emissões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Redução da necessidade de capital;</li> <li>» Simplificação do controle do processo;</li> <li>» Melhoria da qualidade do produto</li> </ul>
		Gaseificação da lixívia	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Elevados custos de capital;</li> <li>» Falta de comprovação dos resultados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Redução significativa do consumo de energia;</li> <li>» Ampliação da segurança do processo produtivo</li> </ul>
	Aplicadas à produção de papel	Secagem mecânica em correia condensadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Tecnologia ainda não comprovada para vários tipos de papel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Redução significativa do consumo de energia;</li> <li>» Impacto positivo sobre a qualidade e produtividade</li> </ul>
		Formação a seco de folha	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Redução da velocidade de produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Redução significativa do consumo de energia;</li> <li>» Redução da necessidade de capital</li> </ul>
		Secagem por impulso	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Tecnologia não demonstrada em escala industrial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Redução significativa do consumo de energia;</li> <li>» Redução da necessidade de capital;</li> <li>» Aumento da velocidade de produção</li> </ul>
Associadas à geração e ao uso de energia	Aplicadas à energia térmica	Substituir fontes não renováveis por fontes renováveis ou não renováveis de menor intensidade carbônica, como o gás natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Disponibilidade de biomassa e gás natural;</li> <li>» Parte da substituição foi realizada, movimento adicional deve ser apenas marginal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Uso de fontes renováveis é bastante disseminado</li> </ul>
	Aplicadas à energia elétrica	Ampliação do uso da cogeração	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Investimento elevado necessário para instalação do equipamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Tecnologia disponível e disseminada</li> </ul>
Reciclagem			<ul style="list-style-type: none"> <li>» Complexidade logística;</li> <li>» Possibilidade de impacto negativo sobre as emissões de GEE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Redução do consumo de energia</li> </ul>

Fonte: ABDI (2012) e Martin *et al.* (2000).

<sup>8</sup> A cogeração pode ser definida como a produção simultânea e sequenciada de energia térmica e elétrica a partir de um mesmo combustível, possibilitando maior eficiência energética do sistema como um todo em comparação com a produção independente das duas formas de energia (ABDI, 2012).

Das oportunidades de redução de emissões mapeadas para o segmento de papel e celulose, e consolidadas no Quadro 1, aquelas associadas à geração e uso de energia já foram implantadas por todas as grandes empresas brasileiras de celulose.

As produtoras de celulose de mercado (Fibria e Eldorado, por exemplo), celulose vendida para os fabricantes de papéis não integrados, no Brasil e no exterior, possuem base florestal própria, fabricam a celulose a partir da madeira plantada e produzem a própria energia, vendendo o excedente no mercado. Tanto as oportunidades de redução de emissões por meio da substituição de fontes não renováveis por fontes renováveis quanto as aplicadas à energia elétrica (ampliação do uso da cogeração) já são uma realidade na indústria há algum tempo. Essas empresas têm balanço negativo de emissões em sua cadeia de produção (conforme informado em seus relatórios de sustentabilidade), e há muito pouco espaço para reduções adicionais significativas de GEE.

No que se refere às empresas do segmento de papel, há que se fazer uma distinção. Existem empresas integradas que, assim como as de celulose de mercado, possuem base florestal própria, fabricam a celulose a partir da madeira plantada, mas utilizam essa celulose para fabricar o produto final, papéis (Suzano e Klabin, por exemplo). Nesse caso, as oportunidades de redução de emissões mapeadas no Quadro 1, tanto aquelas voltadas à produção de celulose quanto à fabricação de papel, podem ser aplicadas. Entretanto, como a produção é integrada, já há uma sinergia bastante significativa no uso da energia excedente do processo de fabricação de celulose, sendo transferido para utilização no processo de fabricação do papel.

Já as empresas produtoras de papéis não integradas, energo-intensivas sem geração própria de energia, são normalmente de pequeno e médio portes, sem condições financeiras de realizar investimentos que não tragam resultados diretos e, de preferência, no curto prazo. Nesse segmento há mais oportunidades para redução das emissões. Para esse grupo de empresas, medidas de eficiência energética, tais como a recuperação de vapor, a otimização do processo de combustão e o uso de máquinas e equipamentos mais modernos e eficientes, apresentam potencial para reduções significativas de emissões de carbono.

Na linha de utilização de fontes renováveis para geração de energia térmica, parece haver consenso na indústria de que em novas tecnologias o biodesenvolvimento a partir do uso energético da lignina merece atenção e pode no médio prazo vir a ser fonte viável de redução de carbono, dentro do conhecido conceito de *best available technology* (BAT). Porém, ainda é necessário passar pela curva de aprendizado dessa implantação para melhor avaliar e ponderar sobre oportunidades e barreiras existentes. São consideradas aplicações inovadoras para conversão de resíduos industriais

orgânicos tanto aquelas que promovem a redução de geração de metano em aterros industriais como as que permitem o aproveitamento energético de resíduos em geral, como plásticos, papéis, sobras de madeira de construção etc. Tais aplicações, entretanto, na opinião de empresas do setor,<sup>9</sup> ainda estariam sujeitas à análise custo benefício.

## Perspectivas para as emissões do setor

A expectativa para o setor, em termos da emissão de gases de efeito estufa, é a continuidade da redução gradual das emissões. Conforme apontado, o maior desafio está na atualização tecnológica das pequenas e médias empresas produtoras de papel.

As empresas produtoras de celulose ou produtoras de papel integradas são eficientes e atualizadas tecnologicamente. Há, entretanto, empresas produtoras de papel de pequeno e médio porte defasadas, que utilizam maquinário com alta idade tecnológica e elevado consumo de energia. Essas empresas poderiam se beneficiar da atualização tecnológica e da implantação de medidas de eficiência energética.

A fábrica de celulose é, atualmente, uma unidade produtiva que, a partir da biomassa da madeira, produz energia (calor e energia elétrica), celulose, e, no caso de empresas integradas, papel. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, será possível utilizar de modo mais eficiente a biomassa disponível para a produção adicional de artigos de maior valor agregado, tais como químicos, bioprodutos e biocombustíveis, ou para a geração de maior volume de energia. Esse aproveitamento da biomassa deverá ter como efeito uma redução da emissão de carbono, uma vez que produtos obtidos atualmente por meio de fontes não renováveis podem passar a ser produzidos a partir de biomassa, com impacto positivo sobre as emissões.

## Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. *Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono*: caderno 2: nota técnica papel e celulose. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/caderno%2002%20-%20Papel%20e%20celulose.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. *Mudanças climáticas: ações globais precisam ser efetivas*. Folha da Bracelpa, fev./mar. 2013.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. *Eficiência energética: recomendações de ações de CT& I em segmentos da indústria selecionados: celulose*

---

<sup>9</sup> Informação fornecida, via e-mail, por duas empresas do setor entrevistadas.

e papel. *Série Documentos Técnicos*, Brasília, n. 20, set. 2013. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/atividades/redirect/8625>>. Acesso em: 22 out. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço energético nacional 2015: ano base 2014*. Rio de Janeiro, 2015.

FIBRIA. *Novo olhar para o futuro: relatório 2014*. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://fibria.infoinvest.com.br/ptb/6124/relatorio2014-novo-olhar-para-o-futuro-pt.pdf>>. Acesso em: 3 jul. 2015.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. *Relatório IBÁ 2015*. Brasília, 2015.

INTERNATIONAL COUNCIL OF FOREST & PAPER ASSOCIATIONS – ICFPA. *2015 ICFPA sustainability progress report*. [S.l.], 2015.

MARTIN, N. *et al. Emerging energy efficient industrial technologies*. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000. Disponível em: <<http://escholarship.org/uc/item/5jr2m969>>. Acesso em: 3 nov. 2015.

PANORAMAS SETORIAIS  
Mudanças climáticas

QUÍMICA

Felipe dos Santos Pereira  
Livia Tristão Savignon  
Luciane Melo\*

\* Respectivamente, gerente e estagiária do Departamento de Indústria Química da Área de Insumos Básicos do BNDES e gerente do Departamento de Pesquisas e Operações da Área de Pesquisa e Acompanhamento Econômico do BNDES.

## Introdução

O Brasil ocupou a sexta posição em faturamento na indústria química mundial em 2013, com o valor líquido de US\$ 156 bilhões, e, em termos nacionais, a participação do setor no Produto Interno Bruto (PIB) no mesmo ano foi de 2,8% (ABIQUIM, 2015). O crescimento do PIB esperado no médio e longo prazos deve gerar uma ampliação do segmento na economia.<sup>1</sup> Em 2012, a indústria química brasileira respondeu por 2,9% do total de energia consumida (EPE, 2015) e foi responsável por 4% dos gases de efeito estufa (GEE) emitidos nos processos industriais (BRASIL, 2014) no Brasil. No nível mundial, estima-se que a indústria química seja responsável por 7% das emissões de gases de efeito estufa e por 20% das emissões industriais desses gases (AIE, 2014).

Uma característica da indústria química é que ela é constituída por segmentos industriais bastante heterogêneos, que produzem diversos químicos por diferentes rotas tecnológicas. Apesar de serem sintetizados cerca de 70 mil produtos químicos, em termos de emissões de carbono, o processo de síntese de doze produtos<sup>2</sup> foi responsável por mais de 95% das emissões diretas de GEE no setor químico brasileiro em 2007 (ABDI, 2012). Em decorrência dessa característica da indústria química, os estudos que buscam avaliar as oportunidades de contribuição do setor para mitigação das emissões de GEE não focam em todo o conjunto de sua produção, mas em alguns produtos específicos.

A Fundação Getúlio Vargas (ABDI, 2012) estimou que 73% das emissões dos gases de efeito estufa na indústria química são resultantes da combustão para geração de energia térmica, 21% do processo industrial propriamente dito e 6% da geração e consumo de energia elétrica.<sup>3</sup> O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL, 2014) publicou a estimativa de emissão dos principais gases de efeito estufa para 2012. Os volumes totais de emissões de GEE referentes aos setores de energia e processos industriais são listados na Tabela 1.

De modo geral, no setor industrial, os gases de efeito estufa são emitidos nos processos produtivos e pelo consumo de energia. Na indústria química, especificamente, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por exemplo, é emitido como resultado de queima de combustíveis para fins de geração de energia térmica (geração de vapor, aquecimento de fornos e secagem de produtos). Já as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e de óxido nitro-

---

<sup>1</sup> Para projeções de crescimento do setor utiliza-se uma elasticidade em relação ao PIB de 1,25, ou seja, a cada ponto de crescimento do PIB, espera-se um crescimento de 1,25 do consumo de produtos químicos (ABIQUIM, 2010).

<sup>2</sup> Amônia, ácido nítrico, ácido adípico, ácido fosfórico, carbureto de cálcio, metanol, eteno, dicloroetano e cloreto de vinila (MVC), acrilonitrila, coque de petróleo calcinado, negro de fumo e óxido de eteno.

<sup>3</sup> Essa estimativa considera o segmento produtos químicos de uso industrial (PQI) de empresas associadas à Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim).

so (N<sub>2</sub>O) são resultantes do processo de síntese química, que gera esses gases como subprodutos. Contudo, a maior parte das emissões de GEE na indústria química provém do consumo de energia térmica e elétrica (ABDI, 2012).

Tabela 1: Emissões de CO<sub>2</sub>eq por gás em 2012

SETORES	GASES	tCO <sub>2</sub> eq
Energia	CO <sub>2</sub>	431,5
	CH <sub>4</sub>	9,9
	N <sub>2</sub> O	4,7
Processos industriais	CO <sub>2</sub>	77,4
	CH <sub>4</sub>	0,2
	N <sub>2</sub> O	0,2
	Outros	7,5

Fonte: Brasil (2014).

Em 1992, a Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim) lançou o Programa Atuação Responsável, que incentiva a implantação de melhorias ambientais, entre as quais a redução de emissões e a publicação de indicadores de desempenho. Atualmente, está tornando-se cada vez mais usual a realização de inventários para quantificar as emissões de GEE. Esses inventários são de grande relevância quando são propostas ações de redução das emissões de GEE, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Em geral, as grandes empresas do setor apresentam esses inventários de carbono nos seus relatórios anuais, como pode ser observado na Tabela 2, a seguir. Além disso, muitas delas são associadas a programas voluntários que objetivam estimular, por meio de premiações, a prática de gestão de carbono, como: o Programa Brasileiro Greenhouse Gas Protocol, que busca estimular a cultura corporativa para a elaboração e publicação de inventários de emissões de gases de efeito estufa, e o Carbon Disclosure Project (CDP), organização internacional sem fins lucrativos que fornece um sistema global de divulgação de indicadores ambientais.

Tabela 2: Resultados de inventários selecionados

EMPRESAS	tCO <sub>2</sub> eq/t PRODUTO COMERCIALIZÁVEL
Braskem	0,63
Elekeiroz	0,189
Oxitenó	0,72

Fonte: Elaboração própria, com base em Braskem (2014), Elekeiroz (2014) e Ultra (2013).

Pode-se observar que os esforços realizados pelas empresas do setor têm gerado uma redução nas emissões, visto o Gráfico 1 publicado pela Abiquim em *Histórico de Desempenho: Programa de Atuação Responsável*, com informações sobre intensidade de emissão de dióxido de carbono equivalente (ABIQUIM, 2014).

É possível verificar uma forte redução da intensidade de emissão de CO<sub>2</sub> total entre os anos de 2006 e 2007. Essa diminuição, proveniente do decréscimo da parcela das emissões de N<sub>2</sub>O, foi devida à instalação de sistemas de conversão do óxido nitroso em nitrogênio (gás inerte e que não contribui para o efeito estufa) gerado em unidades fabris que emitem esse efluente gasoso. Tais iniciativas foram realizadas no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), criado com o objetivo de financiar projetos que promovessem uma redução das emissões de gases de efeito estufa.<sup>4</sup>

Gráfico 1: Intensidade de emissão de dióxido de carbono equivalente (em kgCO<sub>2</sub>eq/t produto)



Fonte: Abiquim (2014).

## Iniciativas para mitigação das emissões de gases de efeito estufa

Os Quadros 1 e 2 reproduzem as principais medidas de mitigação identificadas pela Fundação Getúlio Vargas para a indústria química. Como esperado, diversas medidas de mitigação estão relacionadas à geração e consumo de energia, térmica e elétrica, mas, além disso, merecem destaque as possibilidades resultantes da substituição de matérias-primas por fontes renováveis (ABDI, 2012).

<sup>4</sup> O MDL é um mecanismo estabelecido pelo Protocolo de Quioto segundo o qual países em desenvolvimento implementam projetos que reduzem as emissões de gases de efeito estufa, gerando Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), que podem ser utilizadas pelos países desenvolvidos para cumprir seus compromissos de redução de emissões. Para informações sobre MDL no Brasil, ver Brasil (2014).

Quadro 1: Medidas de mitigação na geração e consumo de energia (térmica e elétrica)

PROCESSO	MEDIDA DE MITIGAÇÃO	VIABILIDADE	BARREIRAS
Diversos	Uso de fontes renováveis de energia (biomassa – etanol, bagaço da cana de açúcar, resíduos de celulose, floresta plantada, outros) na matriz energética.	Média	Disponibilidade de biomassa, custo de transporte. Exigências ambientais.
	Uso de lixo plástico do resíduo urbano como fonte de carbono para finalidades térmicas e geração própria de energia elétrica.	Baixa	Disponibilidade de lixo em qualidade e quantidade e logística. Necessidade do uso de tecnologias de controle de emissão de dioxinas e furanos.
	Substituição de óleo combustível por gás natural.	Alta	Disponibilidade de gás natural a preços competitivos.
	Utilização de 100% da capacidade instalada de produção operando os equipamentos térmicos e mecânicos na capacidade nominal.	Alta	Competição com os produtos importados.
	Economia de energia nas instalações existentes (melhorias em processos, retirada de “gargalos”, aumento da eficiência em fornos, caldeiras e fornalhas).	Alta	Custos elevados para adaptação das instalações, com tempo de retorno do investimento incompatível.
Geração própria	Investimentos em fontes alternativas de energia (eólica e solar).	Baixa	Custos elevados. Foco no negócio químico.
	Investimentos em cogeração.	Alta	Custos elevados para adaptação das instalações, com tempo de retorno do investimento incompatível.

Fonte: ABDI (2012).

Quadro 2: Medidas de mitigação por meio de substituição de matérias-primas

PROCESSO	MEDIDA DE MITIGAÇÃO	VIABILIDADE	BARREIRAS
Amônia	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de amônia.	Alta	Disponibilidade e custo de matéria-prima.
Eteno	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de polietileno.	Alta	Já em produção, sujeita somente à disponibilidade de matéria-prima.
Propeno	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de polipropileno.	Média	Investimento alto, disponibilidade e custo de matéria-prima.
Metanol	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de metanol.	Alta	Disponibilidade e custo de matéria-prima.
Éter etil-terc-butílico (ETBE)	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de ETBE.	Alta	Já em produção, sujeita somente à disponibilidade de matéria-prima.
Diversos	Introdução de álcool de segunda geração e outros produtos (biorrefinarias).	Alta	Tecnologia, disponibilidade e custo de transporte de matéria-prima.
	Uso de lixo urbano como fonte de carbono para matérias-primas.	Média	Disponibilidade de lixo em qualidade e quantidade e logística.
	Uso de dióxido de carbono como matéria-prima.	Média	Disponibilidade e logística.
	Uso de glicerina derivada de produção de biodiesel de ácidos graxos.	Baixa	Tecnologia, disponibilidade e qualidade da matéria-prima, custo de transporte e logística.

Fonte: ABDI (2012).

No que diz respeito às medidas de mitigação associadas à geração e consumo de energia, observa-se que elas conferem oportunidades marginais de ganho de desempenho, visto que, em geral, as empresas do setor já apresentam níveis otimizados no uso energético.

Uma avaliação da Agência Internacional de Energia (AIE) sobre o potencial de redução do consumo de energia de produtos químicos e petroquímicos em diversos países por meio da adoção de *best practice technologies* (BPT), ou seja, das tecnologias mais avançadas disponíveis para uso em escala industrial, mostra o Brasil como um país com pouco potencial para redução do consumo, atrás apenas do Canadá (AIE, 2014). Essa avaliação confirma, portanto, o limitado espaço para redução de emissões por meio de medidas de eficiência energética.

Acredita-se que a substituição de matérias-primas seja a principal oportunidade da indústria química brasileira. O maior projeto desse tipo em nível mundial está em operação no Brasil, onde a Braskem opera a primeira planta de etanol em escala industrial, baseada em cana-de-açúcar, para produção de polietileno, com capacidade de produção de 200 kt/ano (BAIN & COMPANY, 2014; AIE, 2014).

A produção de químicos com base em biomassa é considerada uma tecnologia emergente, e verifica-se que há diversos projetos sendo desenvolvidos paralelamente com diferentes propostas de rotas tecnológicas (BAIN & COMPANY, 2014). As alternativas, contudo, vão muito além das mencionadas no Quadro 2, pois a trajetória tecnológica de mudança de matéria-prima apresenta possibilidades mais amplas que a adoção do etanol como insumo, conforme enfoque dado no quadro mencionado.

A transição de matéria-prima fóssil para fontes renováveis pode ser feita usando-se novas ferramentas de biotecnologia para conversão de açúcares e outros derivados da biomassa diretamente em moléculas químicas de maior utilidade que o próprio etanol. Essa oportunidade, no entanto, ainda requer aprimoramento tecnológico e de desenvolvimento de aplicações para as novas moléculas provenientes da biorrefinaria, criando novas cadeias a partir delas. Com esses avanços, tais moléculas seriam candidatas a novas "plataformas químicas",<sup>5</sup> substituindo os atuais intermediários químicos da cadeia petroquímica: amônia, eteno, propeno, metanol e o próprio etanol (BAIN & COMPANY, 2014).

Exemplos dessa tendência são o farneseno e o ácido succínico, intermediários capazes de serem convertidos em diversos produtos, substituindo derivados de petróleo em uma vasta gama de cadeias a jusante, como: cosméticos, aditivos alimentícios, lubrificantes, espumas para estofados e construção civil.

---

<sup>5</sup> Plataformas químicas são intermediários químicos capazes de dar origem a uma ampla gama de derivados com usos finais diversos a partir de transformações físicas e químicas.

A utilização de matérias-primas renováveis permite tanto a produção de compostos químicos análogos aos produzidos atualmente (*drop-in*) quanto a síntese de novos compostos (não *drop-in*) com potencial para substituir os produtos já existentes. Para os compostos análogos, não há necessidade de realizar qualquer modificação na utilização dos produtos. Para os novos compostos, é necessário não apenas desenvolver um novo processo e comprovar a viabilidade da produção em larga escala, mas também desenvolver suas aplicações (BAIN & COMPANY, 2014).

Outra oportunidade que, embora não seja citada nos Quadros 1 e 2, pode ser aplicada na indústria química é o uso de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (do inglês *carbon capture and storage* – CCS) para abatimento do CO<sub>2</sub> emitido nas correntes industriais de exaustão. Projetos nesse sentido já se encontram em fase adiantada de desenvolvimento, especialmente na Europa. Se implementada com sucesso, essa seria uma alternativa de elevado impacto potencial em termos de redução das emissões de GEE na atmosfera. Apesar de seu custo ser elevado e de envolver desafios na questão do transporte e armazenamento, há potencial para aplicação em determinados processos químicos em que a concentração de gás carbônico é elevada. Quanto mais elevada a concentração de CO<sub>2</sub>, mais eficiente é a aplicação de um processo de captura e armazenamento. Há carência, no entanto, de regulação que incentive a adoção desse tipo de tecnologia no país, como é feito por meio do *European Union Emissions Trading System* (EU ETS) na Europa.

## Perspectivas futuras das emissões de gases de efeito estufa no setor químico

Entre as principais alternativas identificadas para redução da intensidade de emissões da indústria química, destaca-se a substituição por matérias-primas renováveis na produção de substâncias químicas.

Além do uso do etanol como insumo, destaca-se ainda a utilização de ferramentas de biotecnologia para conversão de açúcares e outros derivados da biomassa diretamente em moléculas químicas, como o farneseno e o ácido succínico, que poderiam substituir os atuais intermediários da cadeia petroquímica.

Os maiores desafios dessa alternativa consistem, principalmente: (i) no custo de coleta, transporte, estocagem e tratamento da matéria-prima em escalas economicamente viáveis para o setor; (ii) no desenvolvimento de tecnologias de processo para a conversão da biomassa em intermediários químicos; e (iii) na adoção desses intermediários pelos segmentos industriais a jusante, o que envolve esforço de desenvolvimento de aplicações.

## Referências

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. *Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono: caderno 4: nota técnica química*. São Paulo, 2012.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA – AIE. *Roadmap de tecnologia reduções de energia e de GEE na indústria química via processos catalíticos*. São Paulo, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. *Histórico de desempenho: programa de atuação responsável 2013*. São Paulo, 2014.
- \_\_\_\_\_. *O desempenho da indústria química brasileira em 2014*. São Paulo, 2015.
- \_\_\_\_\_. *Pacto nacional da indústria química*. São Paulo, 2010.
- BAIN & COMPANY. *Potencial de diversificação da indústria química brasileira: relatório 4 químicos com base em fontes renováveis*. São Paulo, 2014.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil*. 2. ed. Brasília, 2014.
- BRASKEM. *Relatório anual 2014*. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.braskem-ri.com.br/download/RI/20943>>. Acesso em: 18 nov. 2015.
- ELEKEIROZ. *Relatório anual de sustentabilidade 2014*. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.elekeiroz.com.br/PT/investidores/Relatorio%20Anual%20de%20Sustentabilidade/Elekeiroz%20-%20Relat%C3%B3rio%20Anual%20de%20Sustentabilidade%202014.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2015.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço energético nacional 2015: anobase 2014*. Rio de Janeiro, 2015.
- ULTRA. *Relatório anual 2013*. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.ultra.com.br/Ultra/relatorio/2013/br/doc/UltraparRA2013.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

PANORAMAS SETORIAIS

Mudanças climáticas

# SIDERURGIA

Pedro Sergio Landim de Carvalho

Pedro Paulo Dias Mesquita

Luciane Melo\*

\* Respectivamente, gerente e economista do Departamento de Indústria de Base da Área de Insumos Básicos do BNDES e gerente do Departamento de Pesquisas e Operações da Área de Pesquisa e Acompanhamento Econômico do BNDES.

## Introdução

A siderurgia é responsável por cerca de 6,5% das emissões totais e aproximadamente 1/3 das emissões industriais de carbono no nível mundial (PAULA, 2012). Do total de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor, mais de 80% são resultantes do consumo de insumos energéticos (CARVALHO *et al.*, 2015). A produção de aço e ferro-gusa respondeu por 6,2% do total de energia consumida no Brasil em 2014 (EPE, 2015) e 43% das emissões de GEE nos processos industriais no Brasil em 2012 (BRASIL, 2014).<sup>1</sup> O gás carbônico (CO<sub>2</sub>) corresponde a mais de 90% dos GEE emitidos na siderurgia. Além dos GEE, a siderurgia emite gases que provocam a chuva ácida e material particulado.

De modo geral, as indústrias siderúrgicas podem ser classificadas em dois tipos de acordo com sua estrutura de produção: as usinas integradas e as semi-integradas. Nas usinas integradas, as atividades de transformação do minério de ferro e de produção do aço são realizadas na mesma unidade industrial. A produção em usinas integradas é composta de três etapas (CARVALHO *et al.*, 2015): a redução (produção de ferro); o refino (produção e resfriamento do aço); e a laminação (conformação mecânica dos produtos siderúrgicos destinados à comercialização).

As usinas semi-integradas não incorporam a etapa de redução e são alimentadas principalmente com sucata ferrosa, mas também com ferro-gusa. No Brasil, há ainda os produtores independentes de ferro-gusa ("guseiros"), que utilizam, majoritariamente, fornos à base de carvão vegetal.

Na rota integrada a coque, responsável por 74% da produção de aço em termos mundiais (CARVALHO *et al.*, 2015), o carvão mineral é a principal fonte de energia térmica, servindo também como agente redutor do minério de ferro. O processo de produção de ferro-gusa utiliza o carvão mineral, transformado em coque, como fonte de energia e de carbono para a transformação do minério de ferro no alto-forno (PAULA, 2012). No Brasil há ainda usinas integradas com fornos que utilizam carvão vegetal como agente termorredutor. A produção de aço com carvão vegetal em substituição ao coque é considerada um importante meio para redução de emissões no setor siderúrgico (BRASIL, 2010).

Nas usinas integradas a coque, a etapa de redução é responsável por 80-85% do consumo de energia, e portanto, concentra as principais oportunidades de mitigação de emissões e eficiência energética (PAULA, 2012).

A etapa de produção e refino do aço, embora não seja intensiva em consumo energético, é relevante do ponto de vista de emissões que são geradas pela necessária

---

<sup>1</sup> As emissões de GEE no processo industrial da siderurgia incluem as emissões referentes ao consumo de insumos energéticos na etapa de redução (BRASIL, 2014).

diminuição do nível de carbono contido no ferro-gusa. Nessa fase, o oxigênio soprado reage com o ferro-gusa líquido, provocando a emissão de monóxido de carbono (CO) e de gás carbônico (CO<sub>2</sub>).

As usinas semi-integradas utilizam, principalmente, sucata ferrosa para a produção e o refino de aço líquido. A utilização de sucata permite não apenas reduzir o consumo de energia como também as emissões geradas na etapa de redução (produção do ferro-gusa). Nessas usinas, a carga (composição de sucata e ferro-gusa) é fundida a temperaturas elevadas, com o uso intensivo de energia elétrica em fornos elétricos a arco (EAF). Nas usinas semi-integradas, essa etapa, de acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), responde por 70-75% da energia total consumida (CGEE, 2010). Como trata-se de energia elétrica, as emissões são indiretas e dependem da matriz energética do país. A ampliação da participação de fontes renováveis para geração de energia elétrica, portanto, reduz as emissões de gases de efeito estufa na rota semi-integrada.

A indústria brasileira possui resultados que, comparados à média mundial, demonstram uma situação favorável em relação aos indicadores de consumo de energia, emissões de GEE e eficiência no uso de materiais, como pode ser comprovado pela Tabela 1 a seguir. Especialistas e representantes de diversas empresas do setor siderúrgico, consultados por Paula (2014) por meio de entrevistas, apontaram que a siderurgia brasileira apresenta um desempenho ambiental e energético superior à média mundial, mas aquém do Japão, Coreia do Sul e Europa.

Tabela 1: Comparação de indicadores da siderurgia brasileira

	EMISSIONES ESPECÍFICAS DE CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> eq/t de aço bruto)		CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA (GJ/t de aço bruto)		EFICIÊNCIA NO USO DE MATERIAIS (% material convertido em produtos, coprodutos e subprodutos)	
	MUNDO (World Steel Association – WSA)	BRASIL (Instituto Aço Brasil)	MUNDO (World Steel Association – WSA)	BRASIL (Instituto Aço Brasil)	MUNDO (World Steel Association – WSA)	BRASIL (Instituto Aço Brasil)
2009	1,8	1,59	20,1	18,2	97,9	98,5
2010	1,8	1,7	20,7	18,7	97,7	98,1
2011	1,7	1,7	19,6	19,4	94,4	98,1
2012	1,7	1,7	19,6	n/d	96,4	n/d

Fonte: Carvalho *et al.* (2015).

## Iniciativas para mitigação das emissões de gases de efeito estufa na siderurgia

São quatro as principais alternativas que têm sido usadas pelas empresas brasileiras para reduzir as emissões de GEE na siderurgia: a cogeração de energia elétrica por

meio do reaproveitamento de calor e de gases do processo; a substituição de insumos/combustíveis; a otimização do controle de processos com automação; e os programas de sensibilização/treinamento de fornecedores (CARVALHO *et al.*, 2015).

No mundo, reduções significativas nas emissões de carbono somente são esperadas a partir da disseminação de novas tecnologias. Entre as inovações destacam-se aquelas voltadas para reduzir o consumo de energia e gerar menores emissões na etapa de redução, ou seja, de processos alternativos ao alto-forno: a redução sólida; a autorredução; e a fusão redutora (CARVALHO *et al.*, 2015).

Há vários projetos nessa linha, alguns em estágio de demonstração, outros já operando em escala comercial. No Brasil, foi desenvolvida a tecnologia Tecnored, cuja planta piloto está em funcionamento. Esses projetos apresentam elevada heterogeneidade no que diz respeito ao tipo de equipamento, estágio de desenvolvimento comercial, tamanho das plantas e desempenho energético e ambiental (PAULA, 2012).<sup>2</sup> Além dos riscos usualmente associados à adoção de uma nova tecnologia, a difusão de inovações na siderurgia é lenta, uma vez que o tempo de operação dos altos-fornos, na rota integrada, é bastante longo, compatível com o elevado valor do investimento necessário para sua instalação. Considerando que predomina na siderurgia brasileira a produção por meio de altos-fornos a coque, a difusão das inovações na etapa de redução deve ser vagarosa e com baixo impacto no curto e médio prazos.

Assim como ocorre em outros setores maduros, a maioria das inovações de processos são incorporadas nas máquinas e equipamentos e realizadas prioritariamente por empresas de engenharia e produtoras de equipamentos (PAULA, 2012). Com o objetivo de desenvolver novas tecnologias para reduzir, de forma significativa, as emissões de gás carbônico, têm surgido na indústria siderúrgica iniciativas com a participação de várias instituições e financiamento público.

Destacam-se duas iniciativas para desenvolvimento de tecnologias que visam minimizar as emissões de CO<sub>2</sub> no processo siderúrgico: a europeia Ultra-Low CO<sub>2</sub> Steelmaking (ULCOS) e a japonesa CO<sub>2</sub> Ultimate Reduction in Steelmaking process by innovative technology for cool Earth 50 (COURSE 50).

O projeto europeu, denominado ULCOS, reúne empresas responsáveis por cerca de 90% da produção regional, universidades, centros de pesquisa e fornecedores, totalizando 48 organizações, sob a coordenação da Arcelor Mittal, com objetivo de desenvolver tecnologias para reduzir significativamente a emissão de gases de efeito estufa na siderurgia (ULCOS, [201-?]).

---

<sup>2</sup> Paula (2012) apresenta um quadro comparativo desses diversos processos.

Entre os subprojetos no âmbito do ULCOS, destaca-se o Hlsarna, que é uma tecnologia de redução ainda em desenvolvimento, com uma planta-piloto em funcionamento na Holanda. A tecnologia Hlsarna isoladamente reduziria as emissões de carbono em 20%, mas esse valor pode chegar a 80% quando ela é combinada com tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS). Outra vantagem dessa tecnologia seria a sua flexibilidade, pois é possível utilizar como combustível carvão mineral, biomassa, gás natural ou mesmo hidrogênio. Esse projeto é financiado pelos participantes do consórcio (60%) e pela União Europeia (40%).

Outra tecnologia em desenvolvimento a partir do projeto ULCOS é o processo eletrolítico de produção de ferro. O uso da eletrólise para produção de ferro pode ser atrativo para a redução de emissões de gases de efeito estufa quando a energia elétrica utilizada no processo for proveniente de fontes alternativas ou de hidroeletricidade. Essas tecnologias ainda devem levar décadas para se tornarem viáveis em escala industrial e para serem difundidas.

A iniciativa japonesa COURSE 50 é coordenada pela The Japan Iron and Steel Federation e conta com a participação das maiores siderúrgicas japonesas (Nippon Steel, JFE Steel, Sumitomo Metal, Kobe Steel e Nisshi). A intenção é desenvolver até 2030 diversas tecnologias que reduzam em 30% as emissões de carbono e que estejam disponíveis para utilização em escala industrial em 2050. Os recursos para pesquisa, que totalizam mais de US\$ 300 milhões nas duas primeiras fases (2008-2012) e (2013-2017), foram integralmente aportados pelo governo japonês (JISF, [2011?]).

Além do apoio ao desenvolvimento de novas tecnologias, o principal mecanismo europeu para limitar as emissões de GEE é o *European Union Emissions Trading System* (EU ETS), maior mercado de emissões mundial. Esse mercado funciona com o mecanismo de *cap and trade*, ou seja, é estabelecido um limite anual de emissões por empresa, que recebem ou compram permissões de emissão. Essas permissões podem ser negociadas a fim de garantir que as emissões realizadas estejam cobertas. Esse mecanismo garante que o teto de emissões não seja ultrapassado, além de incentivar a adoção de medidas para mitigá-las.

O Quadro 1 a seguir apresenta de forma bastante resumida as principais oportunidades para a mitigação de emissões de GEE na siderurgia brasileira, considerando as tecnologias disponíveis. A apresentação detalhada dessas oportunidades está disponível em Carvalho *et al.* (2015).

Conforme já mencionado, identifica-se uma oportunidade de mitigação das emissões de carbono na indústria siderúrgica brasileira com a ampliação da produção de aço que utilize carvão vegetal (biomassa) como redutor, obtido a partir de florestas plantadas (BRASIL, 2010). Em usinas integradas a carvão vegetal de florestas planta-

das, a emissão de CO<sub>2</sub> equivale a 10% do valor observado para uma usina integrada a coque (PAULA, 2012). Em 2013, segundo as informações do Instituto Aço Brasil, 10% da produção brasileira de aço foi realizada com uso de carvão vegetal como redutor, sendo que 88,7% do carvão vegetal utilizado na produção de aço foi proveniente de florestas plantadas próprias, 7,7% de florestas plantadas de terceiros e 3,6% de resíduos florestais legalizados<sup>3</sup> (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2014).

Quadro 1: Medidas para redução de emissões de gases de efeito estufa na siderurgia

AÇÃO DE REDUÇÃO	POTENCIAL DE REDUÇÃO EMISSÕES	BARREIRAS	INVESTIMENTO NECESSÁRIO	VIABILIDADE
Eficiência energética no processo de sinterização – uso de tecnologia de <i>heat recovery</i>	Alto	Investimentos necessários são relativamente elevados.	Médio	Alta
Eficiência energética no processo de sinterização – melhorias incrementais variadas	Médio	São diversas as melhorias que, se adotadas em conjunto, têm um potencial de redução de emissão médio.	Baixo	Alta
Eficiência energética no processo de coqueificação – uso de sistemas para controle de mistura de carvão	Médio	Uso de sistemas, embora tenha impacto médio sobre a redução de emissões, apresenta impacto elevado sobre o consumo de coque, o que torna a sua viabilidade alta.	Alto	Alta
Eficiência energética no processo de coqueificação – apagamento a seco e outras	Médio	Diversas tecnologias incluídas nessa ação têm potenciais diversos no que diz respeito à redução de emissões.	Alto	Baixa
Eficiência no alto-forno – aumento de injeção de <i>pulverized coal injection</i> (PCI) e de gás natural	Alto	Essas duas tecnologias permitem uma economia de energia significativa, com impacto sobre a redução de emissões e médio custo de capital.	Médio	Alta
Cogeração a partir do gás de alto-forno	Médio	Essa tecnologia somente é viável para novos investimentos.	Alto	Baixa
Melhorias dos sistemas de automação e controle do alto-forno	Médio	Custo relativamente baixo do investimento, associado à redução do consumo de energia, torna alta a viabilidade desses investimentos. A maior barreira identificada é a necessidade de qualificação da mão de obra.	Baixo	Alta
Tecnologias mais eficientes para recuperação de gás de aciaria	Alto	Investimento relativamente elevado, com retorno a médio prazo.	Alto	Média

<sup>3</sup> Todas as empresas associadas ao Instituto Aço Brasil aderiram ao Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal, lançado em 2012. Entre os compromissos do protocolo está a previsão de que 100% da demanda de carvão vegetal seja suprida por florestas plantadas (próprias ou de terceiros) em 2016. Esse protocolo não teve adesão de produtores independentes de ferro-gusa (“guseiros”).

AÇÃO DE REDUÇÃO	POTENCIAL DE REDUÇÃO EMISSÕES	BARREIRAS	INVESTIMENTO NECESSÁRIO	VIABILIDADE
Melhorias na rota de usinas semi-integradas	Médio/alto	Destacam-se a introdução de processos de automação e controle, uso de queimadores <i>oxy-fuel</i> e o preaquecimento da sucata.	Médio	Média/alta
Lingotamento tipo <i>near shape</i>	Muito alto	Apesar do volume de investimentos necessário ser elevado, o aumento da eficiência torna a adoção dessas tecnologias interessante.	Alto	Alta
Uso de queimadores mais eficientes – lingotamento e laminação	Alto	Impactos positivos sobre redução do consumo de energia e redução de emissões combinados a investimento reduzido tornam a adoção dessa tecnologia muito atrativa.	Baixo	Alta
Sistemas de monitoramento e controle dos laminadores	Médio	Assim como em outras etapas, o uso de sistemas de monitoramento e controle tem impacto positivo sobre a eficiência energética, e o investimento necessário é baixo.	Baixo	Alta
Forno arco elétrico (EAF) a corrente contínua (DC)	Alto	Uso de corrente contínua ao invés de corrente alternada de modo a reduzir em 5% o consumo de energia elétrica. O custo de tal adaptação é alto.	Médio	Média
Melhorias dos sistemas de automação e controle no forno arco elétrico (EAF)	Alto	Custo relativamente baixo do investimento, associado à redução do consumo de energia, torna alta a viabilidade desses investimentos. Maior barreira identificada é a necessidade de qualificação da mão de obra.	Baixo	Alta

Fonte: Carvalho *et al.* (2015).

A possibilidade de expansão do uso do carvão vegetal, contudo, é limitada, pois não é viável substituir o coque utilizado em altos-fornos por carvão vegetal, e as usinas integradas a coque são, atualmente, a rota mais eficiente e predominante na produção de aço.

O carvão vegetal no Brasil é utilizado por algumas empresas integradas para a produção de aço, mas principalmente pelo segmento produtor de ferro-gusa, denominado “guseiro”. É importante destacar que a produção de gusa com carvão vegetal é uma atividade tipicamente brasileira. Além das unidades instaladas no Brasil, há apenas duas no mundo: uma na Argentina e outra no Paraguai. A Argentina paralisou os altos-fornos em 2001 e a unidade paraguaia foi adquirida pela empresa Vettori, um dos maiores produtores de gusa brasileiros, e está em operação (PAULA, 2014).

O uso de carvão vegetal pelo segmento guseiro, contudo, apresenta problemas. Entre os problemas pode-se apontar a utilização, por parte dos produtores, de madeira nativa para a produção do carvão vegetal e a baixa eficiência dos fornos dedicados

a sua produção. A utilização de florestas plantadas é facilitada pela disponibilidade de terras e a existência de tecnologia para seu desenvolvimento, mas exige investimentos elevados, realizados com antecedência mínima de seis anos (PAULA, 2014).

Para esse segmento, a prioridade seria realizar investimentos em florestas plantadas e na difusão de fornos mais eficientes para produção do carvão vegetal (BRASIL, 2010), além de outros investimentos que procurassem dotar essa atividade de maior eficiência.<sup>4</sup>

#### Quadro 2: Medidas para redução das emissões de gases de efeito estufa para produtores independentes de ferro-gusa

AÇÃO DE REDUÇÃO	POTENCIAL DE REDUÇÃO	BARREIRAS	INVESTIMENTO NECESSÁRIO
Carvão vegetal – florestas plantadas	Alto	Investimento necessário para plantio de florestas e tempo necessário para maturação do investimento são elevados.	Alto
Carvão vegetal – fornos mais eficientes	Alto	Investimento necessário é mais elevado, mas fornos mais eficientes são utilizados por parte dos produtores.	Médio
Tecnologias mais eficientes para segmento guseiro (por exemplo, cogeração e PCI)	Médio	Custos são elevados considerando-se condições de mercado atuais para o segmento, embora essas tecnologias já sejam utilizadas por alguns produtores.	Médio

Fonte: Paula (2014).

O setor de gusa enfrenta uma conjuntura desfavorável, apresentando elevada capacidade ociosa e sem perspectivas de recuperação da produção (PAULA, 2014). Ao contrário do observado para um alto-forno a coque, o custo de paralisar o alto-forno a carvão vegetal é relativamente baixo, assim como o custo de retomar a produção, e não há risco de defasagem tecnológica (PAULA, 2014). Trata-se, dessa forma, de uma atividade com pouca intensidade tecnológica, baixa intensidade de capital e reduzidas barreiras à entrada e à saída (PAULA, 2014).

### Perspectivas para as emissões na produção siderúrgica

O crescimento da produção de aço utilizando-se carvão vegetal proveniente de florestas plantadas pode ser uma oportunidade para redução da intensidade carbônica do setor. No longo prazo, a difusão de novas tecnologias permitirá a mitigação das emissões de GEE pela siderurgia. A tendência é que a difusão dessas tecnologias

<sup>4</sup> Paula (2014) aponta três tecnologias cuja adoção pelos produtores de ferro-gusa traria um aumento da produtividade e da eficiência dessa atividade: a instalação de centrais termoeletricas visando ao aproveitamento de gases dos fornos para a cogeração de energia; a utilização da tecnologia de injeção de carvão pulverizado (PCI); e a sinterização. Quanto à instalação de centrais termoeletricas e à injeção de carvão pulverizado, a avaliação é de que os produtores de gusa irão, paulatinamente, adotá-las. No que se refere à sinterização, há dúvidas sobre os reais ganhos que oferece. Para a redução das emissões, a utilização de fornos mais eficientes na produção de carvão vegetal e de madeira com origem em florestas plantadas são as medidas com impactos mais significativos.

seja lenta e ocorra à medida que o mercado se expanda e novas usinas sejam instaladas. A manutenção da trajetória de redução gradual da intensidade carbônica desse segmento poderá não ser suficiente para compensar o crescimento decorrente do uso mais intensivo de aço na economia, o que pode levar a um aumento das emissões desse setor em níveis absolutos.

## Referências

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil*. Brasília, 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. *Plano setorial de redução de emissões da siderurgia: sumário executivo*. Brasília, 2010.

CARVALHO, P. S. L. *et al.* Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade. *BNDES Setorial*, n. 41, Rio de Janeiro, p. 181-236, mar. 2015.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. *Siderurgia no Brasil 2010-2025*. Brasília, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço energético nacional 2015: ano base 2014*. Rio de Janeiro, 2015.

INSTITUTO AÇO BRASIL. *Relatório de sustentabilidade*. Rio de Janeiro, 2014.

PAULA, G. M. de. *Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas: produção independente de ferro-gusa (“guseiros”): relatório final*. Ribeirão Preto: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, 2014.

\_\_\_\_\_. *Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas Tecnológicas: siderurgia: relatório final*. Ribeirão Preto: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, 2012.

THE JAPAN IRON AND STEEL FEDERATION – JISF. COURSE 50. *Outline of COURSE 50*. Tokyo, [2011?]. Disponível em: <[http://www.jisf.or.jp/course50/outline/index\\_en.html](http://www.jisf.or.jp/course50/outline/index_en.html)>. Acesso em: 20 nov. 2015.

ULCOS. *About ULCOS*. [S.l.], [201-?]. Disponível em: <[http://www.ulcos.org/en/about\\_ulcos/home.php](http://www.ulcos.org/en/about_ulcos/home.php)>. Acesso em: 20 nov. 2015.





Editado pelo  
Departamento de Divulgação  
Janeiro de 2016



Ministério do  
Desenvolvimento, Indústria  
e Comércio Exterior

