



Centro Clima

CENTRO DE ESTUDOS INTEGRADOS SOBRE
MEIO AMBIENTE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050:
Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano
Governamental**

PROJETO IES-Brasil – 2050

CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ

Apoio:

Instituto Clima e Sociedade (ICS)

WWF – Brasil



PROJETO IES-Brasil – 2050

**Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e
Mudanças Climáticas
(Centro Clima/COPPE/UFRJ)**

**Implicações Econômicas e Sociais do
Cenário de Plano Governamental – 2050**

Relatório Técnico

Autor

William Wills

Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental

CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ

COORDENAÇÃO GERAL

Emilio Lèbre La Rovere

COORDENAÇÃO EXECUTIVA

Carolina Burle Schmidt Dubeux

MODELAGEM MACROECONÔMICA

William Wills (coordenador)

Julien Lefèvre

Carolina Grottera

Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)

Carolina B.S. Dubeux (coordenadora)

Michele Karina Cotta Walter

Ana Maria Rojas Méndez

Isabella da Fonseca Zicarelli

Setor Energético

Amaro Olímpio Pereira Junior
(coordenador)

Sergio Henrique Ferreira da Cunha

Gabriel Castro

Mariana Weiss de Abreu

Setor Industrial

Amaro Olímpio Pereira Junior
(coordenador)

Felipe Santos C.B. Santos

Carolina B.S. Dubeux

Setor de Resíduos

Carolina B.S. Dubeux

Angéli Viviani Colling

Setor de Transporte

Márcio de Almeida D'Agosto
(coordenador)

Daniel Neves Schmitz Gonçalves
*(Laboratório de Transporte
de Carga – LTC/COPPE/UFRJ)*

Luiza Di Beo Oliveira

Integração dos Modelos Energéticos de Demanda

Claudio Gesteira

Colaboração

Daniel Oberling

Saulo Machado Loureiro

Assistente de Coordenação

Isabella da Fonseca Zicarelli

Apoio

Carmen Brandão Reis

Elza Ramos

Sumário

Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental 2050	1
1. Metodologia de Modelagem	1
1.1. Integração entre o modelo IMACLIM-BR (top-down) e os modelos setoriais (bottom-up)	1
2. Elaboração do Cenário de Plano Governamental (CPG)	8
2.1. Descrição das premissas do Cenário de Plano Governamental (CPG)	9
2.1.1. População mundial	9
2.1.2. Atividade econômica mundial	9
2.1.3. Preço internacional do petróleo	10
2.1.4. População nacional	10
2.1.5. Evolução da produtividade do trabalho	11
2.1.6. Taxa de crescimento do PIB do Brasil no horizonte estudado	11
2.1.7. Divisão das famílias por classe de renda	13
2.1.8. Premissas setoriais	14
3. Resultados e Discussão	17
4. Intensidade de emissões da economia e Intensidade de emissões per capita	23
5. Referências Bibliográficas	25
6. Anexo I – O modelo IMACLIM-BR – Aspectos teóricos e calibração	26
Referências Bibliográficas	52

Tabelas

Tabela 1.	Definição das classes de renda no modelo IMACLIM-BR	13
Tabela 2.	Resultados Macroeconômicos – Cenário de Plano Governamental – CPG	17
Tabela 3.	Postos de Trabalho por Setor Econômico (milhares)	19
Tabela 4.	Renda Anual Média per capita, por classe de renda (Mil R\$ de 2015).....	19
Tabela 5.	Taxa de poupança das famílias, por classe de renda	20
Tabela 6.	Consumo per capita – Eletricidade (R\$ de 2015)	21
Tabela 7.	Consumo per capita – Alimentação em casa (R\$ de 2015)	21
Tabela 8.	Consumo per capita – Serviços (R\$ de 2015)	21
Tabela A1.	Compatibilização dos setores das Contas Nacionais do IBGE com os setores da SAM	29

Figuras

Figura 1.	Fluxograma de informações na integração entre os modelos Setoriais (BU) e o modelo de equilíbrio geral IMACLIM-BR.....	2
Figura 2.	Abordagem Metodológica: Diagrama da Modelagem Integrada	4
Figura 3.	Evolução da população mundial	9
Figura 4.	Taxa média de crescimento do PIB mundial	10
Figura 5.	População nacional (milhões)	11
Figura 6.	Crescimento do PIB (variação real anual – % a.a.) – Média histórica e projeção	12
Figura 7.	Indicadores selecionados (base 2005 = 1)	23
Figura A1.	Estrutura da Matriz de Contabilidade Social para o Brasil	28

Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental 2050

1. Metodologia de Modelagem

O modelo macroeconômico IMACLIM-BR (Wills, 2013) foi utilizado na simulação do Cenário de Plano Governamental (CPG) com horizonte 2050. O IMACLIM-BR foi construído especialmente para descrever a economia brasileira, podendo ser alimentado por modelos setoriais e combinando as abordagens de modelagem top-down e bottom-up. Dessa forma, permite avaliar as implicações macroeconômicas e sociais de diferentes cenários, superando limitações de modelos que utilizam apenas uma ou outra metodologia.

O modelo IMACLIM-BR (Wills, 2013) é um modelo de equilíbrio geral computável (CGE) híbrido, projetado para analisar os efeitos macroeconômicos no médio e longo prazo de políticas climáticas, numa estrutura de contabilidade casada em que os fluxos em valores monetários e físicos (com um foco especial no Balanço Energético) estão em equilíbrio. A natureza híbrida do modelo permite avançar no diálogo e na representação do comportamento de diferentes setores, o que é crucial para uma boa avaliação dos impactos das políticas climáticas.

1.1. Integração entre o modelo IMACLIM-BR (top-down) e os modelos setoriais (bottom-up)

Na abordagem do IMACLIM-BR, especialmente em cenários de mais longo prazo, como é o caso do horizonte deste estudo, 2050, a modelagem de diversas fronteiras de produção é necessária e possível – estas diferentes fronteiras de produção são consequências de diferentes vetores de preços relativos e das tecnologias disponíveis no longo prazo, apresentando assim um avanço em relação às fronteiras de produção estáticas, representadas por funções do tipo CES, que são calibradas em dados de diversas décadas no passado e por isso não conseguem representar uma fronteira de produção no futuro de forma adequada.

Com esta lógica em mente, o IMACLIM-BR se utiliza de informações de especialistas e de modelos setoriais (Bottom-Up) para descrever as curvas de possibilidade de inovação relevantes para o presente estudo. A incorporação dessas informações setoriais no modelo IMACLIM-BR se deu através da troca de informações de produção e consumo de energia, e das informações como os fluxos de caixa, investimentos totais no período, substituição de combustíveis, eficiência energética, e outros. Para cada setor tem-se uma lista das tecnologias que podem ser implementadas até o ano 2050, associando os custos de investimento e operação à troca de combustíveis, redução no consumo de

combustíveis ou de outros insumos. Com estas informações foi possível se alterar no modelo de equilíbrio geral IMACLIM-BR os coeficientes técnicos (consumo de combustíveis – trocas e redução de consumo – fertilizantes, capital, etc) dos diferentes setores produtivos nos quais novas tecnologias foram identificadas pelos especialistas. Com isto foi possível chegar a uma descrição detalhada da economia em 2050 após a implementação de todas as novas tecnologias selecionadas.

Como as novas tecnologias identificadas não foram inseridas no IMACLIM-BR em valores absolutos, mas em termos de coeficientes técnicos, o modelo IMACLIM-BR ajusta automaticamente o nível de investimento necessário e também as reduções/trocas nos consumos de combustíveis e outros insumos relevantes segundo a visão dos especialistas, mantendo a consistência entre o nível de atividade de cada setor e o potencial de redução de consumo de energia e de emissões de nova tecnologia incorporada no CPG.

A figura a seguir apresenta o fluxograma de informações entre os modelos e as iterações que foram necessárias para se atingir um alinhamento adequado dos modelos.

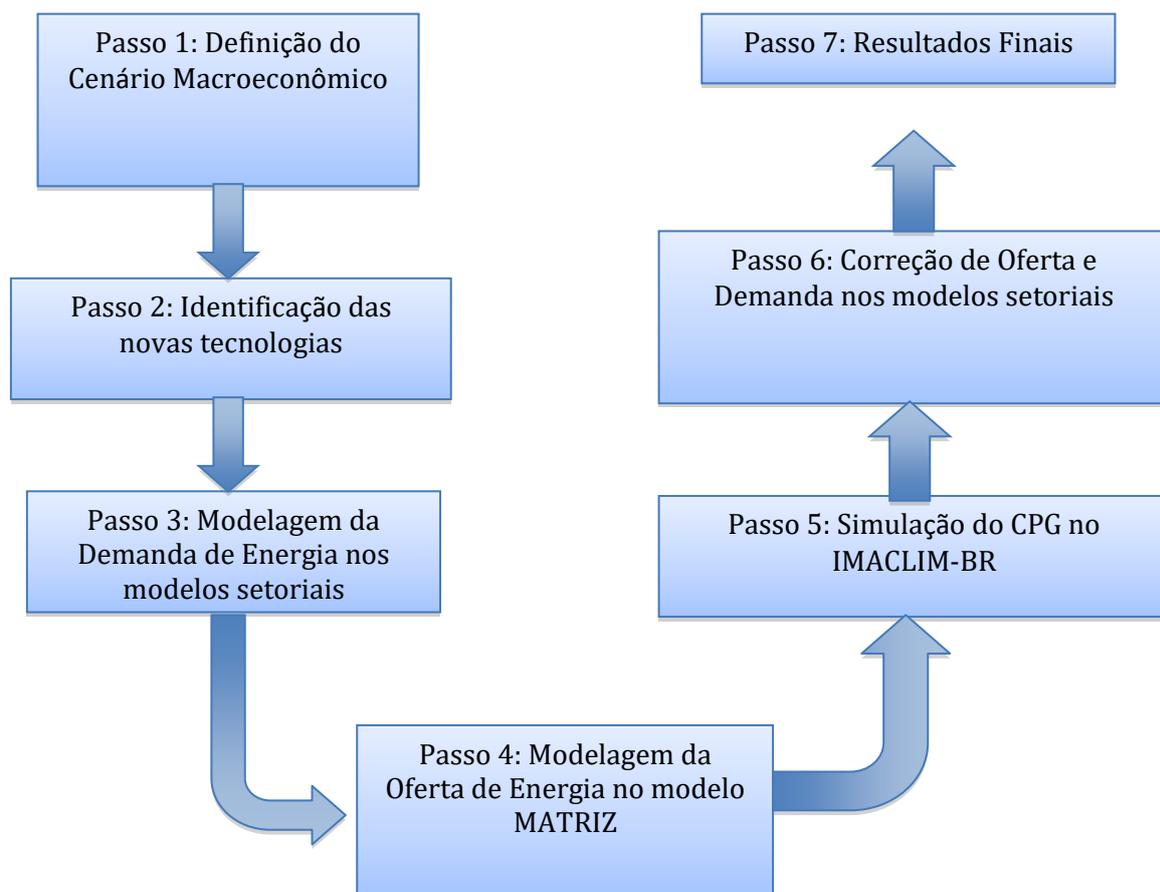


Figura 1. Fluxograma de informações na integração entre os modelos Setoriais (BU) e o modelo de equilíbrio geral IMACLIM-BR

- O primeiro passo foi o da definição do cenário macroeconômico, que teve como base o cenário da EPE (2015), mas que teve suas taxas de crescimento reduzidas.
- O segundo passo consistiu no trabalho da equipe técnica no sentido de avançar no detalhamento e identificação de novas tecnologias que devem entrar até 2050.
- No terceiro passo, as novas tecnologias foram inseridas nos modelos setoriais para que pudesse ser calculada as demandas de energia por setor, que foram consolidadas no modelo LEAP.
- O quarto passo consistiu na simulação do modelo MATRIZ, de forma a atender a demanda de energia a cada ano fornecida pelo modelo LEAP.
- No quinto passo foi realizada a calibração do modelo IMACLIM-BR, tentando conciliar o cenário macroeconômico de base com os níveis de atividade setoriais e com a correta evolução dos coeficientes técnicos, passada pelos modelos setoriais.
- No sexto passo, os novos níveis de atividade de cada setor produtivo foram informados aos modelos setoriais, que então foram ajustados para aquela nova realidade macroeconômica, alinhando os níveis de oferta ao nível de demanda, e garantindo alinhamento em volumes físicos entre os diversos modelos setoriais, o modelo de oferta de energia MATRIZ, e o modelo de equilíbrio geral IMACLIM-BR.
- No sétimo passo foi feita a consolidação dos níveis de produção, consumo de combustíveis e emissões de gases de efeito estufa para se chegar aos resultados finais do projeto.

A Figura 2, a seguir, descreve esquematicamente a modelagem integrada utilizada neste estudo, que teve importante troca de informações e grande interação entre os modelos setoriais e o modelo macroeconômico IMACLIM-BR (adaptado de Wills, 2013).



Figura 2. Abordagem Metodológica: Diagrama da Modelagem Integrada

Fonte: adaptado de Wills (2013)

A Figura 2 apresenta a forma de integração dos modelos, com ênfase especial para os modelos que calculam a demanda e oferta de energia, e o modelo IMACLIM-BR, que é o modelo que efetivamente faz a integração entre todos os setores.

São contabilizadas todas as fontes de emissão de GEE, como Uso da Terra, Mudanças no Uso da Terra e Florestas (LULUCF); Agricultura e Pecuária; Produção e Uso de Energia (desagregado por setores: indústria, transportes, setor energético, residencial, serviços, agricultura); Processos Industriais e Resíduos.

O modelo IMACLIM-BR retrata a economia brasileira de forma aberta: 19 setores produtivos (6 setores energéticos, 6 setores da indústria pesada, resto da indústria, agricultura e pecuária, construção, transporte de cargas, transporte de passageiros e serviços). O número de setores

produtivos e sua agregação podem variar, segundo as questões a serem respondidas. Em relação ao consumo final das famílias, optou-se por simular o presente cenário com as famílias divididas em 6 classes de renda. Há a descrição das interações entre 4 setores institucionais (Famílias, Empresas, Governo e Resto do Mundo).

O IMACLIM-BR¹ adota o enfoque de um modelo CGE neoclássico tradicional no que diz respeito à descrição das escolhas dos produtores e consumidores, porém a estrutura de descrição técnica dos sistemas produtivos foi especialmente projetada para facilitar a calibração com informações de modelos setoriais, com o objetivo de garantir grande realismo técnico mesmo em simulações de cenários com grande desvio em relação ao cenário de referência.

Em relação à demanda final, o modelo possui uma função de demanda com elasticidade-preço e elasticidade-renda, promovendo escolhas de consumo, a princípio, entre os 19 setores, com atendimento mínimo das necessidades básicas.

O modelo descreve detalhadamente a distribuição de renda primária e secundária entre os 4 setores institucionais, com foco no sistema fiscal e nas transferências do governo, o que é primordial para a simulação de diferentes formas de reciclagem das receitas oriundas de taxas de carbono, de forma a atingir diferentes objetivos concomitantes, como a redução de emissões, crescimento econômico e diminuição da desigualdade social.

O modelo foi desenvolvido para representar situações subótimas da economia brasileira, como por exemplo, através da representação da rigidez do mercado de trabalho, que é representada por uma curva de salários. A evolução do comércio exterior é representada através de elasticidades aos termos de troca, e a questão da competitividade dos setores produtivos e da economia brasileira como um todo pode ser analisada.

Para calibrar o modelo no ano base, 2005, foi necessário construir uma matriz insumo-produto híbrida, e uma matriz de contabilidade social – SAM, para representar a economia brasileira e o sistema fiscal com grande detalhamento (Wills, 2013; Wills e Lefevre, 2012). O modelo é inovador devido à integração de informações setoriais ou bottom-up ao resto da economia através da estrutura de equilíbrio geral, top-down. Essa metodologia é uma opção interessante para avaliar os efeitos macroeconômicos de políticas climáticas especialmente se comparada à abordagem tradicional dos modelos de equilíbrio geral computável, que utilizam funções de produção com elasticidades de substituição constantes, cuja utilização é questionável para a simulação de taxas de carbono elevadas ou grandes desvios do cenário de referência.

¹ Informações mais detalhadas podem ser encontradas no Anexo I.

A elaboração da matriz insumo-produto híbrida passou por uma cuidadosa fase de ajustes de nomenclatura e manipulações de valores de forma a garantir uma total compatibilização das Contas Nacionais com o Balanço Energético. Um sistema de contabilidade dupla mantém essas duas matrizes (fluxos monetários e fluxos físicos) sempre ligadas através de uma terceira matriz, a matriz de preços, que é variável e endógena ao modelo. O sistema de contabilidade casada pode ser considerado a ponte que permite a comunicação e conciliação entre as duas visões parciais e complementares do mundo: a abordagem bottom-up e a abordagem top-down.

Para este estudo foi desenvolvida uma versão dinâmica recursiva simplificada do modelo IMACLIM-BR. Com este novo desenvolvimento, pode-se simular diferentes regimes de crescimento econômico e diferentes períodos de investimento, por exemplo. Foi implementada uma equação de evolução do capital dinâmica, onde o capital no tempo $t+n$ é função do capital no tempo t , depreciado a uma determinada taxa, mais a necessidade de investimento do período n . Além disso, o modelo IMACLIM-BR também pode receber a cada ano informações sobre as tecnologias em atividade e as necessidades de investimento, vindas dos modelos setoriais. Assim, tem-se tanto a evolução do parque tecnológico, a dinâmica de capital e um bom detalhamento das necessidades de investimento, todas variáveis dependentes da trajetória percorrida, caracterizando um modelo CGE dinâmico recursivo.

Para este estudo foram simulados três regimes diferentes. O primeiro regime compreendeu o período entre 2005 e 2015, e foi importante para calibrar e atualizar o modelo para a realidade econômica vivida entre 2005 e 2015. Desta forma, o ano 2015 se torna ponto de partida para as simulações. O segundo período simulado foi o 2016-2030. Este período foi escolhido porque representa o ano final das INDCs brasileiras, e porque neste médio prazo nenhuma grande revolução tecnológica deve acontecer. O último período simulado foi o 2031-2050, período que já considera as novas tecnologias entrando de forma mais significativa, impactando de forma importante no consumo de energia e nas emissões de gases de efeito estufa.

É importante ressaltar que o modelo IMACLIM-BR encontra-se preparado para simular diferentes regimes de crescimento e investimentos a cada 5 anos, se for preciso². Entretanto, devido à limitação de tempo, especialmente pela dificuldade de se executar sucessivas rodadas dos modelos setoriais – necessárias para as interações com o IMACLIM-BR, não foi possível aumentar o número de regimes de crescimento e investimento, de forma a obter cenários mais precisos.

² Do ponto de vista do modelo IMACLIM-BR, sua estrutura está agora preparada para trocar informações com os modelos setoriais a cada ano se for preciso. Entretanto, para isto, será necessário desenvolver os módulos setoriais em linguagem de programação compatível com o IMACLIM-BR, a fim de tornar possível uma simulação integrada ano a ano.

A ferramenta de modelagem proposta se mostrou bastante completa e flexível para representar o comportamento de cada setor produtivo. A arquitetura integrada aqui proposta, que teve como base aquela descrita em Wills (2013), serviu de base para o diálogo entre os atores interessados em encontrar uma trajetória de desenvolvimento para o país que alie crescimento econômico e diminuição da desigualdade social a uma menor intensidade de carbono da economia, superando algumas das limitações metodológicas encontradas em estudos anteriores.

2. Elaboração do Cenário de Plano Governamental (CPG)

O cenário CPG do projeto IES-Brasil 2 se baseia em narrativas qualitativas de histórias de futuros plausíveis e pertinentes a partir de hipóteses sobre a evolução da economia brasileira, descritas no Plano Nacional de Energia – PNE 2050 (EPE, 2015). A partir da tradução dessas hipóteses em valores quantitativos para os dados de entrada dos modelos matemáticos IMACLIM-BR (equilíbrio geral macroeconômico) e dos módulos setoriais, são projetadas as variáveis-chave descritivas da economia e calculadas as emissões de GEE de cada fonte.

De acordo com a abordagem da metodologia de cenários, as projeções não são previsões, ou seja, seu objetivo não é o de fornecer o futuro que se julga o mais provável. Além disso, o cenário CPG construído pelo IES-Brasil 2 até 2050 foi um cenário exploratório, e não normativo, ou seja, para verificar quais as consequências resultantes das premissas selecionadas neste cenário, e não as formas de se chegar a um cenário mais desejado.

Como indicado anteriormente, cenário macroeconômico de base adotou premissas bem semelhantes às do Plano Nacional de Energia (PNE 2050) quanto à estrutura econômica, entretanto, considerou taxas de crescimento um pouco menores, cujo detalhamento se dará mais a frente. Este plano setorial governamental é o de mais longo prazo, abrangendo todo o período de análise, até o horizonte de 2050. Adicionalmente, se baseia em taxas elevadas de crescimento econômico mundial e da economia brasileira, pressupondo o sucesso das políticas públicas aplicadas para superar a crise econômica. Constitui, portanto, uma referência apropriada para uma futura análise comparativa de cenários de mitigação, a serem construídos futuramente visando identificar implicações econômicas e sociais da adoção de medidas de mitigação de emissões.

Dentro deste quadro macroeconômico de referência, o cenário considerado neste estudo foi o do “Plano Governamental”, pressupondo a plena implantação dos planos setoriais governamentais, o PNE 2050 e o de outros setores, inclusive os Planos Setoriais de Mitigação e as INDCs com horizonte 2030 apresentadas na COP 21 em Paris.

Diferentemente de alguns estudos anteriormente mencionados, este cenário não é o de uma linha de base sem nenhuma mitigação de emissões de GEE (“business as usual”). Trata-se de um cenário de mitigação, incorporando as políticas e medidas já decididas e em implantação no país. Não são incluídas, porém, medidas de mitigação adicionais às já estabelecidas nas políticas governamentais, projetando-se apenas a continuidade de sua execução após 2030, até o ano 2050.

2.1. Descrição das premissas do Cenário de Plano Governamental (CPG)

Esta seção apresenta o conjunto de premissas utilizadas na calibração dos modelos setoriais e do modelo macroeconômico IMACLIM-BR, que foi calibrado de forma a atingir os valores mais próximos possíveis dos números fornecidos nesta seção.

O cenário macroeconômico utilizado na modelagem do projeto IES-Brasil foi construído com base em estudos prospectivos oficiais empreendidos pela Empresa de Pesquisa Energética, em especial os relatórios do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050). O relatório “Cenário Econômico 2050” (Nota Técnica DEA XX/15) (EPE, 2015), divulgado em setembro de 2015, fornece a maioria das variáveis incorporadas no modelo, complementado pelo relatório “Demanda de Energia 2050” (Nota Técnica DEA 13/15) (EPE, 2016) e por contribuições específicas dos membros do CEC. O PNE 2050 fornece prospecções de longo prazo até o ano de 2050, contando com dados para os anos intermediários divididos em períodos quinquenais, incorporados na modelagem.

2.1.1. População mundial

A população mundial cresce a uma taxa média de 0,8% a.a., chegando a 8,3 bilhões de pessoas em 2030 e 9,3 bilhões de pessoas em 2050. O crescimento mais expressivo se dá nos países em desenvolvimento, em especial na África e Ásia.

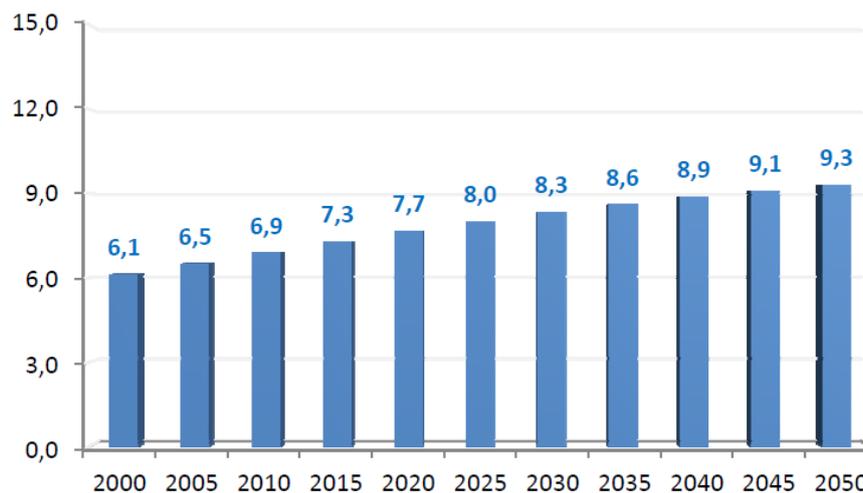


Figura 3. Evolução da população mundial

Fonte: EPE (2015)

2.1.2. Atividade econômica mundial

O nível de atividade mundial evolui de forma acelerada no período entre 2013 e 2020, apresentando uma média de 3,8% a.a., puxado pelo crescimento das economias emergentes, ao passo que os países desenvolvidos se recuperam da crise econômica iniciada em 2008/2009. Após 2020, verifica-se uma desaceleração do crescimento, em função do arrefecimento nas taxas de crescimento da China e de outros países emergentes. Durante o período 2021-2030, estima-se que o PIB mundial cresça a 3,2% a.a., durante o período 2031-2040, estima-se que o PIB mundial cresça a 2,7% a.a., e durante o período 2041-2050, estima-se que o PIB mundial cresça a 2,4% a.a..

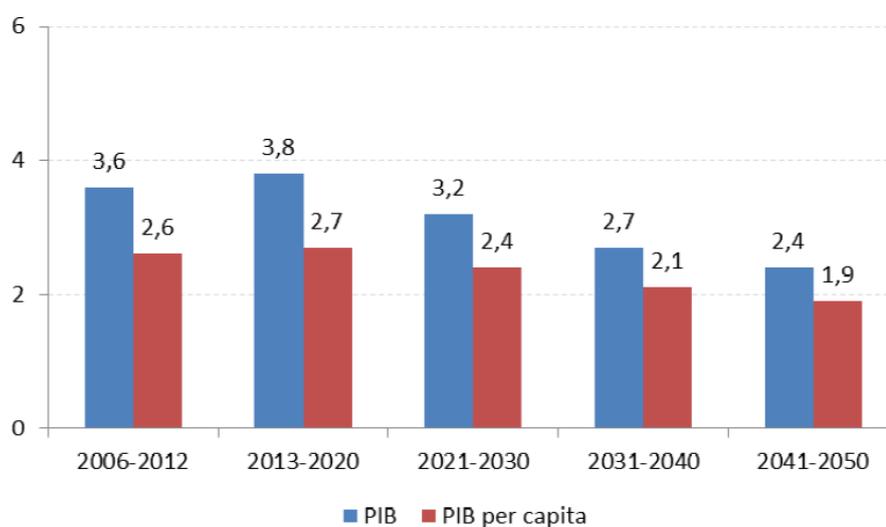


Figura 4. Taxa média de crescimento do PIB mundial

Fonte: EPE (2015)

2.1.3. Preço internacional do petróleo

Foi fornecida pelo CEC a estimativa para o preço do barril de petróleo, estando a mesma em linha com as projeções do PNE 2050. Durante todo o período 2016-2050, o preço do barril de petróleo (Brent) gira em torno de 85 US\$/barril (preços constantes de 2013). Dentre os determinantes para o nível apontado destacam-se: i) recuperação do crescimento econômico mundial; ii) maturação de projetos de E&P de petróleo e gás (particularmente com recursos não-convencionais); iii) pico de produção do *shale/tight oil* norte-americano, estimado em torno de 2020; iv) aumento da competitividade de outras fontes substitutas (incluindo fontes renováveis e o gás natural não convencional, sobretudo *shale/tight gas*); v) redução da participação do papel do petróleo como ativo financeiro especulativo e vi) gradual elevação da eficiência energética e da substituição por outras fontes.

2.1.4. População nacional

Estima-se uma intensificação da tendência de desaceleração da taxa de crescimento populacional brasileira, função de menores taxas de fecundidade, que já vem sendo observada nas últimas décadas. Em 2030, a população atinge o patamar de 223 milhões de pessoas (IBGE, 2014).

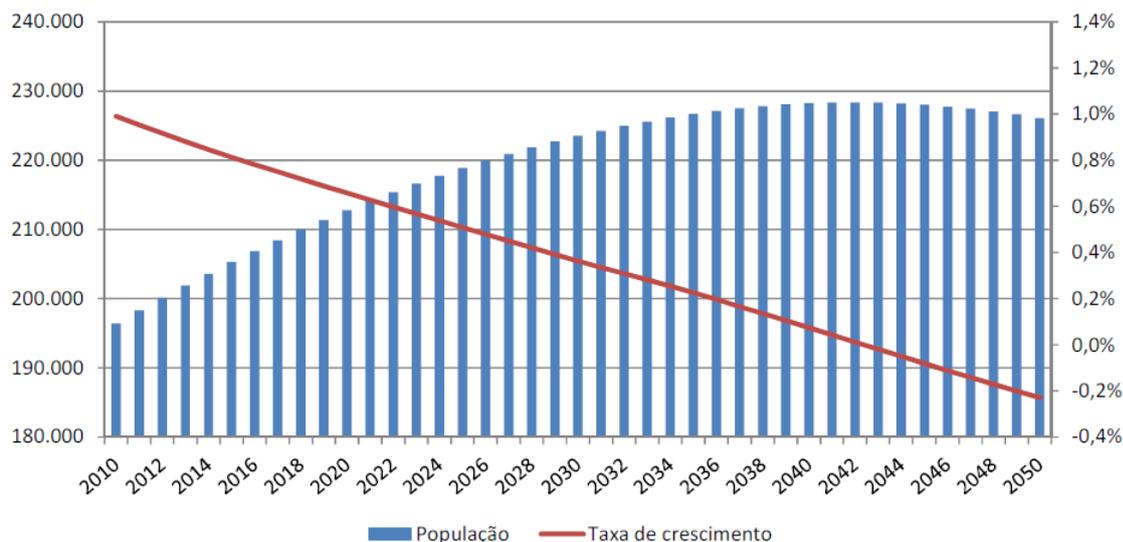


Figura 5. População nacional (milhões)

Fonte: EPE (2015), a partir de IBGE (2014)

2.1.5. Evolução da produtividade do trabalho

O Cenário de Plano Governamental possui como uma de suas premissas que o Brasil continuará a diminuir a desigualdade de renda entre as diferentes classes de renda, assim irá aumentar investimentos em educação, de forma a aumentar a competitividade brasileira. O aumento de renda e o maior investimento em educação contribuem para tornar a mão-de-obra mais qualificada e, portanto, mais produtiva. A hipótese utilizada no IMACLIM-BR de evolução da produtividade média do trabalhador por setor é condizente com o crescimento da produção setorial apresentado no PNE 2050.

2.1.6. Taxa de crescimento do PIB do Brasil no horizonte estudado

O cenário macroeconômico doméstico é caracterizado pela redução do "Custo Brasil" a partir da melhoria da infraestrutura, contribuindo para a redução de custos de transporte e aumento da competitividade dos setores produtivos. Esperam-se também avanços no âmbito educacional, com maiores investimentos nesta área, parte deles oriundos das receitas de exploração de petróleo na camada do Pré-Sal, além de uma reforma da previdência, de modo a estabilizar os gastos em relação

ao PIB nos padrões de 2005. Estas políticas contribuem para uma maior produtividade geral da economia brasileira.

Em termos de política econômica, espera-se que o país mantenha o chamado tripé macroeconômico, baseado em câmbio flutuante, metas de inflação e de superávit primário.

Desta forma, estima-se que o Brasil crescerá a taxas mais baixas do que a média mundial até 2020, quando saíria da atual crise. Entre 2021 e 2030, colhendo os frutos das reformas iniciadas na década anterior, o Brasil cresceria na média do resto do mundo: 3,2% a.a.. Nas duas últimas décadas do estudo o Brasil diminuiria um pouco o ritmo de crescimento, mas ainda assim cresceria mais rapidamente que o resto do mundo, entre 2031 e 2040 o Brasil cresceria a 3.1% a.a. e entre 2041-2050 cresceria 3% a.a.. A figura 6 apresenta a taxa de crescimento real do PIB entre 1950 e 2015 e a projeção de crescimento entre 2016 e 2050.

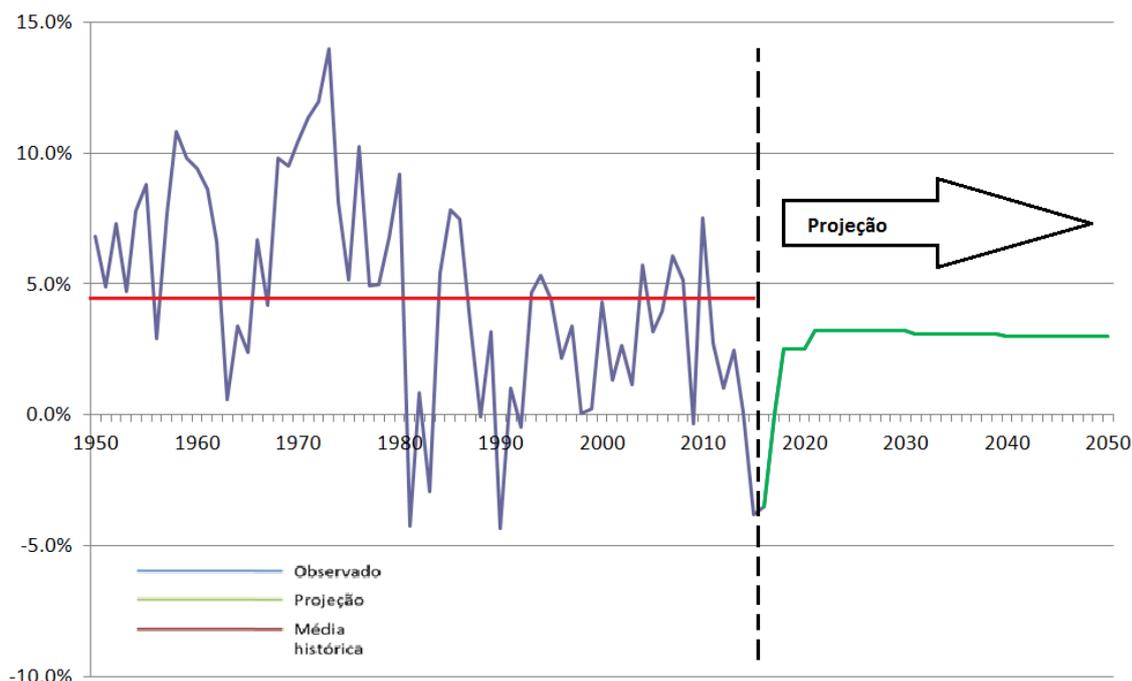


Figura 6. Crescimento do PIB (variação real anual – % a.a.) – Média histórica e projeção

Fonte: Elaboração própria a partir de IPEADATA (2016), BACEN (2016), e EPE (2015)

O nível de desigualdade de renda, que caiu entre 2000 e 2010, volta a subir entre 2015 e 2020, fruto da crise econômica bastante profunda, embora não chegue aos níveis observados no começo dos anos 2000. A partir de 2021, com um crescimento econômico mais elevado, com a melhoria

progressiva do nível educacional da população, e com a tendência de formalização do trabalho, a desigualdade no país vai se reduzindo lentamente até o final do horizonte estudado, chegando em 2050 a um coeficiente de Gini de 0.45, aproximando-se em do nível observado em 2005 em alguns países europeus menos ricos, como é o caso de Portugal.

O PNE 2050 não fornece projeções acerca do nível da **taxa de câmbio** da economia. Considerou-se neste estudo, com respaldo do CEC, uma paridade nominal de 3,15 R\$/US\$ constante durante o período analisado (ambas as moedas em valores de 2015).

2.1.7. Divisão das famílias por classe de renda

Embora não configure uma premissa, mas sim uma funcionalidade/recurso do modelo que enriquece a análise socioeconômica, é relevante mencionar como foi realizada a divisão do setor das famílias em classes de renda na calibração do modelo. A partir dos microdados da PNAD (Pesquisa Nacional por Amostragem Domiciliar), do IBGE, foi possível separar as famílias em 10 decis, desde os 10% mais pobres, até os 10% mais ricos. Esses 10 decis foram agregados em 6 classes de renda, conforme tabela abaixo.

Tabela 1. Definição das classes de renda no modelo IMACLIM-BR

Classe	% das Famílias incluídas na classe
Classe 1	10% mais pobres
Classe 2	20% seguintes
Classe 3	20% seguintes
Classe 4	20% seguintes
Classe 5	20% seguintes
Classe 6	10% mais ricos

Fonte: Elaboração própria

A modelagem analisa como variam a renda e o consumo médio das famílias presentes em cada classe de renda, mantendo-se constante a proporção de pessoas com relação à população total de cada estrato. O modelo encontra a alteração da renda média e do consumo de cada um destes grupos.

As Contas Econômicas Integradas (CEI/IBGE) para o ano-base mostram um nível de poupança bastante discrepante para as seis classes de renda: apenas as classes mais ricas apresentam poupança positiva³.

Durante o horizonte estudado, é esperado que com melhorias nos níveis educacionais e menores disparidades entre trabalhadores de diferentes níveis de qualificação, haveria uma redução na desigualdade da renda proveniente do trabalho. Assim, os trabalhadores de classes de renda mais baixas conseguiriam melhorar seu nível de poupança com relação ao nível de renda, reduzindo também as disparidades de poupança entre classes de renda.

2.1.8. Premissas setoriais

A solução de gargalos, a redução das desigualdades sociais e o aumento na produtividade dos fatores (trabalho, capital, terra), além da maior renda *per capita*, contribuem para alterar o perfil de participação dos setores na economia.

Há continuidade da perda de participação da indústria de base na economia, em prol da expansão de outros setores. Tendo em conta a alta vantagem comparativa da agropecuária brasileira frente ao resto do mundo e a manutenção da alta no preço das *commodities* agrícolas, este setor aumenta sua participação na economia brasileira no período analisado. Além do setor agropecuário, os setores de Petróleo, Gás Natural, Eletricidade, Biomassa para energia, Papel e Celulose e Mineração crescem mais do que o restante da economia, por terem vantagens comparativas naturais frente o resto do mundo.

2.1.8.1. Agropecuária

Projeta-se uma taxa de crescimento do setor agropecuário acima da taxa de crescimento do PIB. Os determinantes pelo lado da demanda são o crescimento da população, tanto brasileira quanto mundial, e da renda. Além disso, espera-se a expansão do uso de biocombustíveis, que utilizam como matéria-prima bens agrícolas como cana-de-açúcar, soja e palma, no caso brasileiro. Considera-se que o setor tem capacidade de atender à demanda crescente, tendo em vista as condições favoráveis com relação a clima, disponibilidade de terras e tecnologia. Ressalta-se que são projetados expressivos aumentos de produtividade para as principais atividades agrícolas e de criação de animais.

³É possível que tamanha discrepância no nível de poupança esteja superestimada. Isto ocorre porque muitas das famílias mais pobres pertencem ao setor informal, ou seja, sua renda está subestimada, não sendo captada adequadamente pelas estatísticas oficiais.

2.1.8.2. Indústria

Algumas premissas referentes ao setor industrial devem ser destacadas, especialmente nas indústrias intensivas em energia e emissões.

Cimento

A indústria de cimento caracteriza-se pela baixa concorrência internacional, uma vez que este produto apresenta uma relação entre valor agregado e peso específico baixa, tornando seu transporte desinteressante. De forma geral, a produção de cimento acompanha a expansão dos setores de construção civil e infraestrutura. No cenário utilizado na modelagem, esta indústria cresce a uma média de 5,3% a.a. entre 2005 e 2030.

Siderurgia

Assim como a indústria de cimento, a indústria siderúrgica geralmente acompanha a expansão dos setores de construção civil e infraestrutura, embora também seja determinada pelo desenvolvimento da indústria automobilística e de bens de capital. Entretanto, a indústria siderúrgica está mais exposta à concorrência internacional do que cimento, ainda que se apresente razoavelmente competitiva no cenário mundial. Projeta-se um crescimento médio abaixo daquele esperado para o resto da economia.

Metais não-ferrosos

Dentre os metais não-ferrosos, destaca-se o alumínio, indústria altamente intensiva em energia elétrica. Seu desenvolvimento acompanha a expansão de setores como construção civil, transportes e embalagens. Para o caso específico do alumínio primário, projeta-se um crescimento médio abaixo do resto da economia no período analisado, considerando que este elemento possui alguns substitutos como cobre, magnésio e titânio.

Papel e Celulose

O setor de papel e celulose no Brasil apresenta boa vantagem comparativa com relação ao resto do mundo. Entretanto, seu desempenho depende da economia global, já que mais da metade da produção brasileira é destinada à exportação. Projeta-se um crescimento da produção de celulose maior do que o da produção de papel, embora o consumo per capita de papel cresça consideravelmente no período. Desta forma, conta-se com maiores níveis de exportação de celulose no horizonte analisado.

De forma geral, estima-se um crescimento médio do setor de papel e celulose acima do restante da economia no horizonte de tempo do estudo.

Indústria Química

A indústria química brasileira caracteriza-se por sua heterogeneidade e pela alta dependência externa. No PNE 2050, são analisados três ramos específicos: petroquímica, fertilizantes e soda-cloro. O setor de fertilizantes é responsável por um aumento expressivo da produção química no país, relacionado à expansão do setor agropecuário, embora se espere uma expansão expressiva dos outros setores. Para o setor petroquímico, a perspectiva é de crescimento impulsionado por suas possibilidades de aplicação nos setores de construção civil, automotivo, têxtil e de embalagens. Já o segmento de soda-cloro é relevante pelo alto custo que a energia elétrica representa em seu processo produtivo. Estes produtos são fundamentais para a produção de químicos e farmacêuticos de alta relevância comercial, bem como na construção civil e no setor de papel e celulose.

O crescimento médio projetado para o setor químico fica abaixo do restante da economia no período estudado.

Indústria automotiva

O crescimento real da renda per capita e a maior taxa de urbanização contribuem para aumentar a demanda por serviços de transporte de carga e passageiros, com destaque para veículos leves individuais, alavancando a indústria automotiva do país. Também é importante mencionar a importância deste setor na economia, uma vez que ela emprega uma parcela considerável da mão-de-obra disponível.

Com o crescimento da frota de veículos leves, há elevação da taxa de motorização, que se aproxima dos padrões observados em alguns países da OCDE.

2.1.8.3. Serviços

De forma geral, o setor de Serviços apresenta a tendência de aumentar sua participação na economia. No caso do Brasil, o setor já representa uma parcela expressiva do PIB, porém conta com baixa qualificação da mão-de-obra e baixa produtividade.

Avanços nos setores de transportes e a maturação de investimentos em infraestrutura e logística, além da expansão do setor de turismo, contribuem para a dinamização do setor de serviços como um todo, entretanto, no presente cenário, este setor cresce menos que alguns setores com claras vantagens comparativas com o resto do mundo, conforme explicado anteriormente.

3. Resultados e Discussão

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos pelo IES-Brasil para o cenário macroeconômico brasileiro em 2050, considerando as premissas e as hipóteses apresentadas anteriormente.

Tabela 2. Resultados Macroeconômicos – Cenário de Plano Governamental – CPG

	2005	2015	2030	2050
População (Milhões de habitantes)	185	204	223	226
PIB (Trilhões de R\$2015)	4,52	5,60	8,66	14,87
Crescimento do PIB no período (% a.a.)	-	2,14%	2,95%	2,73%
PIB per Capita (mil R\$2015)	24,4	27,4	38,8	65,8
Postos de Trabalho (milhões)	91,2	99,8	112,3	111,5
Taxa de Desemprego (%)	9,9%	8,5%	8,3%	7,3%
Investimentos Totais (Trilhões de R\$2015)	0,70	0,92	1,32	2,35
Taxa de Investimento (% do PIB)	15,5%	16,4%	15,2%	15,8%
Saldo da Balança Comercial (Bilhões de R\$2015)	166	242	226	461
Saldo da Balança Comercial (% PIB)	3,7%	4,3%	2,6%	3,1%
Exposição ao Comércio Exterior (X+M)/PIB (%)	27,2%	28,5%	25,7%	30,6%
Emissões per capita (tCO₂e/capita)	3,7%	4,3%	2,6%	3,1%
Emissões por PIB (27,2%	28,5%	25,7%	30,6%

Fonte: Elaboração própria

A hipótese de população utilizada neste estudo partiu das projeções feitas pelo IBGE (2014). Segundo o IBGE, a população brasileira que era de 185 milhões de habitantes em 2005 e de 204 milhões de habitantes em 2015, continua crescendo, atingindo 223 milhões de habitantes em 2030 e atingindo seu ápice no começo da década de 2040, quando chega a 227 milhões de habitantes. Após 2042 a população vai reduzindo lentamente, até atingir o número de 226 milhões de habitantes em 2050.

Devido à atual conjuntura e revisão do potencial de crescimento do Brasil no longo prazo, e no papel do país no comércio internacional, o cenário aqui proposto simula taxas de crescimento do PIB menores que no projeto IES-Brasil 1. Entretanto as expectativas de crescimento da população ativa e do aumento da produtividade média do trabalho continuam levando a um crescimento significativo do Produto Interno Bruto. No CPG simulado neste estudo é esperado que o PIB aumente de 5,60 para 8,66 trilhões de reais em 2030 e a 14,87 trilhões de reais em 2050 (valores expressos em reais de 2015). A taxa média de crescimento do PIB entre 2005 e 2015 foi de 2,14% a.a., no período 2016-2030, que representa a saída da crise e retomada do crescimento, a taxa média de crescimento ficou

em 2,95% a.a.. No período 2031-2050 é esperado que esta taxa média de crescimento se reduza um pouco, para 2,73% a.a..

Apesar do crescimento populacional observado no período estudado, como o PIB cresce significativamente mais rápido que a população, o PIB per capita também apresenta importante crescimento no período simulado. O PIB per capita, que em 2005 foi de 24,4 mil reais passou a 27,4 mil reais em 2015. Em 2030 é esperado que o PIB per capita chegue a 38,8 mil reais e em 2050 a 65,8 mil reais (valores expressos em reais de 2015).

É esperado um aumento do número de postos de trabalho⁴, que passaram de 91,2 milhões em 2005 para cerca de 99,8 milhões em 2015. Para 2030 é esperado que o número de postos de trabalho continue crescendo até os 112,3 milhões, e que depois vá se reduzindo lentamente, até atingir 111,5 milhões de postos em 2050. Com isso, a taxa de desemprego, que era de 9,9% em 2005 e passou a 8,5% em 2015, caia a 8,3% em 2030 e atinja 7,3% em 2050, ano final das simulações. É importante frisar que o aumento da produtividade do trabalho, apesar de contribuir para o aumento do PIB, colabora para o aumento da taxa de desemprego no país, já que com o aumento da produtividade, menos pessoas são necessárias para produzir a mesma quantidade de bens e serviços.

Outro resultado interessante encontrado diz respeito à taxa de investimento do país. Para níveis de crescimento da magnitude apresentada no CGP (com taxas médias abaixo dos 3% a.a.) não seria necessário mudar significativamente o patamar da taxa de investimento no país. Essa taxa, que em 2005 era de 15,5%, passou a 16,4% em 2015, fruto ainda dos grandes desembolsos promovidos pelo BNDES no começo da década de 2010. Para manter a taxa de crescimento médio pouco abaixo dos 3% a.a., seria necessária uma taxa de investimento em 2030 de 15,2% a.a., e em 2050 de 15,8% a.a..

Uma das premissas deste cenário CPG, proveniente do cenário macroeconômico do PNE 2050 (EPE, 2015), foi a de se manter um saldo da balança comercial pequeno, próximo de zero, a despeito das exportações do pré-sal, de modo a fortalecer a hipótese de se ter uma taxa de câmbio aproximadamente constante no horizonte estudado. Para fechar esse grupo de hipóteses, é esperado que a indústria importe bens de capital com as divisas obtidas, favorecendo a eficiência e competitividade dos setores industriais no país. É esperado também que o setor de serviços aumente suas importações. O saldo da balança comercial que em 2005 foi de 166 bilhões de reais, passou a 242 bilhões de reais em 2015, e, espera-se que no CPG este valor atinja os 226 bilhões em 2030 e 461 bilhões em 2050 (valores expressos em reais de 2015). Apesar do aumento em valores absolutos, o saldo da balança comercial em relação ao PIB, que aumentou de 3,7% em 2005 para 4,3% em 2015,

⁴ Os postos de trabalho apresentados aqui representam empregos "full time" de 44h de trabalho semanais.

voltaria a se reduzir, atingindo 2,6% em 2030 e 3,1% em 2050. Quando medimos a exposição da economia brasileira ao comércio exterior ((Exportações + Importações)/PIB) vê-se que este valor variou pouco no período estudado, tendo passado de 27,2% em 2005 para 28,5% em 2015, e tendo atingido 25,7% em 2030 e 30,6% em 2050.

Na tabela a seguir, pode-se observar o número de postos de trabalho "full time" por setor econômico.

Tabela 3. Postos de Trabalho por Setor Econômico (milhares)

Setor	2005	2015	2030	2050
Agropecuária	19.000	20.966	14.083	10.574
Indústria	9.783	10.592	11.427	10.333
Setor Energético	2.755	2.682	5.275	4.991
Transportes e Serviços	59.674	65.519	81.516	85.592
Total	91.212	99.759	112.301	111.490

Fonte: Elaboração própria

O setor agropecuário, que ganhou cerca de 2 milhões de postos de trabalho entre 2005 e 2015, deve perder postos de trabalho até 2030, principalmente devido ao aumento da taxa de mecanização, e no CPG deve perder cerca de 7 milhões de postos de trabalho até 2030 e outros 3,5 milhões até 2050. Neste cenário o setor industrial também reduziria o número de postos de trabalho após 2030, enquanto os setores de transportes e serviços tenderiam a absorver toda esta mão de obra, ganhando um grande número de trabalhadores e proporcionando uma redução da taxa de desemprego, como indicado anteriormente.

A tabela a seguir apresenta a renda anual média per capita por classe de renda, entre 2005 e 2050, em milhares de reais de 2015.

Tabela 4. Renda Anual Média per capita, por classe de renda (Mil R\$ de 2015)

Classe de Renda	2005	2015	2030	2050	2050/2005
Classe 1	2,0	3,3	6,2	13,1	6,40
Classe 2	5,0	6,2	9,7	16,7	3,36
Classe 3	8,3	10,0	14,7	25,5	3,07
Classe 4	11,6	14,5	20,8	34,0	2,94
Classe 5	26,0	29,4	41,3	69,8	2,69
Classe 6	106,5	117,3	165,2	280,3	2,63

Fonte: Elaboração própria

Outra premissa do CPG é que a distribuição de renda do país tende a melhorar no período estudado. Dessa forma, o modelo foi calibrado de forma que a renda das classes mais pobres cresça de forma mais rápida que a renda das classes mais ricas, de forma a atingir, em 2050, um coeficiente de GINI de 0,45, próximo daquele observado em Portugal em 2005. Dessa forma, a renda anual média da classe mais pobre deveria crescer praticamente no dobro da velocidade da classe mais rica, como apresentado na tabela acima.

É importante reforçar que a renda anual apresentada na tabela anterior considera apenas os ganhos do trabalho formal, captado pelas contas nacionais. Os rendimentos provenientes do trabalho informal são mais difíceis de mensurar. Entretanto, como o consumo de bens e serviços é bem captado na Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) e na Pesquisa Nacional de Amostragem Domiciliar (PNAD), consumo este feito com o a soma dos rendimentos formais e informais, temos uma situação interessante em que o consumo das classes mais pobres extrapola os rendimentos formais apresentados aqui. Como resultados têm-se taxas de poupança bastante negativas nas classes mais pobres já no ano base. Como no CPG espera-se que a taxa de informalidade da economia vá se retraindo, essas taxas de poupança foram lentamente caminhando para o lado positivo no decorrer dos anos nas simulações do CPG. O tema da informalidade na economia brasileira deve ser mais bem estudado, a fim de que possamos analisar em mais detalhes a origem da renda das famílias.

A tabela a seguir apresenta a evolução da taxa de poupança por classe de renda no cenário de plano governamental.

Tabela 5. Taxa de poupança das famílias, por classe de renda

Classe de Renda	2005	2015	2030	2050
Classe 1	-146%	-99%	-66%	-34%
Classe 2	-43%	-32%	-16%	4%
Classe 3	-30%	-21%	-11%	9%
Classe 4	-43%	-27%	-10%	10%
Classe 5	-5%	7%	12%	20%
Classe 6	41%	39%	33%	29%

Fonte: Elaboração própria

Como mencionado anteriormente, observa-se que a classe 1, que contém os 10% mais pobres do Brasil, apresentava em 2005 uma taxa de poupança de -145%. Parte desse alto valor negativo pode ser explicado efetivamente pelo endividamento das famílias, entretanto, grande parte provém da lacuna de informações quanto à geração de renda informal, que possibilita um padrão de consumo

mais alto que aquele que seria proporcionado simplesmente pela renda formal. No ano base este fenômeno é observado em todas as classes, com exceção da classe 6, que contém os 10% mais ricos do país.

No decorrer do período simulado, é esperado que as taxas de poupança caminhem para o lado positivo, representando uma maior formalização da economia e menores taxas de endividamento. Assim, em 2050, apenas os 10% mais pobres ainda apresentariam uma taxa de poupança negativa.

As três tabelas a seguir apresentam a evolução do consumo de alguns bens importantes, como eletricidade, alimentação em casa, e de serviços.

Tabela 6. Consumo per capita – Eletricidade (R\$ de 2015)

Classe de Renda	2005	2015	2030	2050
Classe 1	82	96	141	316
Classe 2	132	144	224	348
Classe 3	223	245	460	662
Classe 4	315	340	573	819
Classe 5	455	454	796	1.227
Classe 6	735	847	1.517	2.689

Fonte: Elaboração própria

Tabela 7. Consumo per capita – Alimentação em casa (R\$ de 2015)

Classe de Renda	2005	2015	2030	2050
Classe 1	1.576	1.856	2.721	4.882
Classe 2	1.978	2.149	2.968	5.665
Classe 3	2.390	3.054	4.374	6.367
Classe 4	3.021	3.805	4.872	7.056
Classe 5	3.521	4.247	5.451	8.505
Classe 6	5.466	7.334	9.994	15.074

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8. Consumo per capita – Serviços (R\$ de 2015)

Classe de Renda	2005	2015	2030	2050
Classe 1	1.873	2.205	4.135	13.935
Classe 2	2.967	3.136	6.720	14.803
Classe 3	4.970	6.091	12.034	20.922
Classe 4	7.398	9.188	16.932	29.116
Classe 5	13.166	14.865	28.836	53.643
Classe 6	32.758	42.670	98.916	210.723

Fonte: Elaboração própria

Nestas três tabelas observa-se um importante crescimento do consumo de todas as classes de renda, e em especial das classes mais pobres, com destaque para os 10% mais pobres. Os gastos com o consumo de Eletricidade da classe 1, a mais pobre, em 2050 superaria os gastos da classe 3 (30% a 50% mais pobres) em 2015. Já os gastos com Alimentação em Casa e os gastos com Serviços da classe 1 em 2050 superaria o gasto observado per capita da classe 4 em 2015. Este aumento no consumo de bens e serviços básicos evidencia o ganho na qualidade de vida das populações mais pobres no decorrer do período estudado, caminhando, efetivamente, para um padrão de consumo desses bens mais parecido com o de países mais desenvolvidos que o Brasil.

4. Intensidade de emissões da economia e Intensidade de emissões per capita

A intensidade de emissões de GEE da economia é definida como as emissões totais de gases de efeito estufa divididas pelo PIB total do país em cada ano. Da mesma forma, as emissões de GEE per capita são definidas como as emissões totais do país divididas pela população total do país, ano a ano. A figura 10, a seguir, apresenta diversos indicadores que permitem entender como estes e outros indicadores se comportam no cenário aqui descrito, entre 2005 e 2050.

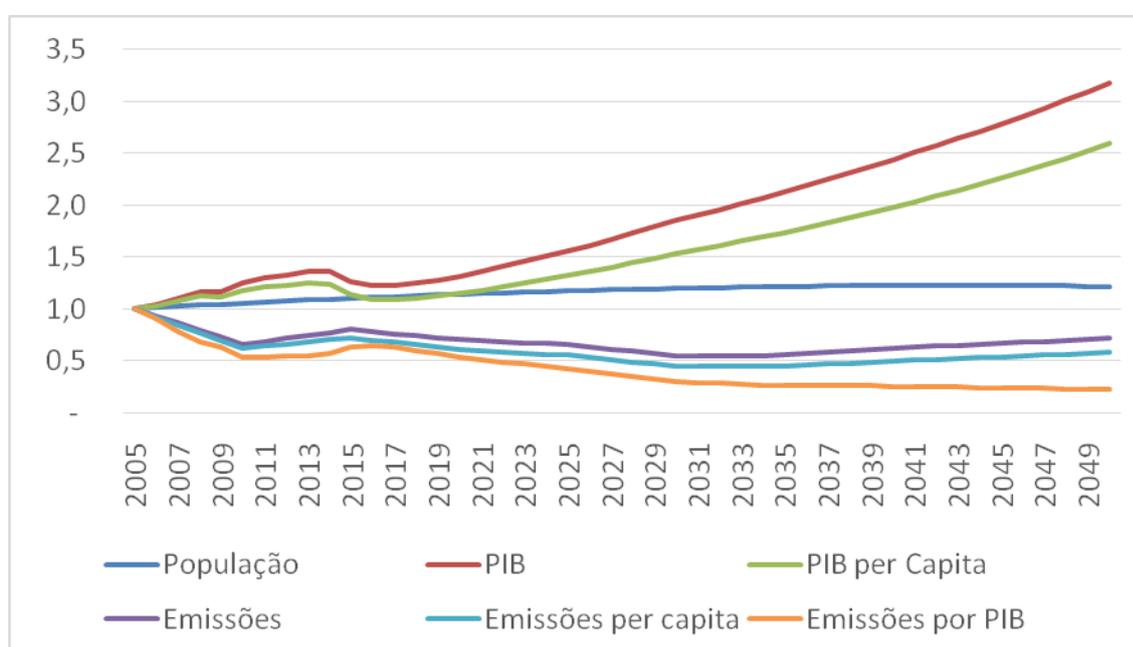


Figura 7. Indicadores selecionados (base 2005 = 1)

Fonte: Elaboração própria

Como podemos observar na figura anterior, a população brasileira cresce até o começo da década de 2040, e em seguida vai decrescendo lentamente até 2050. Em 2050 a população brasileira será 1,22 vezes maior do que era em 2005.

Após a crise de 2015/2016, o PIB brasileiro volta a crescer, recuperando o nível de 2014 em torno de 2022. Em 2050 o PIB brasileiro será cerca de 3,2 vezes maior que era em 2005. A crise de 2015/2016 acaba afetando mais o PIB per capita do que o PIB, pois a população continua crescendo em tempos de crise, fazendo com que este indicador tenha um desempenho ainda pior nos próximos anos. O PIB per capita só volta aos níveis de 2013 por volta de 2024. Em 2050 é esperado que o PIB per capita seja 2,6 vezes maior do que era em 2005.

As emissões de GEE brasileiras, após caírem consistentemente entre 2005 e 2010, voltam a apresentar um aumento em 2015. É esperado que as emissões continuem caindo entre 2015 e 2020, como consequência dos acordos de Copenhague e de Paris, considerados dentro deste cenário de referência. Após 2030, como não são considerados novos esforços de mitigação neste cenário, as emissões brasileiras voltam a subir lentamente. Segundo as simulações feitas aqui, as emissões em 2030 seriam apenas 55% das emissões de 2005, e em 2050 as emissões do Brasil seriam de 71% das emissões apresentadas em 2005. Apesar do nível de emissão deste cenário não ser compatível com o objetivo de 1,5/2°C acordado em Paris, este representa uma redução de emissões importante para um país em desenvolvimento.

A intensidade de emissões de GEE per capita para o Brasil segue basicamente o comportamento das emissões totais, cai entre 2005 e 2010, cresce entre 2010 e 2015, cai entre 2015 e 2030, e volta a subir lentamente entre 2030 e 2050, influenciada pelo crescimento populacional bastante lento neste período. Em 2005 o Brasil emitiu 11,2 tCO₂e/capita, em 2010 este número foi reduzido a 7,0 tCO₂e/capita e em 2015, com o aumento das emissões, as emissões foram de 8,1 tCO₂e/capita. Neste cenário de referência, em 2030 as emissões projetadas são de 5,1 tCO₂e/capita (45% das emissões per capita de 2005), e em 2050 de 6,6 tCO₂e/capita (58% das emissões per capita de 2005).

A intensidade de emissões da economia brasileira, que caiu fortemente entre 2005 e 2010, principalmente devido à redução do desmatamento, cresceu entre 2010 e 2016, devido ao aumento de emissões e da crise econômica. De 2017 até 2050, a intensidade de emissões da economia brasileira cai de forma contínua neste cenário de referência. Em 2030 a intensidade de emissões por PIB se reduz a 30% daquela observada em 2005, enquanto em 2050 este nível é ainda menor, representando apenas 23% da intensidade de emissões por PIB observada em 2005.

5. Referências Bibliográficas

EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2015, Cenário Econômico 2050. Nota Técnica DEA XX/15. Rio de Janeiro.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2016, Demanda de Energia 2050. Nota Técnica DEA 13/15. Rio de Janeiro.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2014, Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. Acesso em março de 2016. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>.

WILLS, W.; LEFEVRE, J. 2012. The impact of a carbon tax over the Brazilian economy in 2030 – IMACLIM: the hybrid CGE model approach. In: ISEE 2012 Conference – Ecological Economics and Rio+20: Challenges and Contributions for a Green Economy, 2012, Rio de Janeiro. Greening the Economy – Measuring green growth, 2012.

WILLS, W., 2013. Modelagem dos Efeitos de Longo Prazo de Políticas de Mitigação de Emissão de Gases de Efeito Estufa na Economia do Brasil. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, para obtenção do título de Doutor em Ciências do Planejamento Energético.

6. Anexo I – O modelo IMACLIM-BR – Aspectos teóricos e calibração

O modelo IMACLIM-BR é um modelo de equilíbrio geral computável híbrido (CGE) projetado para analisar os efeitos macroeconômicos no médio e longo prazo de políticas climáticas, seja uma taxa de carbono ou um mercado de cotas de emissão de GEE, numa estrutura de contabilidade casada em que os fluxos em valores monetários e físicos (com um foco especial no Balanço Energético) estão em equilíbrio.

O modelo IMACLIM-BR utiliza informações *top-down*, como faz tradicionalmente um modelo CGE, e informações setoriais ou *bottom-up*. Esta abordagem combina dados de setores específicos da economia, como diferentes possibilidades tecnológicas para geração e uso de energia, ou processos produtivos (assim como seus custos, curvas de aprendizado, índices de penetração, etc.) com informações acerca da estrutura da economia. Com isso, contorna-se o fato de que dados *bottom-up* não têm capacidade de responder adequadamente a mudanças macroeconômicas referentes a preços de energia, à evolução da produtividade do capital e trabalho, e ao comércio exterior. Analogamente, dados puramente macroeconômicos altamente agregados, não são capazes de prever, por exemplo, a flexibilidade tecnológica que permite aos setores da economia se ajustar às políticas climáticas no médio e longo prazo (Wills, 2013; Hourcade et al., 2006)

No caso do presente estudo, é projetado um cenário que abrange o período entre os anos de 2005 e 2050. A atual versão do IMACLIM BR parte daquela desenvolvida por Wills (2013), contando com algumas diferenças com relação à simulação das medidas de mitigação adotadas em políticas climáticas, ao detalhamento do módulo das famílias, pelo fato de levar em conta os efeitos sobre a competitividade internacional das principais indústrias da economia, e principalmente por ser o primeira versão que incorpora uma simulação dinâmica recursiva, mesmo que simplificada devido às dificuldades técnicas para interação com os módulos setoriais.

AI.1 – Base de dados

O ponto de partida do modelo IMACLIM-BR é uma Matriz de Contabilidade Social (SAM, na sigla em inglês), cuja definição segue abaixo:

“A matriz de contabilidade social (SAM) é um registro de todas as transações de uma economia em um determinado ano sob a forma matricial. A SAM apresenta de forma completa e desagregada os fluxos de renda e de bens de uma economia, e mostra a interdependência existente entre as diversas entidades envolvidas no funcionamento do sistema econômico de forma bastante clara e

consistente. A SAM descreve o fluxo circular da renda entre os setores institucionais (Famílias, Governo, Empresas e Resto do Mundo), ou seja, como os diferentes bens e fatores se transformam ao passar do setor produtivo aos mercados, às instituições e a outros agentes da economia (Tourinho et al, 2006; Miller & Blair, 2009)."

A Matriz de Contabilidade Social utilizada no modelo apresenta-se na forma híbrida, pois, como explicado na seção anterior, os setores produtivos que compõem a matriz insumo-produto contam com uma estrutura de contabilidade casada, apresentando dados monetários e físicos. Os setores energéticos são apresentados em Toneladas Equivalentes de Petróleo, os industriais em toneladas e os setores referentes a Transportes em passageiro.km e tonelada.km, para transporte de passageiros e carga, respectivamente.

O processo de hibridização consiste em ajustar as diferentes fontes de informações econômicas (Contas Nacionais, Contas Econômicas Integradas e outras publicações do IBGE) e físicas (Balanço Energético Nacional, outras publicações da EPE, e outras informações setoriais), que são elaboradas por diferentes instituições, cada uma com sua própria nomenclatura. A compatibilização permite uma melhor comunicação entre as informações de modelos BU com o modelo CGE em diferentes cenários.

A SAM utilizada no modelo IMACLIM-BR conta com as seguintes:

- 19 setores produtivos, agregados das Contas Nacionais do IBGE (ver Tabela A.1):
- 6 setores energéticos: Biomassa, Carvão, Petróleo, Gás Natural, Derivados de Petróleo e Eletricidade
- 7 setores industriais: Mineração, Cimento, Papel e Celulose, Metais Não-Ferrosos, Siderurgia, Química e Resto da Indústria
- Agropecuária
- Transporte de carga e transporte de passageiros
- Serviços (Resto da Economia)
- 3 fatores de produção:
 - Capital
 - Trabalho
 - Terra
- 4 setores institucionais:

- Famílias, desagregadas em 6 classes de renda, sendo
 - Classe 1: 10% mais pobres
 - Classe 2: 20% seguintes
 - Classe 3: 20% seguintes
 - Classe 4: 20% seguintes
 - Classe 5: 20% seguintes
 - Classe 6: 10% mais ricos
- Governo
- Empresas
- Resto do Mundo

	Setores produtivos	Fatores	Famílias	Empresas	Governo	Resto do Mundo	Conta de acumulação de capital/poupança
Setores produtivos	Consumo Intermediário		Consumo das famílias	Consumo das empresas	Consumo do governo	Exportações	Formação Bruta de Capital Fixo e Variação de Estoques
Fatores	Valor Adicionado			Remuneração dos fatores domésticos			
Famílias		Remuneração dos fatores às famílias	Transferências interfamiliares	Transferências das empresas às famílias	Transferências do governo às famílias		
Empresas		Remuneração dos fatores às empresas	Transferências das famílias às empresas	Transferências das empresas às empresas	Transferências do governo às empresas		
Governo	Tributos sobre faturamento, vendas, importações e valor adicionado	Tributos sobre fatores	Tributos sobre renda das famílias	Tributos sobre lucro das empresas		Transferências do RoW ao governo	
Resto do Mundo	Importações	Remuneração dos fatores ao RoW	Consumo externo das famílias	Transferências das empresas ao RoW	Transferências do governo ao RoW		Investimento do RoW
Conta de acumulação de capital/poupança			Poupança das famílias	Poupança das empresas	Poupança do governo	Poupança do RoW	

Figura 8. Figura A1. Estrutura da Matriz de Contabilidade Social para o Brasil

Fonte: Elaboração própria

Tabela A1. Compatibilização dos setores das Contas Nacionais do IBGE com os setores da SAM

Setor SAM	Setores Contas Nacionais
Biomassa	Cana-de-açúcar
	Álcool
	Produtos da exploração florestal e da silvicultura (parcela referente a lenha e carvão vegetal)
Carvão Mineral	Carvão mineral
Petróleo	Petróleo e gás natural (parcela referente a petróleo)
Gás Natural	Petróleo e gás natural (parcela referente a gás natural)
	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana (parcela referente a gás natural)
Derivados de Petróleo	Gás liquefeito de petróleo
	Gasolina automotiva
	Gasoálcool
	Óleo combustível
	Óleo diesel
	Outros produtos do refino de petróleo e coque
Eletricidade	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana (parcela referente a eletricidade)
Transportes	Transporte de carga
	Transporte de passageiro
Agropecuária	Arroz em casca
	Milho em grão
	Trigo em grão e outros cereais
	Soja em grão
	Outros produtos e serviços da lavoura
	Mandioca
	Fumo em folha
	Algodão herbáceo
	Frutas cítricas
	Café em grão
	Produtos da exploração florestal e da silvicultura
	Bovinos e outros animais vivos
	Leite de vaca e de outros animais
	Suínos vivos
	Aves vivas
	Ovos de galinha e de outras aves
	Pesca e aquicultura
	Abate e preparação de produtos de carne
	Carne de suíno fresca, refrigerada ou congelada
	Carne de aves fresca, refrigerada ou congelada
	Pescado industrializado
	Conservas de frutas, legumes e outros vegetais
	Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja
	Outros óleos e gordura vegetal e animal exclusive milho
	Óleo de soja refinado
	Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado
	Produtos do laticínio e sorvetes
	Arroz beneficiado e produtos derivados
	Farinha de trigo e derivados
	Farinha de mandioca e outros
	Óleos de milho, amidos e féculas vegetais e rações
	Produtos das usinas e do refino de açúcar
	Café torrado e moído
	Café solúvel
Outros produtos alimentares	

Setor SAM	Setores Contas Nacionais
	Bebidas
	Produtos do fumo
Papel e Celulose	Celulose e outras pastas para fabricação de papel
	Papel e papelão, embalagens e artefatos
	Jornais, revistas, discos e outros produtos gravados
Cimento	Cimento
Siderurgia	Gusa e ferro-ligas
	Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço
	Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos
	Fundidos de aço
	Produtos de metal – exclusive máquinas e equipamento
Não ferrosos	Minerais metálicos não-ferrosos
Química	Produtos químicos inorgânicos
	Produtos químicos orgânicos
	Fabricação de resina e elastômeros
	Produtos farmacêuticos
	Defensivos agrícolas
	Perfumaria, sabões e artigos de limpeza
	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
	Produtos e preparados químicos diversos
	Artigos de borracha
	Artigos de plástico
Mineração	Minério de ferro
	Minerais não-metálicos
Resto da Indústria	Beneficiamento de algodão e de outros têxteis e fição
	Tecelagem
	Fabricação outros produtos Têxteis
	Artigos do vestuário e acessórios
	Preparação do couro e fabricação de artefatos – exclusive calçados
	Fabricação de calçados
	Produtos de madeira – exclusive móveis
	Outros produtos de minerais não-metálicos
	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos
	Eletrodomésticos
	Máquinas para escritório e equipamentos de informática
	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
	Material eletrônico e equipamentos de comunicações
	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico
	Automóveis, camionetas e utilitários
	Caminhões e ônibus
	Peças e acessórios para veículos automotores
	Outros equipamentos de transporte
	Móveis e produtos das indústrias diversas
Sucatas recicladas	
Serviços	Construção
	Comércio
	Correio
	Serviços de informação
	Intermediação financeira e seguros
	Serviços imobiliários e aluguel
	Aluguel imputado
	Serviços de manutenção e reparação
	Serviços de alojamento e alimentação
	Serviços prestados às empresas
	Educação mercantil
	Saúde mercantil

Setor SAM	Setores Contas Nacionais
	Serviços prestados às famílias
	Serviços associativos
	Serviços domésticos
	Educação pública
	Saúde pública
	Serviço público e seguridade social
	Parcelas referentes às atividades de serviços originalmente contabilizadas em outros setores nas Contas Nacionais

Fonte: Elaboração própria

Estrutura do modelo

O modelo IMACLIM-BR apresenta um arcabouço neoclássico tradicional⁵ no que diz respeito à descrição das escolhas dos produtores e consumidores, porém a estrutura de descrição técnica dos sistemas produtivos foi especialmente projetada para facilitar a calibração com informações e modelos *Bottom-Up*, com o objetivo de garantir grande realismo técnico mesmo em simulações de cenários com grande desvio em relação ao cenário de referência. O modelo dispensa a utilização de funções de produção do tipo CES ou outras do gênero nos setores considerados estratégicos, que se baseiam em dados observados em momentos passados. Tem-se uma descrição concreta da evolução tecnológica no período estudado (inclusive do progresso técnico induzido pela política climática), o que permite uma boa precisão nas estimativas de modos de produção e uso de energia em diferentes cenários, e assim, conseqüentemente, nas emissões de gases de efeito estufa.

As funções de produção clássicas distinguem, usualmente, quatro fatores de produção: energia, matérias primas, trabalho e capital. A suposição adotada aqui é que a política climática apenas altera as intensidades de energia e de capital nos bens industriais, sendo mantidas constantes as intensidades de matéria prima e de trabalho nos cenários de referência e de mitigação, por falta de estudos detalhados a esse respeito.

É projetado o equilíbrio de um determinado Cenário de Referência no médio ou longo prazo, e num segundo momento, é simulada a política climática, que induz investimentos em estruturas de produção e consumo menos intensivas em carbono, e assim deforma a projeção de referência até que um novo equilíbrio seja atingido, sendo então chamado de Cenário de Mitigação.

A projeção de referência é calculada levando-se em consideração modificações nos principais indicadores de crescimento dos sistemas econômicos e energéticos, como demografia, crescimento

⁵ O modelo CGE neoclássico tradicional parte da simplificação de que a economia se comporta de forma ótima: ausência de falhas de mercado, situação de pleno emprego, etc, o que não é verdade especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil.

da produtividade do trabalho, evolução dos coeficientes técnicos, crescimento do resto do mundo e preços internacionais dos energéticos. No caso deste estudo o PNE 2050 foi utilizado para balizar tais parâmetros.

Os Cenários relacionados a diferentes políticas climáticas representam um equilíbrio contrafactual em relação ao equilíbrio da projeção de referência, que resulta das novas escolhas de produção e consumo frente a novos preços relativos. As análises são válidas sob a hipótese de que a transição induzida pela política climática em cada período é completada após uma série de ajustes técnicos, em cada cujo âmbito e duração estão embutidos nas informações *Bottom-Up* que são introduzidas no modelo a partir de ligações feitas a partir ligações na forma de *soft links* (no caso dos modelos setoriais de Transportes, Residencial, Serviços, Indústria, Resíduos, AFOLU, e no setor de oferta de energia, que utiliza o modelo MATRIZ).

O processo de transição em si, entretanto, não é descrito, e a hipótese por trás disso é que a transição em cada período se dá de forma suave o suficiente para evitar equilíbrios múltiplos, efeitos de histerese, etc.

Outras características importantes do IMACLIM-BR incluem: (i) um tratamento agregado do progresso técnico induzido por mudanças nos sistemas energéticos – o IMACLIM-BR opera numa estrutura de progresso técnico endógeno; (ii) representação de comportamentos sub-ótimos e mecanismos "second best", como no caso do mercado de trabalho, onde os efeitos das políticas climáticas podem ser analisados também em termos de variações nos níveis de emprego, e na representação de falhas de mercado, onde os setores produtivos não se encontram, *a priori*, numa situação de concorrência perfeita.

AI.2 – Determinantes dos efeitos macroeconômicos

Os determinantes dos efeitos macroeconômicos no IMACLIM-BR são descritos de forma bastante sintética, aproveitando a descrição feita por Combet et al (2010) e Wills (2013). A evolução de diversos parâmetros vai distorcendo o equilíbrio da economia no cenário de referência. Esta distorção pode ser considerada uma consequência da interação de cinco hipóteses principais descritas a seguir:

- i. O ajuste do setor produtivo, através da alteração do consumo dos fatores de produção (energia, matérias primas, trabalho, capital, etc) de acordo com a nova realidade de preços relativos. Há uma evolução da produtividade total dos fatores (através de um coeficiente de progresso técnico que é relacionado ao investimento acumulado em cada período), e à

influência de um coeficiente de retornos decrescentes de escala. Além disso, há uma interação profunda com informações BU, a cada período, que descrevem as mudanças tecnológicas induzidas por esse novo conjunto de preços relativos, conforme será explicado em detalhes, mais à frente, neste anexo.

- ii. A rigidez do mercado de trabalho, formalizada por uma curva de salários, que descreve uma correlação negativa entre a taxa de desemprego da economia e o salário médio (Blanchflower & Oswald, 2005).
- iii. O impacto no comércio internacional: as importações e exportações são elásticas aos termos de troca, que evoluem de acordo com o custo da produção doméstica. Os preços internacionais são constantes nos cenários de comando e controle, e o bem produzido pelo setor Resto do Mundo é o numerário do modelo. Nos cenários com taxa de carbono é feita uma estimativa da evolução dos preços internacionais dos bens produzidos pelas indústrias energo-intensivas para que tenhamos uma simulação mais realista dos efeitos de uma taxa de carbono com abrangência mundial sobre a competitividade da indústria brasileira.
- iv. Restrições orçamentárias do Governo: a razão entre os gastos públicos e o PIB é mantida constante; as transferências sociais (seguro desemprego, aposentadorias, bolsa família, etc.) são indexadas ao salário médio da economia.
- v. Taxa de poupança por classe de renda, que varia de forma exógena, e há o ajuste da formação bruta de capital fixo destinada ao sistema produtivo. O modelo "fecha" ao se computar os fluxos de capital que equilibram as contas correntes. O equilíbrio é determinado pelo ajuste simultâneo dos volumes importados e exportados, dos preços domésticos, do nível de atividade e das taxas de juros.

Os fluxos de renda associados aos fluxos de bens começam a ser distribuídos com a remuneração dos fatores de produção mais os pagamentos líquidos ao Resto do Mundo. As operações de distribuição continuam entre os quatro setores institucionais (Famílias, Empresas, Governo e Resto do Mundo), orquestradas pelo Governo: impostos (encargos trabalhistas, imposto de renda, etc) e transferências (aposentadorias, bolsa família, etc). Uma vez que os setores institucionais tenham feito suas escolhas de consumo e investimentos, os agentes emprestam ou pedem emprestado aos mercados financeiros, dependendo se eles possuem uma poupança positiva ou negativa. Isto afeta as suas posições financeiras e os fluxos de renda associados a ela (pagamentos de juros, etc).

Esta versão do IMACLIM-BR é calibrada no ano base 2005, e tem como horizonte final de estudo o ano 2050. A economia pode ser desagregada em até 19 setores (6 setores energéticos, transportes de cargas e de passageiros, agricultura, pecuária, construção, 6 setores relativos à indústria pesada, e demais setores da economia), de acordo com a matriz insumo-produto.

AI.3 – Formulário

O IMACLIM-BR resume-se a um conjunto de equações simultâneas:

$$\begin{cases} f_1(x_1, \dots, x_n, z_1, \dots, z_m) = 0 \\ f_2(x_1, \dots, x_n, z_1, \dots, z_m) = 0 \\ \dots \\ f_n(x_1, \dots, x_n, z_1, \dots, z_m) = 0 \end{cases}$$

onde:

$x_i, i \in [1, v]$, é o conjunto de variáveis (tantas quanto as equações),

$z_i, i \in [1, p]$, é o conjunto de parâmetros,

$f_i, i \in [1, v]$, é o conjunto de funções, algumas delas não lineares em x_i .

As funções f_i são de duas naturezas distintas: (i) um subconjunto de equações que descrevem as restrições contábeis que devem ser necessariamente verificadas para assegurar que o sistema de contabilidade dupla está corretamente equilibrado; e (ii) o outro sub-conjunto de equações se traduz em diferentes restrições de comportamento dos setores, podendo ser escritas de uma forma linear simples (ex: as famílias consomem uma proporção fixa de sua renda total), ou de uma forma mais complexa e não linear (ex: escolhas dos produtores e consumidores). A liberdade de modelagem do comportamento dos agentes é o que proporciona uma arquitetura flexível ao IMACLIM-BR, de forma que ele possa apresentar uma visão da economia diferenciada dos modelos CGE tradicionais.

A apresentação das equações do modelo IMACLIM-BR sucessivamente detalha: (i) a construção contábil do conjunto de preços ao consumidor; (ii) as equações referentes à contabilidade e aos comportamentos que regem os quatro setores institucionais representados no modelo (famílias, empresas, governo e resto do mundo); (iii) as condições de equilíbrio dos mercados.

AI.3.1 Preço do produtor e preço ao consumidor – Geração de renda

O preço do produtor p_{Yi} do bem i é construído seguindo-se a estrutura de custos da produção deste bem i , que é a soma dos custos relativos ao consumo intermediário ($p_{Cj|i} \alpha_{ji}$), custos de trabalho ($p_{Li} l_i$), custos de capital ($p_K k_i$), impostos sobre a produção ($\overline{\tau_{Yi0}} p_{Yi}$), e a um *mark-up* constante de cada setor ($\overline{\pi_{i0}} p_{Yi}$):

$$p_{Yi} = \sum_{j=1}^n p_{Cj|i} \alpha_{ji} + p_{Li} l_i + p_K k_i + \overline{\tau_{Yi0}} p_{Yi} + \overline{\pi_{i0}} p_{Yi} \quad (1)$$

Os coeficientes técnicos α_{ji} são expressos em ktep consumido por ktep produzido para os insumos energéticos, de acordo com a natureza híbrida da base de dados, conforme explicado no capítulo 3.

O preço de importação p_{Mi} do bem i é específico para cada bem importado. Em primeiro lugar, o bem internacional "Resto da Economia" é o numerário do modelo; seu preço é portanto considerado constante e igual à unidade.

$$p_{MCOMP} = p_{MCOMP0} = 1 \quad (2)$$

p_i , o preço médio do bem i disponível no mercado doméstico, é a média ponderada entre os dois preços definidos anteriormente:

$$p_i = \frac{p_Y Y_i + p_M M_i}{Y_i + M_i} \quad (3)$$

Os bens energéticos domésticos e internacionais são considerados homogêneos: a hipótese alternativa de diferenciação dos produtos, adotada por diversos modelos GCE através da especificação de Armington (Armington, 1969), tem a desvantagem de criar variedades de bens híbridos, cujas unidades de volume são diferenciadas para as variedades domésticas e internacionais, o que impede uma contabilidade explícita dos fluxos energéticos em unidades físicas, e conseqüentemente do balanço energético. Os bens não energéticos foram tratados de forma similar.

p_{Cij} o preço do bem i consumido na produção do bem j é igual ao preço da matéria prima do bem i (p_i) mais as margens de comércio (τ_{MCi}), mais as margens de transporte (τ_{MTi}), mais as margens específicas ($\overline{\tau_{MSCij0}}$) e as taxas incidentes sobre o consumo ($\overline{\tau_{CONS_i0}}$).

$$p_{Cij} = p_i \left(1 + \tau_{MCi} + \tau_{MTi} + \overline{\tau_{MSCij0}} + \overline{\tau_{CONS_i0}} \right) \quad (4)$$

O preço ao consumidor de um bem i para as famílias (p_{Ci}), para o governo (p_{Gi}), e para investimento (p_{Ii}), e o preço de exportação do bem i (p_{Xi}) são construídos de forma similar:

$$p_{Zi} = p_i \left(1 + \tau_{MCi} + \tau_{MTi} + \overline{\tau_{MSzi0}} + \overline{\tau_{CONS_i0}} \right) \text{ onde } Z \in \{C, G, I, X\} \quad (5)$$

As margens específicas são calibradas no ano base e mantidas constantes para refletir as diferenças nas tarifas (fora os impostos) dos bens energéticos de acordo com os diferentes agentes/setores da economia⁶

As margens de comércio τ_{MCi} e de transportes τ_{MTi} , idênticas para todos os bens intermediários e para o consumo final do bem i , são calibradas no equilíbrio do ano base, e mantidas constantes, exceto aquelas referentes ao setor de transportes (TRANS) e de atividades comerciais que estão agregadas dentro do setor Resto da Economia (COMP), que são simplesmente ajustadas no equilíbrio do ano base, de modo que a soma de cada uma das margens seja igual a zero:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n \tau_{MCCOMP} p_{COMP} \alpha_{COMPj} Y_j + \tau_{MCCOMP} p_{COMP} (C_{COMP} + G_{COMP} + I_{COMP} + X_{COMP}) \\ & + \sum_{i \neq COMP} \sum_j \overline{\tau_{MCi0}} p_i \alpha_{ij} Y_j + \sum_{i \neq COMP} \overline{\tau_{MCi0}} p_i (C_i + G_i + I_i + X_i) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

e de forma similar :

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n \tau_{MTTRANS} p_{TRANS} \alpha_{TRANSj} Y_j + \tau_{MTTRANS} p_{TRANS} (C_{TRANS} + G_{TRANS} + I_{TRANS} + X_{TRANS}) \\ & + \sum_{i \neq TRANS} \sum_j \overline{\tau_{MTi0}} p_i \alpha_{ij} Y_j + \sum_{i \neq TRANS} \overline{\tau_{MTi0}} p_i (C_i + G_i + I_i + X_i) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

⁶ Por exemplo, o setor de alumínio no Brasil se beneficia de preços muito baixos de energia, e em geral o preço da eletricidade para a indústria é mais baixo do que para as famílias.

Os custos do trabalho são iguais ao salário médio do setor w_i mais os encargos trabalhistas, que correspondem às contribuições dos trabalhadores à previdência privada (τ_{LS_i}), e à previdência pública e ao sistema S^7 (τ_{LG_i}). Eles são cobrados com base nas relações calibradas no ano base $\overline{\tau_{LG_i}}$ e $\overline{\tau_{LS_i}}$, específicas por setor produtivo:

$$p_{Li} = (1 + \overline{\tau_{LG_i}} + \overline{\tau_{LS_i}}) w_i \quad (8)$$

Os salários w_i nos diferentes setores evoluem de forma homogênea:

$$w_i = b \cdot w_{i0}, \quad (9)$$

O salário médio total da economia w é definido por:

$$w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i l_i Y_i}{\sum_{i=1}^n l_i Y_i}, \quad (10)$$

w está sujeito a variações que podem ser exógenas ou ditadas por hipóteses relativas à taxa total de desemprego, conforme será explicado mais a frente na seção de descrição do equilíbrio do mercado de trabalho.

O custo de capital é entendido como o custo do capital produtivo (conforme descrição das escolhas do setor produtivo), que é obtido como o preço médio dos bens de investimento:

$$p_K = \frac{\sum_{i=1}^n p_{Li} I_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (11)$$

Excedente Operacional Bruto

As escolhas do produtor na produção do bem i , a taxa interna de retorno constante π_i , e as margens específicas τ_{MS} determinam o excedente operacional bruto (EBE):

⁷ Sistema S é o nome pelo qual são chamados o conjunto de onze instituições de interesse de categorias profissionais, estabelecidas pela constituição brasileira (Sesc, Senai, Senac, etc).

$$E B = \sum_{i=1}^n \left(p_K k_{ii} Y_i + \bar{\pi}_i p_Y Y_i \right) + M_i \quad (12)$$

O excedente operacional bruto, que corresponde às receitas de capital, é dividido entre os agentes segundo frações constantes (calibradas no equilíbrio presente). Por construção, as margens específicas nas diferentes vendas M_S somam zero no equilíbrio do ano base (esta é uma restrição do processo de hibridização), entretanto isto não ocorre no equilíbrio futuro, quando as suas taxas constantes são aplicadas aos preços que estão variando. Sua expressão pode ser então definida por:

$$M_S = \sum_i \left(\sum_j \bar{\tau}_{MSC_{ij}} p_i \alpha_{ij} Y_j + \sum_h \bar{\tau}_{MSC_{hi}} p_i C_{hi} + \bar{\tau}_{MSG_i} p_i G_i + \bar{\tau}_{MSX_i} p_i X_i \right)$$

CPI é o índice de preços ao consumidor calculado segundo Fisher⁸, isto é, como uma média geométrica entre o índice de Laspeyres⁹ e o índice de Paasche¹⁰:

$$CI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_{Ci} C_{i0} \sum_{i=1}^n p_{Ci} C_i}{\sum_{i=1}^n p_{C_{i0}} C_{i0} \sum_{i=1}^n p_{C_{i0}} C_i}} \quad (13)$$

AI.3.2 Contas dos Setores Institucionais

AI.3.2.1 Famílias

As famílias são representadas por agentes representativos de diferentes estratos sociais que impulsionam a demanda final privada (C). A desagregação das famílias em m classes de renda (índice h , $h \in [1, m]$) permite levar em consideração as estruturas de renda e eventualmente diferentes comportamentos e capacidades de ajuste às novas condições de mercado.

Sua renda agregada aumenta juntamente com a soma dos salários, com parte dos lucros obtidos nos setores produtivos e mercados de capital, e com transferências sociais (aposentadorias, bolsa família,

⁸ O índice de preços de Fisher é usado para medir a variação de preços de bens e serviços, com base na cesta de bens tanto no ano base quanto no ano projetado. O índice de preços de Fisher é definido como uma média geométrica entre o índice de preços de Laspeyres e o índice de preços de Paasche, e, por esta razão, o índice de preços de Fisher é também conhecido como o índice de preços "ideal" (Eurostat, 2008).

⁹ Variação do custo de uma cesta de bens do presente, comparando preços relativos no presente com preços relativos no futuro.

¹⁰ Variação do custo de uma cesta de bens do futuro, comparando preços relativos no presente com preços relativos no futuro.

etc), e decresce com o aumento dos impostos (imposto de renda, etc). Sua taxa de poupança e taxa de investimento (parcela da formação bruta de capital fixo, GFCF na renda disponível) são mantidas constantes em relação ao ano base.

No que diz respeito às escolhas das famílias, uma premissa importante foi a de definição de necessidades básicas de energia e alimentação, que foram hipoteticamente definidas como 70% do consumo observado no ano base. Desta forma, o consumo de energia e de alimentos foi definido como a soma das necessidades básicas mais um consumo acima delas relacionado a uma elasticidade-preço e uma elasticidade-renda.

Demografia:

A população da classe h , N_h , cresce a partir de seu valor inicial no ano base devido a uma porcentagem exógena δN que é comum a todas as classes. N é a população total empregada, e N_h é a população total empregada na classe h .

Formação de renda, poupança e decisões de investimento:

$R_{DBA|h}$, o rendimento primário bruto da classe h é definido como a soma dos seguintes termos:

Uma parcela ω_{Lh} do rendimento total do trabalho $w_i l_i Y_i$, que varia com a população ativa empregada em cada classe.

Uma parcela ω_{Kh} da fração "renda do capital" que vai para as famílias, EBE_H . O valor de ω_{Kh} é exógeno e sua calibração foi feita a partir do valor encontrado na SAM no ano base.

A dívida $-i_H D_h$, que corresponde ao rendimento de propriedade (juros, dividendos, aluguéis, etc). Este serviço é o produto da dívida líquida D_h , cuja evolução será explicada mais a frente neste capítulo, e uma taxa de juros endógena efetiva para as famílias i_H .

As transferências sociais, em dois diferentes agregados: (i) transferências sociais do governo $\rho_{Gh} N_h$, que incluem salário desemprego, aposentadorias e também outras transferências como o bolsa família, e (ii) transferências sociais privadas $\rho_{Sh} N_h$ (previdência privada, por ex.). Estes agregados são calculados de forma similar, na multiplicação de uma "transferência per capita" ρ e a população de cada classe, N_h .

Uma parcela exógena ω_{ATh} das transferências residuais A_{Th} , que correspondem à soma de outras transferências não contabilizadas anteriormente.

$$RDBAI_h = \omega_{Lh} \sum_{i=1}^n w_i l_i Y_i + \overline{\omega_{Kh}} EBE_H - i_h D_h + \rho_{Gh} N_h + \rho_{Sh} N_h + \overline{\omega_{ATh}} A_{Th}, \quad (14)$$

Em particular, EBE_H e A_{Th} são definidos como frações constantes $\overline{\omega_{Kh}}$ e $\overline{\omega_{ATh}}$ de EBE e A_T .

$$EBE_H = \overline{\omega_{Kh}} EBE$$

$$A_{Th} = \overline{\omega_{ATh}} A_T \quad (15)$$

A renda disponível bruta RDB_h da classe h é obtida subtraindo de $RDBAI_h$ o imposto de renda T_{IRh} , cobrado como uma proporção constante, e duas outras taxas indiretas T_{Gh} e T_{Sh} (que são transferidas respectivamente para o governo e para as empresas) que são indexadas ao índice de preços IPC. R_h , o orçamento da classe h para o consumo, é encontrado pela subtração entre a renda disponível e a poupança daquela classe. A taxa de poupança τ_{Sh} é exógena (calibrada para acomodar os valores de RDB_h e R_h no equilíbrio presente).

$$RDB_h = RDBAI_h - T_{IRh} - T_{Gh} - T_{Sh} \quad (16)$$

$$R_h = (1 - \tau_{Sh}) RDB_h \quad (17)$$

A partir dos dados da SAM, é possível observar o investimento das famílias $GFCF_h$ (formação bruta de capital fixo), distinto da poupança das famílias. Assume-se que $GFCF_h$ segue a hipótese de ser uma fração fixa da renda disponível bruta RDB_h . A diferença entre a poupança e os investimentos das famílias fornece a capacidade de autofinanciamento da classe h , CAF_h .

$$\frac{GFCF_h}{RDB_h} = \frac{GFCF_{h0}}{RDB_{h0}} \quad (18)$$

$$CAF_h = \tau_{Sh} RDB_h - GFCF_h \quad (19)$$

A evolução da CAF_h entre os equilíbrios no presente e no futuro pode ser utilizada para estimar a evolução da dívida líquida das famílias, D_h . Este cálculo é baseado na hipótese que a capacidade de autofinanciamento durante o tempo de simulação t_{PROJ} é uma média entre a capacidade de autofinanciamento no presente e no futuro.

$$D_h = D_{h0} - t_{PROJ} \cdot R \cdot \frac{C A_{h0} F + C A_h}{2} \quad (20)$$

As taxas de juros impactam a renda dos agentes através da cobrança da dívida. Dessa forma elas são ajustadas de modo que a soma da formação bruta de capital fixo (GFCF) das famílias, empresas e governo se equiparem à demanda total por investimento.

Os níveis de bens imobilizados (I) são proporcionais à soma do consumo de capital agregado. Este é um modo de relacionar o aumento de capital imobilizado em 2030 e uma *proxy* do estoque de capital representado pelo consumo agregado de capital. Isto permite representar a contrapartida concreta do aumento de consumo de capital (relativo à uma substituição energia-capital, por exemplo na implementação de medidas de eficiência energética) no aumento necessário do capital produtivo numa trajetória econômica estável.

AI.3.2.2 Empresas – Setor Institucional

Renda bruta disponível e decisões de investimento:

De forma similar ao tratamento dado às famílias, a renda bruta disponível para as empresas RDB_S é definida como a soma de:

Uma parcela exógena ω_{KS} do rendimento de capital EBE .

A dívida (juros, dividendos) $-i_S D_S$, que é fortemente negativa no ano base (2005), servida por uma taxa de juros i_S endógena, calculada da mesma forma que i_H .

Duas transferências ligadas à previdência social privada: Contribuições à previdência

privada $T_{LS} = \sum_{i=1}^n \overline{\tau_{LSi}} w_i l_i Y_i$ e a soma de outras transferências das famílias $T_{Sh} = \overline{\tau_{Sh}} \cdot (\omega_{Lh} \sum_{i=1}^n w_i l_i Y_i)$.

Uma parcela exógena ω_{ATS} de outras transferências A_T , que são assumidas como uma parcela fixa do PIB.

$$R_S = \sum_{h=1}^m \rho_{Sh} N_{Sh}$$

E à subtração de:

Transferências sociais de fontes privadas R_S transferidas para as famílias, conforme definido na equação 14, que define o rendimento primário bruto das famílias.

Taxas pagas pelas empresas T_{IS} ao governo.

Desta forma:

$$RDB_S = \overline{\omega_{KS}} EBE + T_{LS} + \sum_{h=1}^m T_{Sh} - i_S D_S + \overline{\omega_{ATS}} A_T - (R_S + T_{IS}) \quad (21)$$

A razão entre a formação bruta de capital das firmas $GFCF_S$ e a sua renda disponível bruta RDB_S é assumida como constante; de forma similar às famílias e de acordo com as contas nacionais sua capacidade de autofinanciamento CAF_S surge da diferença entre RDB_S e $GFCF_S$. A dívida líquida das empresas D_S é então calculada a partir de sua capacidade de autofinanciamento CAF_S , seguindo a mesma especificação aplicada às famílias.

$$\frac{GFCF_S}{RDB_S} = \frac{GFCF_{S0}}{RDB_{S0}} \quad (22)$$

$$CAF_S = RDB_S - GFCF_S \quad (23)$$

$$D_S = D_{S0} - t_P R \frac{C A_{S0} F + C A_S F}{2} \quad (24)$$

AI.3.2.3 Governo ou Administração Pública

Impostos, contribuições sociais e política fiscal:

Os impostos e contribuições sociais formam a maior parte dos recursos do governo, conforme as fórmulas 25 a 30, a seguir:

$$T_{LG} = \sum_{i=1}^n \overline{\tau_{LIGi}} w_i l_i Y_i \quad (25)$$

$$T_Y = \sum_{i=1}^n \overline{\tau_{Yi}} p_{Yi} Y_i \quad (26)$$

$$T_{CONS} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i \overline{\tau_{CONS_i}} \alpha_{ij} Y_j + \sum_{i=1}^n \overline{\tau_{CONS_i}} (C_i + G_i + I_i) \quad (27)$$

$$T_I = \overline{\tau_I} EBE \quad (28)$$

$$T_I = \overline{\tau_I} RDB \quad (29)$$

$$T_{Gh} = \overline{\tau_{Gh}} \cdot (\omega_{lh} \sum_{i=1}^n w_i l_i Y_i) \quad (30)$$

T é a soma de todos os impostos e contribuições sociais:

$$T = T_{LG} + T_Y + T_{CONS} + T_{IS} + \sum_{h=1}^m T_{IRh} + \sum_{h=1}^m T_{Gh} \quad (31)$$

Renda bruta, gastos públicos, investimentos e transferências:

De modo análogo ao tratamento dado às famílias e às empresas (segundo a lógica prevalente na SAM), a renda bruta disponível do governo RDB_G é a soma dos impostos e contribuições sociais, de parcelas exógenas ω_{KG} do EBE , do ω_{ATG} de "outras transferências" A_T , e da dívida $i_G D_G$, de onde são subtraídos os gastos públicos $p_G G$ e as transferências sociais R_h :

$$RDB_G = T + \overline{\omega_{KG}} EBE + \overline{\omega_{ATG}} A_T - i_G D_G - \left(\sum_{i=1}^n p_{Gi} G_i + R_G \right) \quad (32)$$

Assume-se que os gastos públicos $p_G G$ crescem no mesmo ritmo que a renda nacional, sendo definido como uma fração constante do PIB:

$$\frac{\sum_{i=1}^n p_{Gi} G_i}{HB} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{Gi0} G_{i0}}{HB_0}, \quad (33)$$

As transferências sociais para as famílias R_n são definidas como:

$$R_G = \sum_{h=1}^m \rho_{Gh} N_{Gh} \quad (34)$$

Para as transferências sociais R_G e R_S , transferências *per capita* ρ_{Gh} e ρ_{Sh} são indexadas ao salário médio:

$$\forall K \in [G, S], \forall h \in [1, m] \quad \rho_{Kh} = \frac{w}{w_0} \rho_{Kh0} \quad (35)$$

Por último, a taxa de juros da dívida pública i_G evolui de forma diferente que i_H e i_S , e é calibrada em dados históricos entre 1994 e 2005, variando de acordo com uma elasticidade calculada segundo a razão entre a dívida pública e o PIB.

O investimento público $GFCF_G$, da mesma forma que os gastos públicos $p_G G$, são considerados como uma fração constante do PIB. Para encontrar a capacidade de autofinanciamento do governo CAF_G , subtraímos $GFCF_G$ e $p_G G$, do RDB_G , o que determina a variação da dívida pública, cuja acumulação é tratada da mesma forma que para as famílias e para as empresas:

$$\frac{GFCF_G}{PIB} = \frac{GFCF_{G0}}{PIB_0} \quad (36)$$

$$CAF_G = RDB_G - GFCF_G \quad (37)$$

$$D_G = D_{G0} - t_P \frac{C A_G F + C A_G F}{R \sigma J 2} \quad (38)$$

AI.3.2.4 Resto do Mundo

Fluxos de capital e capacidade de autofinanciamento:

Os fluxos de capital entre o Brasil e o resto do mundo (RDM) não têm um comportamento específico definido, e são simplesmente determinados como o equilíbrio entre os fluxos de capital dos três setores institucionais domésticos (famílias, empresas e governo) para assegurar o equilíbrio contábil

referente ao comércio exterior. Essa hipótese determina a capacidade de autofinanciamento do resto do mundo, que por sua vez determina a evolução da sua dívida líquida D_{RDM} :

$$CAF_{RDM} = \sum_{i=1}^n p_{Mi} M_i - \sum_{i=1}^n p_{Xi} X_i + \sum_{K=H,S,G}^n i_K D_K - \sum_{K=H,S,G}^n A_{TK} \quad (39)$$

$$D_{RDM} = D_{RDM0} - t_{PROJ} \frac{CAF_{RDM0} + CAF_{RDM}}{2} \quad (40)$$

Por definição, a soma das capacidades de autofinanciamento dos quatro setores institucionais tem soma zero, e conforme suas posições líquidas compensam-se uma às outras tanto no ano base quanto no equilíbrio projetado.

Por último, as outras transferências A_T são definidas como uma parcela fixa do PIB:

$$\frac{A_T}{PIB} = \frac{A_{T0}}{PIB_0} \quad (41)$$

AI.3.2.5 As escolhas dos setores produtivos

A estrutura de contabilidade casada do IMACLIM-BR facilita a incorporação de informações *Bottom-Up* na estrutura de equilíbrio geral, em particular no que diz respeito aos fluxos energéticos, de forma a aprofundar a representação das escolhas de produção dos setores produtivos. Esta estrutura de contabilidade casada se distancia do modelo clássico, que consiste em pressupor uma função de produção (como por exemplo, uma função do tipo CES) calibrada no ano base, usando a hipótese de que aquele comportamento observado era ótimo. Como citado anteriormente, o IMACLIM-BR inova neste sentido, e pode incorporar informações BU de duas formas:

Através de uma integração com um modelo BU: neste caso a função de produção macroeconômica que descreve as escolhas dos coeficientes técnicos de acordo com os preços relativos é definida pelo modelo BU. Por exemplo, a função de produção do setor elétrico é substituída pelos coeficientes calculados a partir dos resultados do programa de otimização do MESSAGE no horizonte de tempo projetado.

Através da calibração de formas reduzidas de um modelo BU ou de curvas de custo marginal de abatimento, conforme descrito em Gherzi & Hourcade (2006) e mais à frente neste capítulo.

Na ausência de informações BU específicas para determinado setor (como para o setor Resto da Economia), as escolhas de produção são limitadas por assíntotas técnicas que definem consumos mínimos dos fatores de produção. De forma semelhante ao tratamento proposto por Gherzi & Hourcade (2006), essa hipótese restritiva é feita de modo que as parcelas variáveis dos consumos unitários dos fatores de produção são substituíveis de acordo com uma função CES, onde a existência de uma parcela fixa desses consumos implica que as elasticidades de substituição totais entre os fatores (soma das parcelas fixas e variáveis) não são constantes, mas decrescem ao se aproximar das assíntotas.

Sob estas hipóteses e restrições, no cenário de mitigação, a minimização dos custos unitários de produção leva à formulação dos consumos unitários dos fatores secundários α_{ji} , trabalho l_i e capital k_i , que podem ser escritos como a soma dos consumos mínimos (definidos pela assíntota) e um consumo acima deste mínimo. A última parte corresponde à expressão de demandas pelos fatores de produção numa função CES com uma elasticidade σ_i (coeficientes de λ_{Clij} , λ_{Li0} e λ_{Ki0} , que são calibrados no ano base).

$$\alpha_{ji} = \frac{\Theta_i}{\phi_i} \left[\beta_{ji} \alpha_{ji0} + \left(\frac{\lambda_{ji}}{P_{Clij}} \right)^{\sigma_i} \left(\sum_{j=1}^n \lambda_{ji}^{\sigma_i} P_{Clij}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Li}^{\sigma_i} P_{Li}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Ki}^{\sigma_i} P_K^{1-\sigma_i} \right)^{\frac{1}{\rho_i}} \right] \quad (42)$$

$$l_i = \frac{\Theta_i}{\phi_i} \left[\beta_{Li} l_{i0} + \left(\frac{\lambda_{Li}}{P_{Li}} \right)^{\sigma_i} \left(\sum_{j=1}^n \lambda_{ji}^{\sigma_i} P_{Clij}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Li}^{\sigma_i} P_{Li}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Ki}^{\sigma_i} P_K^{1-\sigma_i} \right)^{\frac{1}{\rho_i}} \right] \quad (43)$$

$$k_i = \frac{\Theta_i}{\phi_i} \left[\beta_{Ki} k_{i0} + \left(\frac{\lambda_{Ki}}{P_{Ki}} \right)^{\sigma_i} \left(\sum_{j=1}^n \lambda_{ji}^{\sigma_i} P_{Clij}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Li}^{\sigma_i} P_{Li}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Ki}^{\sigma_i} P_K^{1-\sigma_i} \right)^{\frac{1}{\rho_i}} \right], \quad (44)$$

onde

$$\rho_i = \frac{\sigma_i - 1}{\sigma_i} \quad (45)$$

Entretanto esta soma é modificada para levar em conta uma combinação de progresso técnico endógeno (ϕ), e de rendimentos decrescentes (Θ_i). Este último fator impacta sobre o consumo de todos os fatores de produção, ao assumi-los elásticos ao volume produzido segundo uma elasticidade fixa σ_{Θ_i} , que é calibrada sob a hipótese de custos marginais.

$$\Theta_i = \left(\frac{Y_i}{Y_{i0}} \right)^{\sigma_{\Theta i}} \quad (46)$$

$$\sigma_{\Theta i} = \frac{\bar{\pi}_i}{1 - \pi_i} \quad (47)$$

$$\phi_i = \left(\frac{k_i Y_i}{k_{i0} Y_{i0}} \right)^{\sigma_{\phi i}} \quad (48)$$

É importante ressaltar que o custo de capital p_k considerado nas equações 41, 42 e 43 está relacionado apenas ao capital produtivo. Por um lado, as escolhas de produção são baseadas nos custos dos fatores de produção, incluindo o do capital produtivo k_i (calibrado no consumo de capital fixo da SAM). Por outro lado, as atividades das empresas e a regra de investimento (GFCF, equação 22), levam a uma alteração em sua posição financeira D_s , cujo serviço não é considerado como fator de produção.

AI.3.2.5.1 Consumo

O consumo das famílias C_{ih} foi definido sem a utilização de nenhuma função de utilidade explícita, como a soma de uma necessidade básica, exógena, comum a todas as classes, e um consumo acima desta necessidade básica, que varia segundo uma elasticidade-preço σ_{Cpi} e uma elasticidade-renda σ_{CRi} estimadas na Nota Técnica II (Edson Domingues).

$$\forall i \neq \text{COMP} \quad C_{ih} = \beta_{ih} C_{ih0} + (1 - \beta_{ih}) \left(\frac{p_{Ci}}{IPC} \frac{1}{p_{Ci0}} \right)^{\sigma_{Cpi}} \left(\frac{R_h}{IPC} \frac{1}{R_{h0}} \right)^{\sigma_{CRi}} C_{ih0} \quad (49)$$

Onde $COMP$ representa os bens produzidos pelo setor Resto da Economia, e β_{ih} representa a fração do consumo de referência da classe h que corresponde às necessidades básicas (que arbitrariamente foi considerado 70% do consumo no ano base).

C_{COMPh} corresponde à demanda por bens do setor Resto da Economia, que é simplesmente definido subtraindo-se os gastos com os outros bens da economia do orçamento familiar total para consumo, como a seguir:

$$p_{CCOMP} C_{COMPh} = R_h - p_{ih} C_{ih} \quad (50)$$

AI.3.2.5.2 Comércio internacional

A competição nos mercados internacionais é definida pelos preços relativos. A razão entre as importações e a produção doméstica por um lado, e as quantidades exportadas por outro, são elásticas aos termos de troca, de acordo com elasticidades constantes, que podem ser específicas para cada produto, e também calibradas conforme a Nota Técnica II (Edson Domingues):

$$\frac{M_i}{Y_i} = \frac{M_{i0}}{Y_{i0}} \left(\frac{P_{M0} P_{Y_i}}{P_{Y0} P_M} \right)_i^{\sigma_M} \quad (51)$$

$$\frac{X_i}{X_{i0}} = \left(\frac{P_{M0} P_{X_i}}{P_{X0} P_M} \right)_i^{\sigma_{X_i}} (1 + \delta_{X_i}) \quad (52)$$

O tratamento diferenciado dado às importações e exportações reflete a hipótese que, apesar da evolução dos termos de troca, os volumes importados aumentam em proporção à atividade econômica doméstica (produção doméstica), enquanto as exportações não. As exportações são impactadas, entretanto, pelo crescimento do resto do mundo, de forma independente às variações dos termos de troca. Este fato é capturado ao assumir-se um volume extra de exportações δ_{X_i} , exógeno.

Nos cenários com taxa de carbono global é necessário fazer uma correção da variação dos preços internacionais devido à taxa. Conforme discussão com o CEC, esta correção seria necessária para podermos ter resultados mais realistas em termos da competitividade das indústrias brasileiras. Devido ao modelo IMACLIM-BR não simular o impacto de taxas de carbono nos preços dos produtos produzidos nos demais países do mundo, foi combinado com o CEC que seria feita uma estimativa da variação destes preços internacionais com base na relação entre o conteúdo de carbono do produto brasileiro e do produto internacional, especificamente para os setores “Papel e Celulose”, “Cimento”, “Siderurgia”, e “Metais não Ferrosos”.

AI.3.2.5.3 Mercado de Trabalho

O mercado de trabalho resulta da interação entre a demanda por trabalho dos sistemas produtivos, que é igual à soma de suas demandas por este fator $l_i Y_i$, e a oferta de trabalho suprida pelas famílias. A quantidade de trabalho ofertada pelas famílias L_0 cresce segundo hipóteses exógenas (demografia e evolução da produtividade do trabalho), em um ritmo constante para todas as classes, considerando um trabalho de tempo integral para a população ativa no equilíbrio, no ano base e no futuro. Entretanto, o modelo permite uma taxa de desemprego positiva u , e dessa forma, a equação de equilíbrio do mercado de trabalho pode ser escrita como:

$$(1-u)(1+\delta_L)L_0 = \sum_{i=1}^n l_i Y_i \quad (53)$$

Ao invés de explicitar o comportamento da oferta de trabalho no cenário de referência, o modelo alternativamente trata como exógeno a taxa de desemprego total u , ou o crescimento real δw do salário médio w .

$$u = \bar{u} \quad (54a)$$

$$w = w_0(1+\delta w) \quad (54b)$$

Mudanças no nível de emprego correspondentes à evolução de u são divididas segundo as classes de renda das famílias de acordo com suas taxas de desemprego específicas u_h :

$$u_h = u_{h0} \frac{u}{u_0} \quad (55)$$

Desta forma, N_{uh} é o número de pessoas desempregadas na classe h .

$$N_{uh} = u_h (1+\delta_L)L_{h0} \quad (56)$$

N_{Lh} , o número de pessoas empregadas na classe h (definido como $(1+\delta_L)L_{h0} - N_{uh}$) permite determinar a parcela ω_{Lh} da renda total do trabalho que pertence à classe h :

$$\omega_{Lh} = \frac{\frac{N_{Lh}}{N_{Lh0}} \omega_{Lh0}}{\sum_{h=1}^m \frac{N_{Lh}}{N_{Lh0}} \omega_{Lh0}} \quad (57)$$

Curva de salários

O modelo IMACLIM-BR usa uma curva de salários no cenário de mitigação para descrever a negociação de salários no mercado de trabalho. Quando a taxa de desemprego é alta, os

trabalhadores aceitariam receber salários menores, mas quando a taxa de desemprego é baixa, as firmas aceitariam pagar salários mais altos. Com esta abordagem em mente, foi utilizada uma elasticidade σ_{wU} para definir esta relação, calibrada conforme uma publicação da CEDEPLAR/UFMG em 2009, denominada "Curvas de salários dinâmicas: Um estudo dos determinantes da histerese do desemprego no Brasil." (Santolin & Antigo, 2009).

$$\frac{w}{IPC} = w_0 \left(1 + \delta_w \right) \left(\frac{u}{u_0} \right)^{\sigma_{wU}} \quad (58)$$

AI.3.2.6 Equilíbrio dos Mercados

Mercados de bens:

O equilíbrio do Mercado de bens se dá por um simples balanço entre recursos (produção doméstica e importações) e usos (consumo doméstico, investimentos e exportações). Graças ao processo de hibridização, esta equação é escrita em ktep para bens energéticos, sendo consistente com o Balanço Energético Nacional para o ano 2005.

$$Y_i + M_i = C_i + G_i + I_i + X_i \quad (59)$$

Investimentos e fluxos de capital:

As taxas de juros efetivas para as famílias i_H e para as empresas i_S , estabelecem o equilíbrio do mercado de capitais: elas variam δ_i entre o valor do ano base e o valor final projetado, e impactam diretamente na renda disponível das famílias RDB_H e das empresas RDB_S , conseqüentemente em suas decisões de investimento $GFCF_H$ e $GFCF_S$, de forma a igualar a oferta de capital correspondente ao comportamento do governo $GFCF$ e $GFCF_G$, para demandar bens de investimento $p_{ii} I_i$. Esta demanda, por sua vez, é restrita pela hipótese de que a razão de cada um de seus componentes I_i ao consumo total de capital fixo (soma de $k_i Y_i$) é constante. Em outras palavras, o capital imobilizado em todos os setores produtivos é suposto homogêneo, e todos os seus componentes variam como o consumo total de capital fixo.

$$\forall K \in [H, S] \quad i_K = i_{K0} + \delta_i \quad (60)$$

$$\sum_{K=H,S} GFCF_K = \sum_{i=1}^n p_{fi} I_i \quad (61)$$

$$\frac{I_i}{\sum_{j=1}^n k_j Y_j} = \frac{I_{i0}}{\sum_{j=1}^n k_{j0} Y_{j0}} \quad (62)$$

O fechamento do modelo é fundamentalmente feito sobre a oferta de investimentos dos agentes, que se ajustam às demandas por investimento dos setores produtivos. Através de uma alteração das taxas de juros são observadas flutuações nos fluxos financeiros entre credores e devedores, e eventualmente na evolução da sua posição financeira líquida.

É importante ressaltar que o IMACLIM-BR possui uma estrutura bastante flexível, sendo possível tratar os diversos comportamentos descritos acima de formas alternativas. Portanto, o IMACLIM-BR proporciona uma plataforma robusta, que permite organizar o diálogo em torno das políticas climáticas e energéticas entre engenheiros e economistas, e até mesmo entre economistas de diferentes escolas.

Referências Bibliográficas

ARMINGTON, P. S., 1969. A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production. Staff Papers – International Monetary Fund, Vol. 16, No. 1 (Mar., 1969), pp. 159-178. Palgrave Macmillan Journals on behalf of the International Monetary Fund.

BLANCHFLOWER, D; OSWALD, A. *“The Wage Curve.”* Cambridge, MA: MIT Press, 1994.

COMBET, E., GHERSI, F., HOURCADE, J. C., THUBIN, C.. 2010. A Carbon tax and the Risk of Inequity. Working Paper. CIREDE, 2010.

EUROSTAT, 2008. Eurostat Price Statistics. An Overview. Eurostat Statistical Books. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 978-92-79-07356-4.

GHERSI, Frédéric e Jean-Charles HOURCADE. (2006). “Macroeconomic Consistency Issues in E3 Modeling: The Continued Fable of the Elephant and the Rabbit.” *Hybrid modeling of energy-environment policies: Reconciling Bottom-Up and Top-Down* – Special Issue of *the Energy Journal*.

HOURCADE, Jean-Charles; CRASSOUS, Renaud; SASSI, Olivier; GITZ, Vincent; WAISMAN, Henri; GUIVARCH, Céline. “IMACLIM-R: A modeling framework for sustainable development issues”. Working Paper. CIREDE, 2006.

MILLER, R., BLAIR, P., 2009, Input-output analysis: foundations and extensions. 2nd ed. Cambridge University Press. Reino Unido.

PAIVA, C., Trade Elasticities and market expectations in Brazil. International Monetary Fund. Working Paper 03/140.

SANTOLIN, R., ANTIGO, M. F., 2009. Curvas de salários dinâmicas: Um estudo dos determinantes da histerese do desemprego no Brasil. Texto para Discussão No 368. Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR, 2009.

TOURINHO, O. A. F., SILVA, N. L. C., ALVES, Y. B., 2006. Uma matriz de contabilidade social para o Brasil em 2003. Texto para discussão N° 1242. IPEA. Rio de Janeiro.

Wills, William., 2013. Modelagem dos Efeitos de Longo Prazo de Políticas de Mitigação de Emissão de Gases de Efeito Estufa na Economia do Brasil. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, para obtenção do título de Doutor em Ciências do Planejamento Energético.