

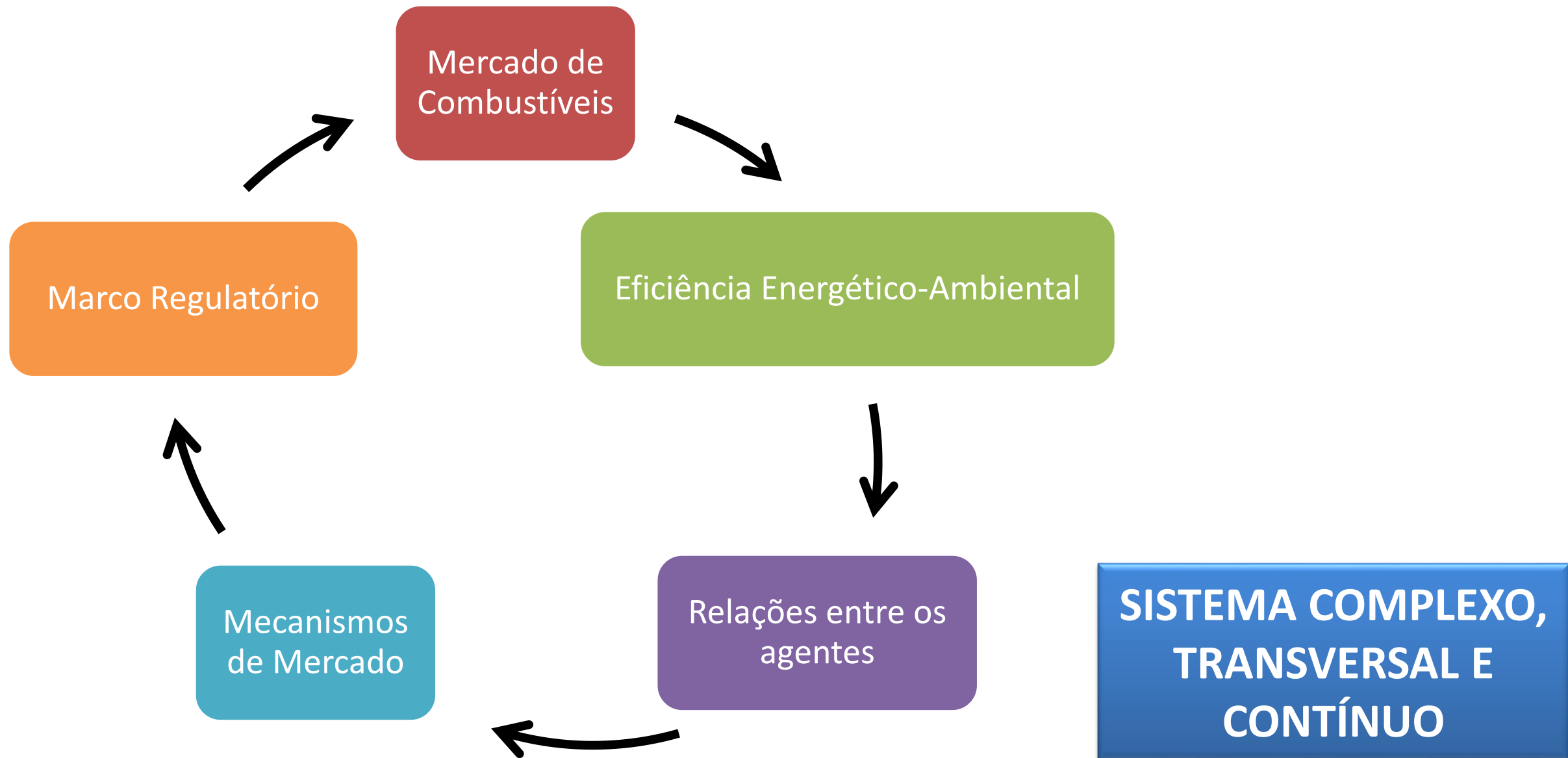
Ministério de
Minas e Energia



Política Nacional de Biocombustíveis
Lei nº 13.576/17

Modelo de análise de metas de redução de emissões

Abrangência do RenovaBio

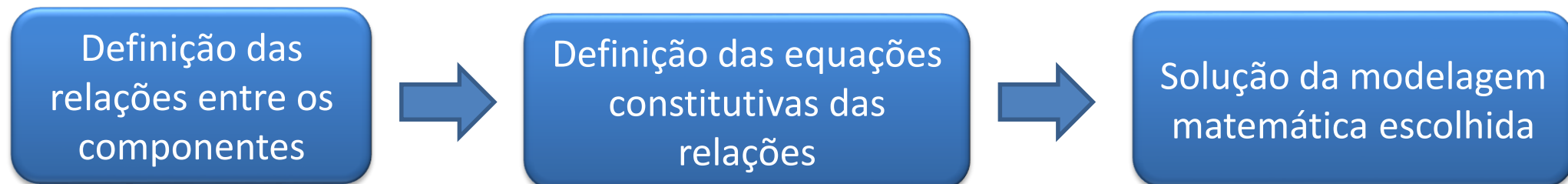


Modelagem em Sistemas Dinâmicos

Sistema: conjunto de componentes (agentes) que se interconectam por meio de relações de causa e efeito.

Sistema Dinâmico:

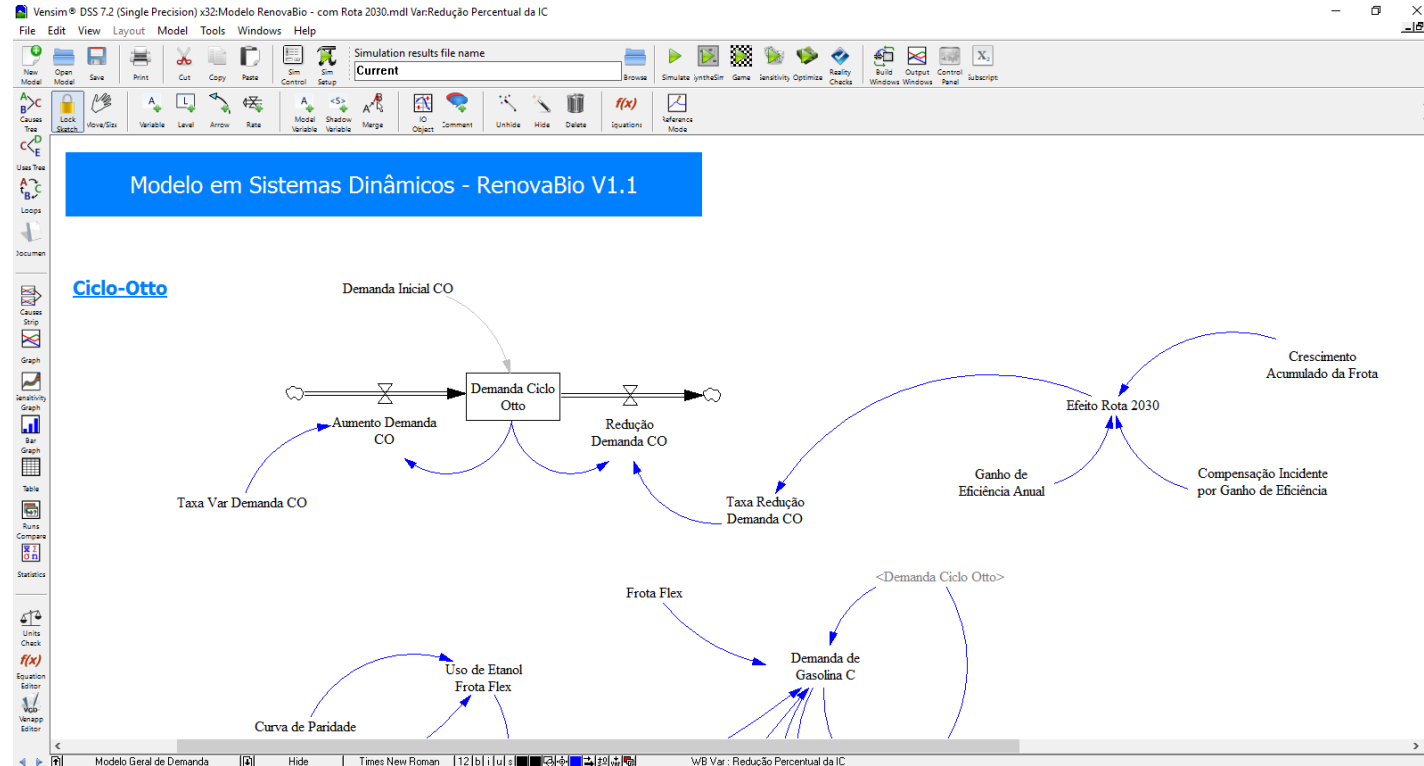
- As propriedades descritivas do sistema variam no tempo e na inter-relação entre as variáveis.
- **Sistemas econômicos são tipicamente caracterizáveis como Sistemas Dinâmicos**
- A análise dinâmica é feita em etapas:



Software escolhido



Quem utiliza o Vensim hoje:



Características do Vensim

<http://www.ventanasystems.com/>

- Construído com base em plataformas livres.
- Custo menor em relação aos concorrentes (PowerSim, Stella Professional, entre outros)
- Construção gráfica e textual da modelagem.
- Módulo de Análise de Sensibilidade (Monte Carlo).
- Módulo Avançado de detecção de erros.
- Disponível em modulo gratuito para uso acadêmico ou para **leitura** de modelos construídos:
 - <https://vensim.com/vensim-model-reader/>

Algoritmo RK4

Vensim

Plataforma: Windows

Módulo de Otimização de Políticas Públicas

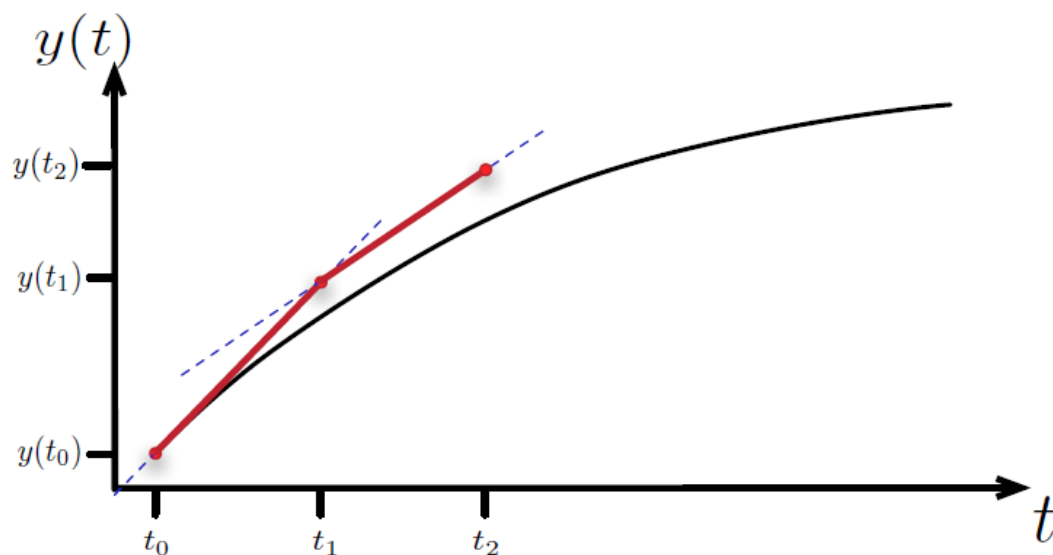
Parâmetros de setup do modelo:

T0 = 2018

T11 = 2028

Unidade = 1 ano

Método de Integração Escolhido = RK4



Para $\frac{dy}{dx} = f(x, y), y(0) = y_0$

Runge Kutta de 4ª ordem é calculado por:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h$$

Onde:

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1h\right)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2h\right)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_3h)$$

Modelagem do Mercado de Combustíveis

x = mercado de combustíveis fósseis

y = mercado de biocombustíveis

t = tempo

$$\text{se } \begin{cases} y = 0 \\ \frac{dx}{dt} = \alpha x, \alpha > 0 \end{cases}$$

$$\text{se } \begin{cases} x = 0 \\ \frac{dy}{dt} = -\rho y, \rho > 0 \end{cases}$$

Considerando que A, B, C e D são componentes do mercado:

-	A	B
C	AC	BC
D	AD	BD

Se mercado de combustíveis fósseis sofre redução $\rightarrow -xy\beta$

Se mercado de biocombustíveis aumenta $\rightarrow xy\delta$

β = tx de redução de fósseis e δ = tx de aumento da oferta de bio

Considerando as hipóteses anteriores:

$$\frac{dx}{dt} = x(\alpha - \beta y)$$

e

$$\frac{dy}{dt} = y(\delta x - \rho)$$

α , β , ρ e δ são parâmetros positivos que representam a interação dos mercados.

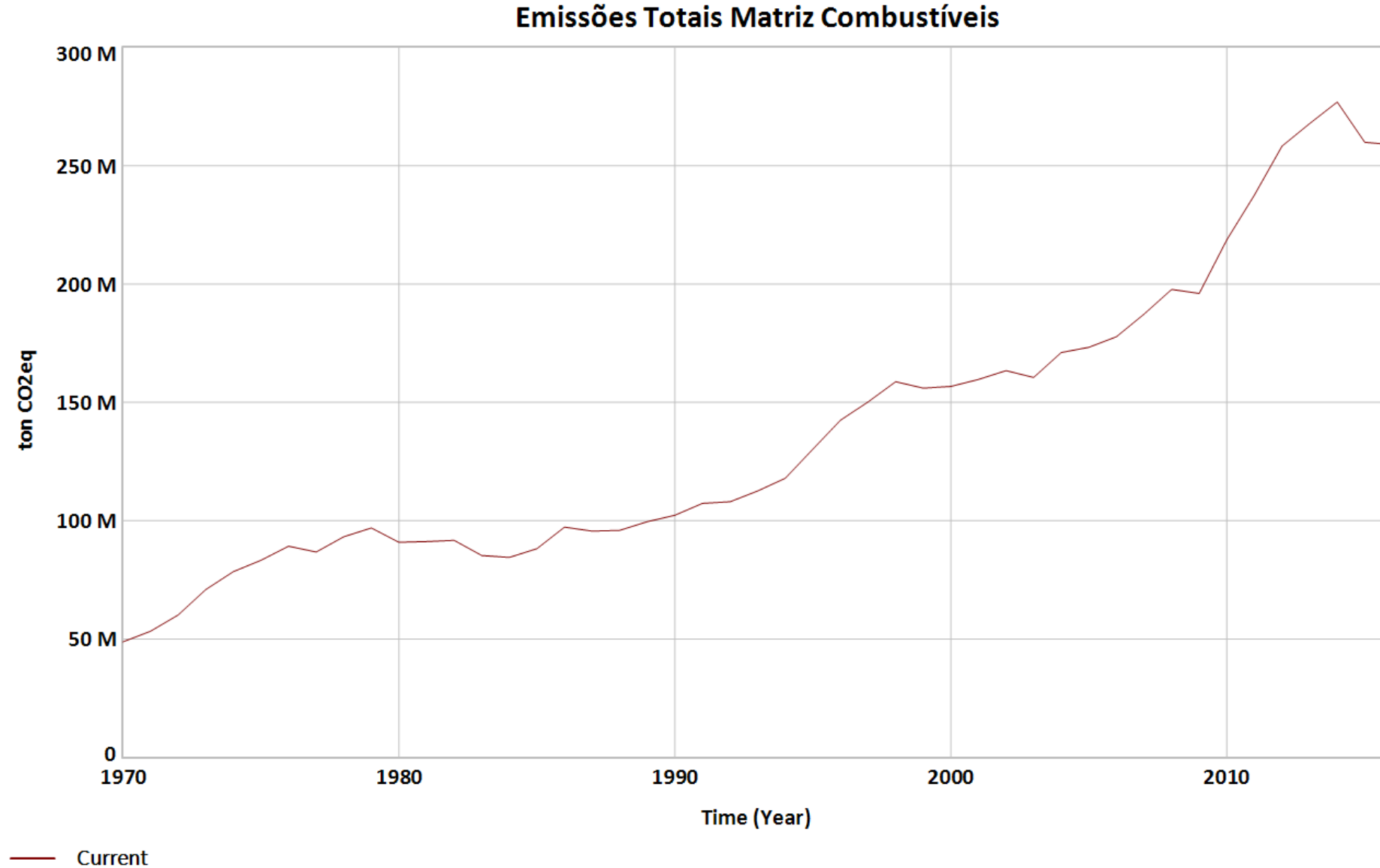
na relação entre os dois mercados:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y(\delta x - \rho)}{x(\alpha - \beta y)}$$

$$\int \left(\frac{\alpha - \beta y}{y} \right) dy = \int \left(\frac{\delta x - \rho}{x} \right) dx$$

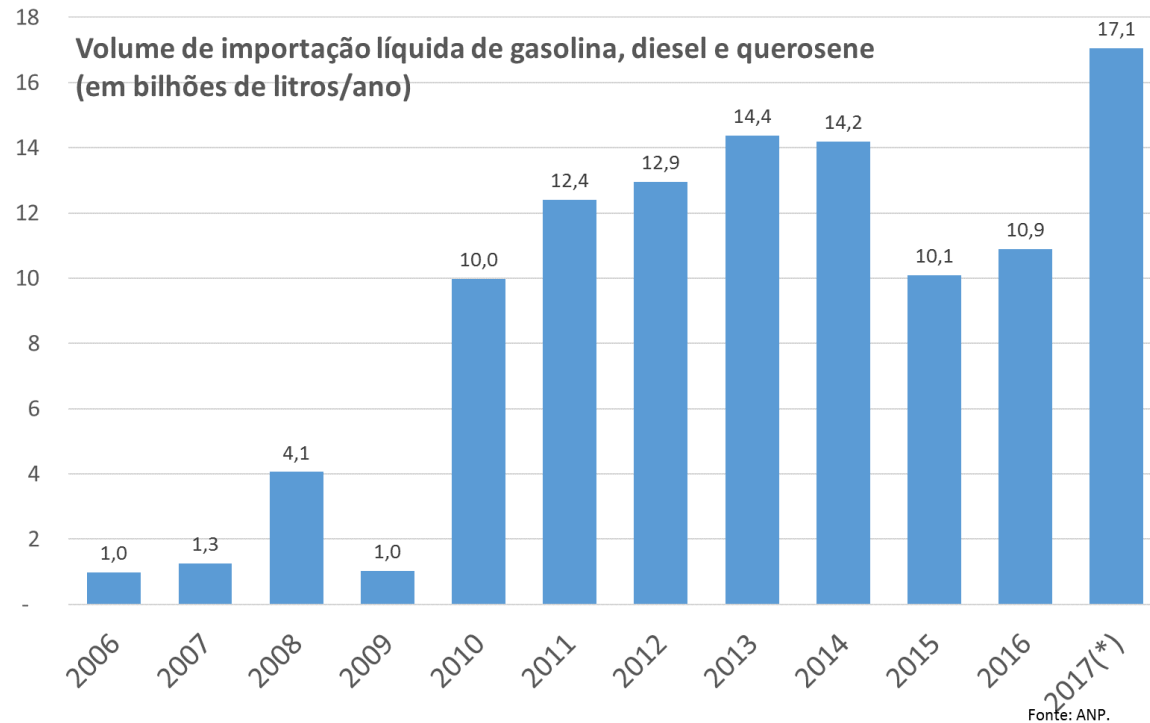
Solução é: $\alpha \ln(y) - \beta(y) + C = -\rho \ln(x) + \delta(x) + D$

Emissões de GEE

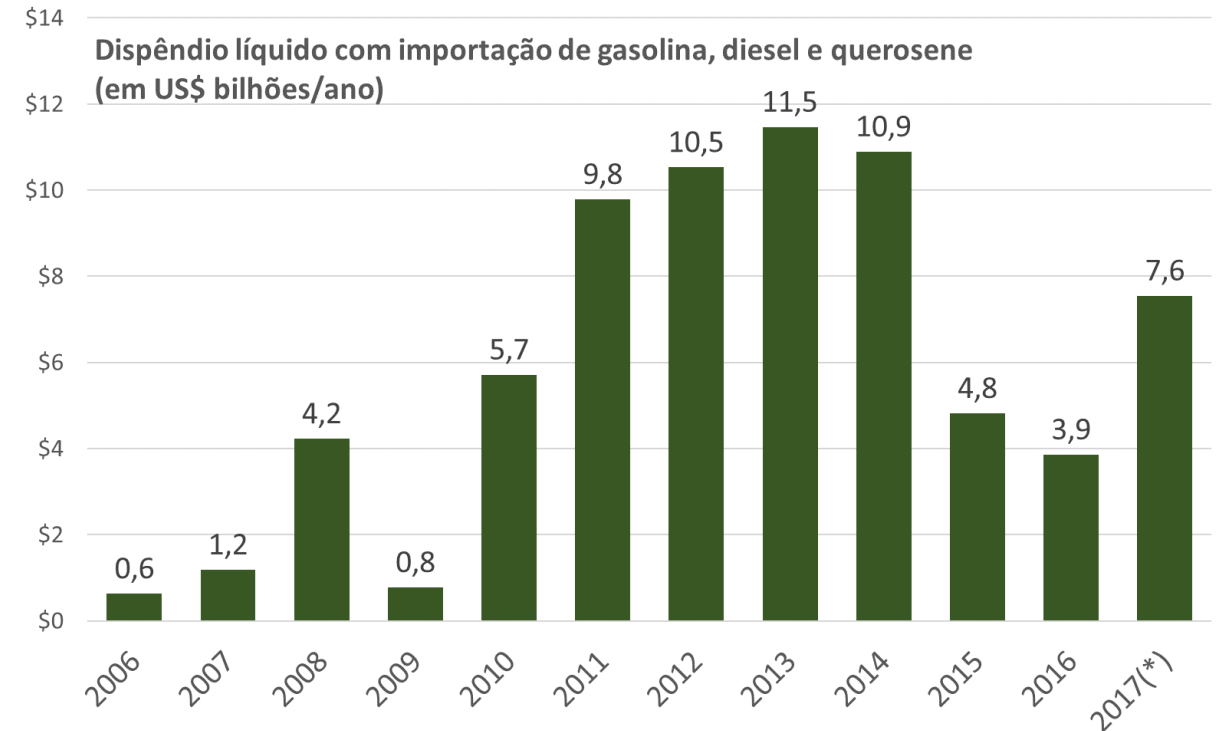


Emissões crescentes

Abastecimento



Importação de volumes crescentes e exposição a preços internacionais dos derivados



Déficit na Balança Comercial

Entradas do Modelo

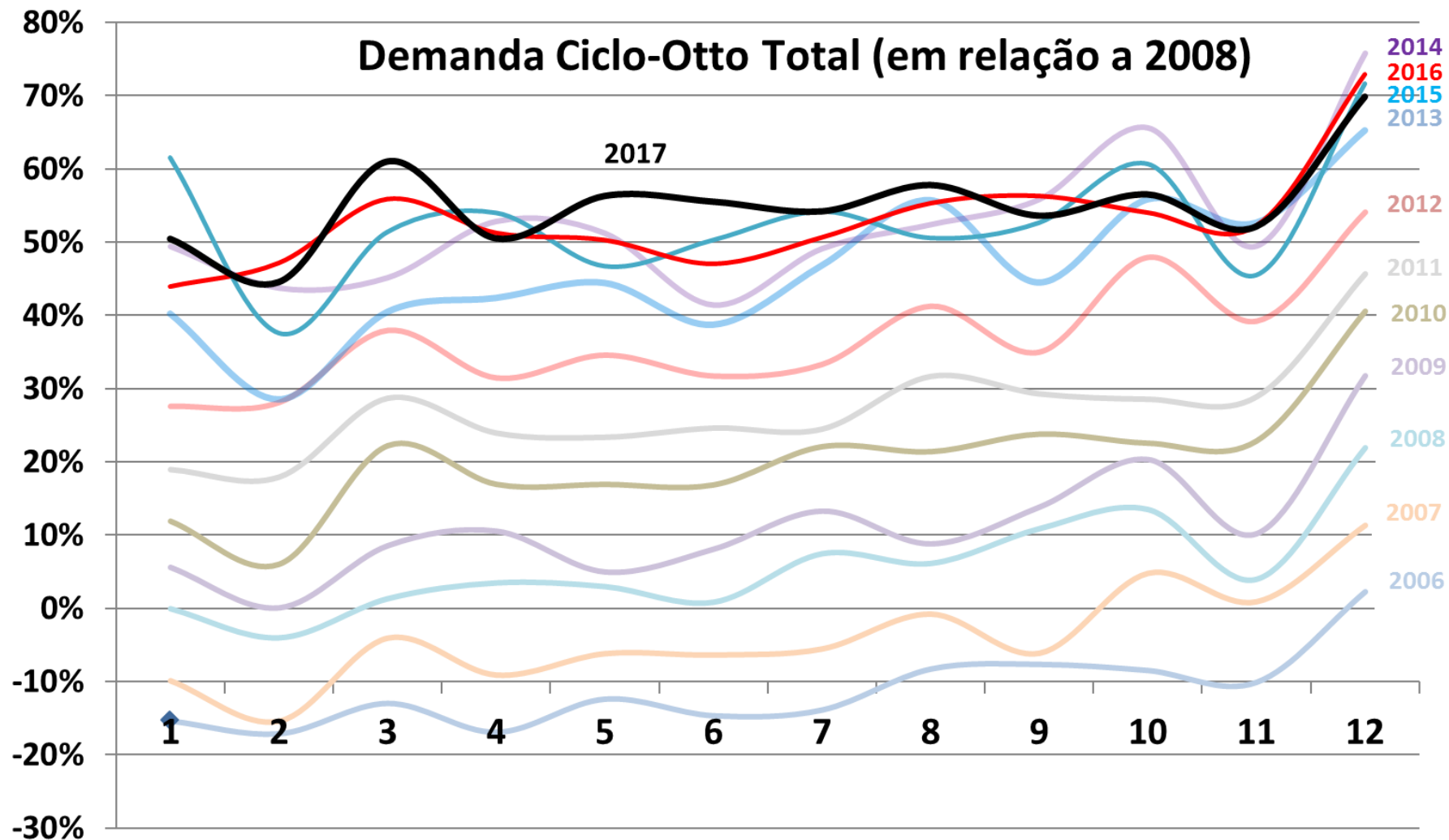
- Aumento de consumo por ganho de eficiência nos veículos novos (Rota 2030)
- Capacidade de produção nacional dos combustíveis
- Eficiência ambiental [IC dos Combustíveis (Inicial)]
- Evolução da participação dos veículos flex na frota
- Ganho de eficiência dos veículos novos
- Margem de refino dos combustíveis fósseis
- Paridade de preços Biodiesel/Diesel
- Paridade de preços BioGás GNV
- Paridade de preços BioQAv/QAv
- Paridade de preços Etanol Hidratado/Gasolina C
- Participação de Biodiesel Autorizativo
- Percentual de mistura de Biodiesel
- Percentual de mistura de BioGás
- Percentual de mistura de BioQAv
- Taxa de crescimento da Frota
- Taxa de ganho de eficiência ambiental para os combustíveis
- Taxa de variação da produção dos combustíveis
- Variação da Demanda Ciclo-Aviação
- Variação da Demanda Ciclo-Diesel
- Variação da Demanda Ciclo-Otto
- Variação da Demanda GNV

Saídas do Modelo

- **Intensidade de Carbono da Matriz de Combustíveis**
(Emissões por unidade de energia) [gCO₂eq/MJ]
- **Emissões Totais da Matriz de Combustíveis** [ton CO₂eq]
- **Demanda por combustível** [m³]
- **Importação de combustível** [m³]
- Oferta de CBIO
- Volume de CBIO por biocombustível
- **Preço da Cesta de Combustíveis**
- Participação relativa dos Combustíveis

Premissas Consideradas

Demanda Ciclo Otto:
modelo considera um crescimento de 24,3% no período 2018-2028.



Premissas Consideradas

Taxa de Crescimento da Frota: 2% aa.

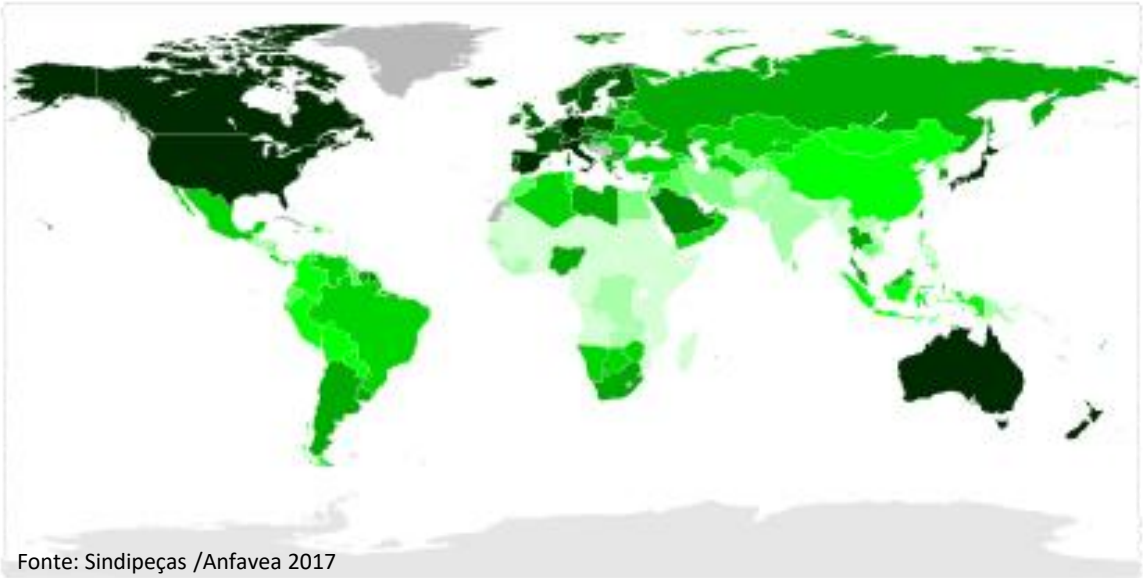
A idade média da frota atingiu 9 anos e 3 meses, o maior número desde 2006. A de motocicletas vem crescendo e atingiu 7 anos em 2016.

Idade média da frota circulante brasileira					
Segmento	2012	2013	2014	2015	2016
Automóveis	8 anos e 6 meses	8 anos e 7 meses	8 anos e 9 meses	9 anos	9 anos e 4 meses
Comerciais Leves	7 anos e 10 meses	7 anos e 7 meses	7 anos e 7 meses	7 anos e 10 meses	7 anos e 9 meses
Caminhões	9 anos e 6 meses	9 anos e 5 meses	9 anos e 5 meses	9 anos e 9 meses	10 anos e 3 meses
Ônibus	9 anos e 3 meses	9 anos e 2 meses	9 anos e 2 meses	9 anos e 6 meses	9 anos e 11 meses
Total	8 anos e 6 meses	8 anos e 6 meses	8 anos e 8 meses	8 anos e 11 meses	9 anos e 3 meses
Motocicletas	5 anos e 5 meses	5 anos e 9 meses	6 anos e 1 mês	6 anos e 6 meses	7 anos

Fonte: Sindipeças /Anfavea 2017

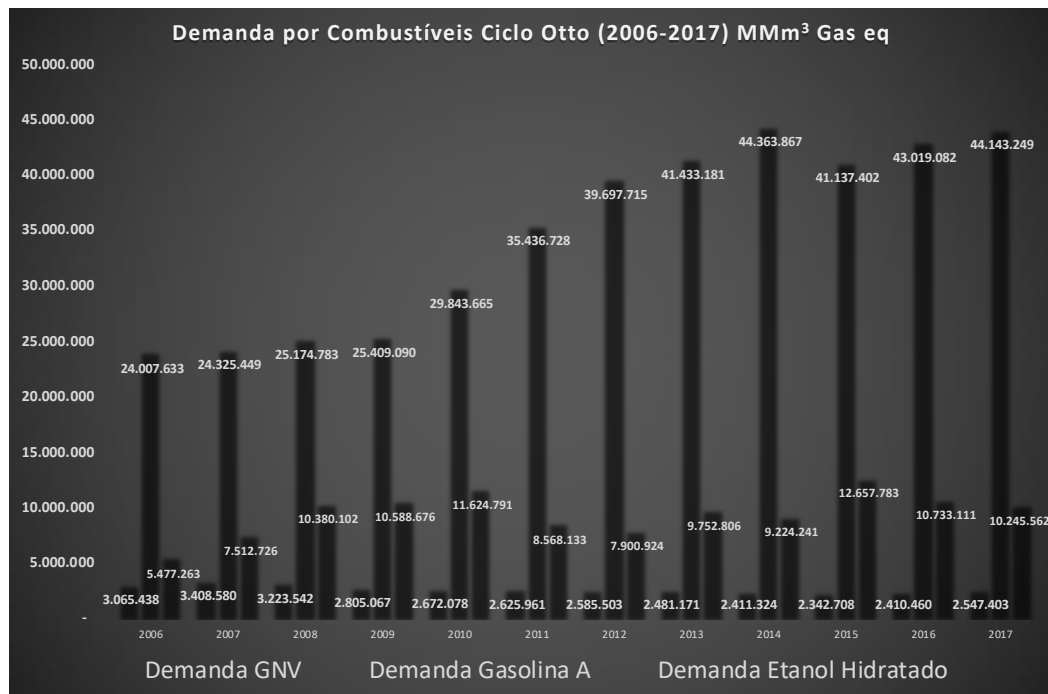


Fonte: Sindipeças /Anfavea 2017



Fonte: Sindipeças /Anfavea 2017

Premissas Consideradas



Fonte: ANP/MAPA/ABEGAS – Elaboração MME 2018

Demanda GNV: modelo considera um mercado estagnado no patamar de 2,5 MM m³.

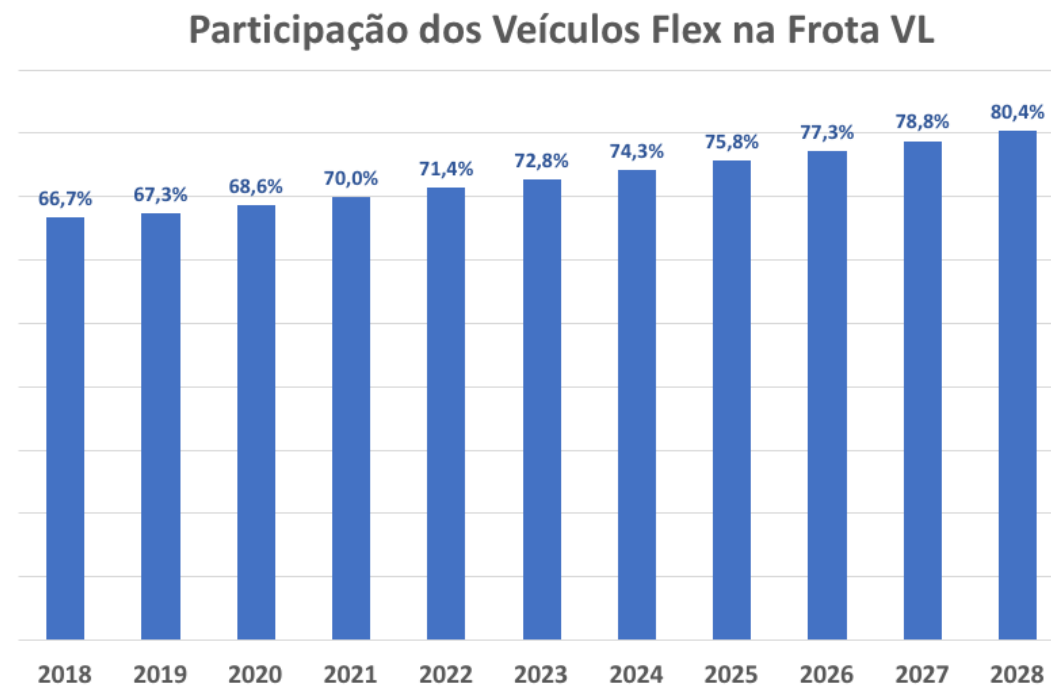
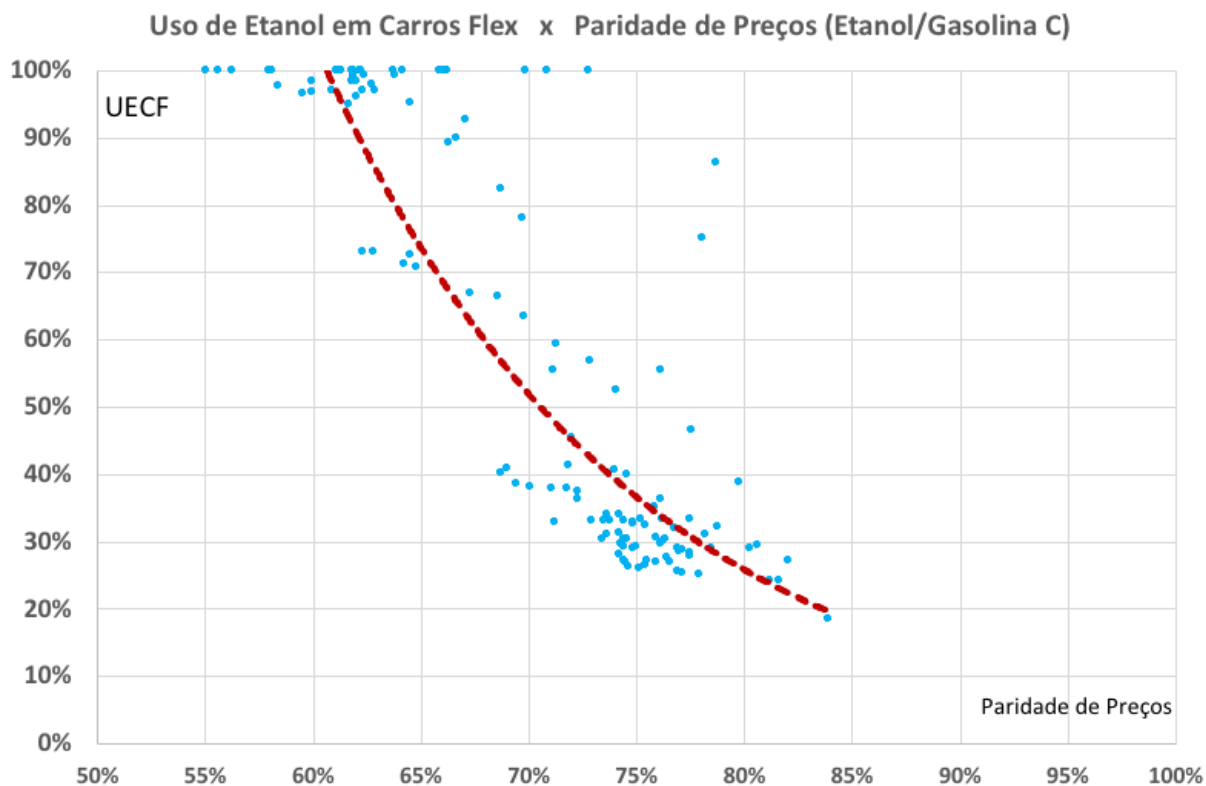
Ganho de Eficiência em Veículos novos (CO): modelo considera um os números que definem o novo regime automotivo (Rota 2030):

- 12% até 2022
- 18% até 2027

Premissas Consideradas

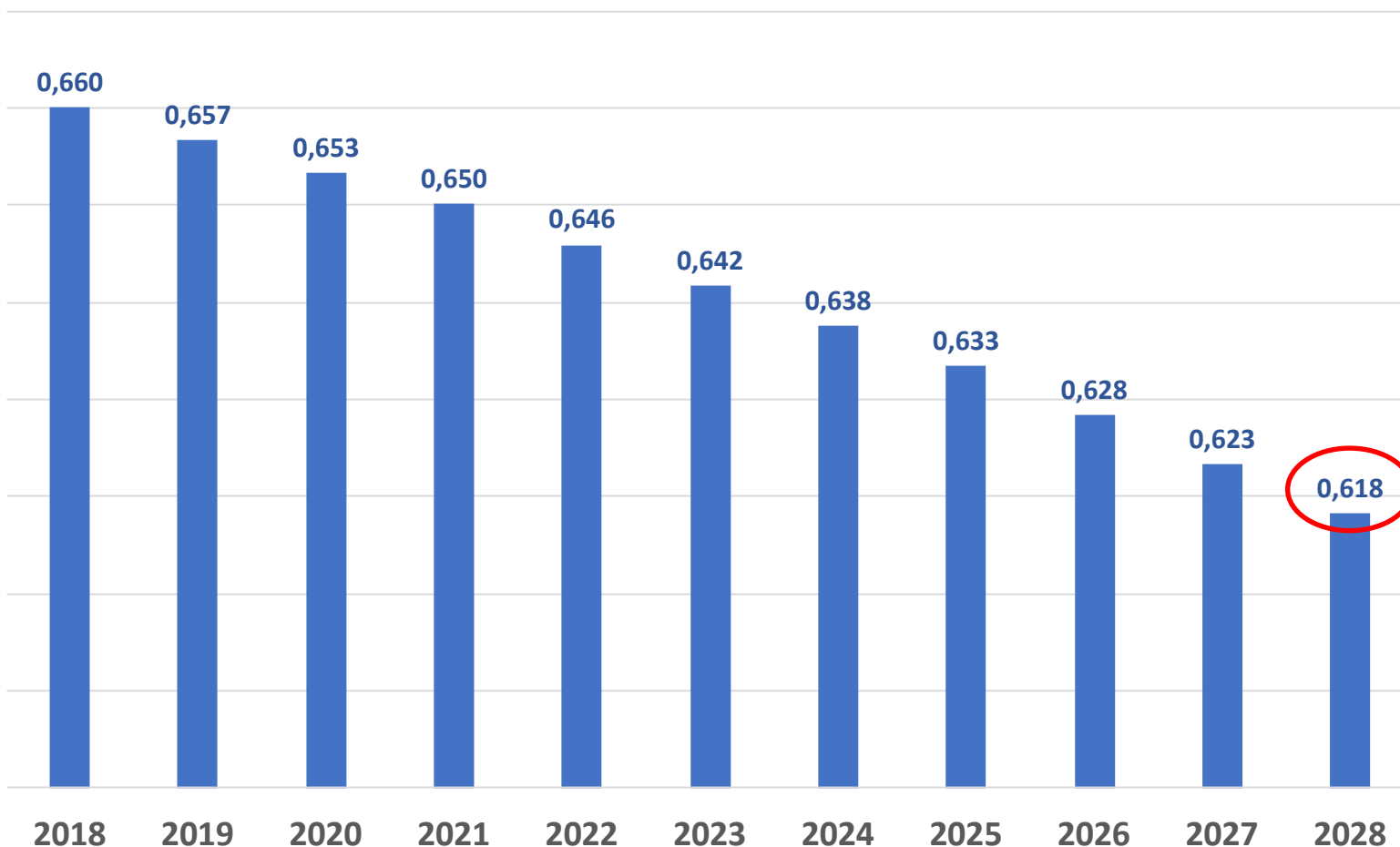
Função Paridade: modelo considera uma função que corresponde ao uso de etanol hidratado médio e a paridade de preços (Etanol Hidratado/Gasolina C).

Participação dos veículos Flex na Frota: 66,7% (2018) a 80,4% (2028)



Premissas Consideradas

Paridade de Preços [Etanol Hidratado/Gasolina]

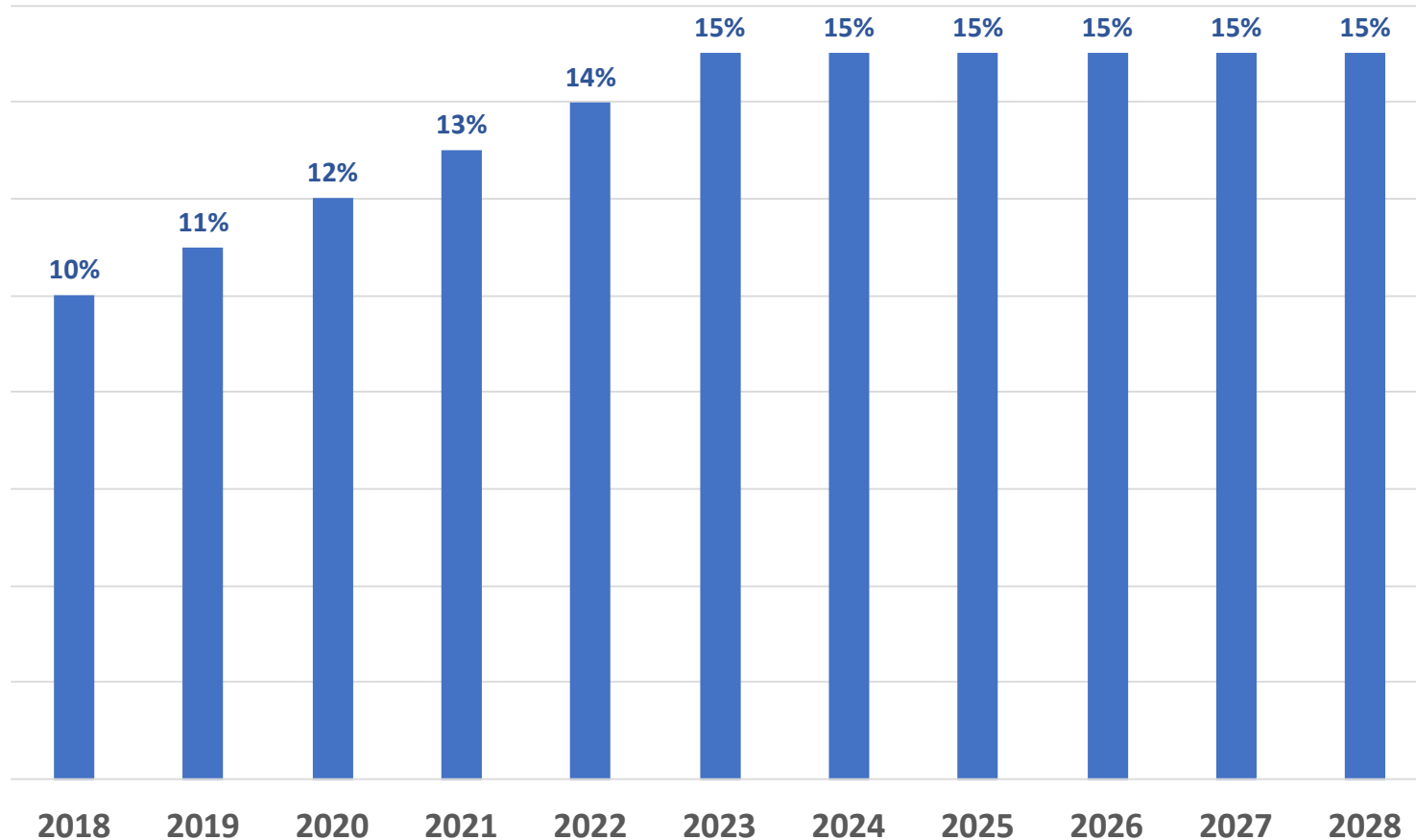


Paridade de preços:

Etanol alcança em 2028 patamar médio de paridade do período de expansão (2007-2009).

Premissas Consideradas

Percentual de Mistura de Biodiesel



Percentual de Misturas Obrigatórias:

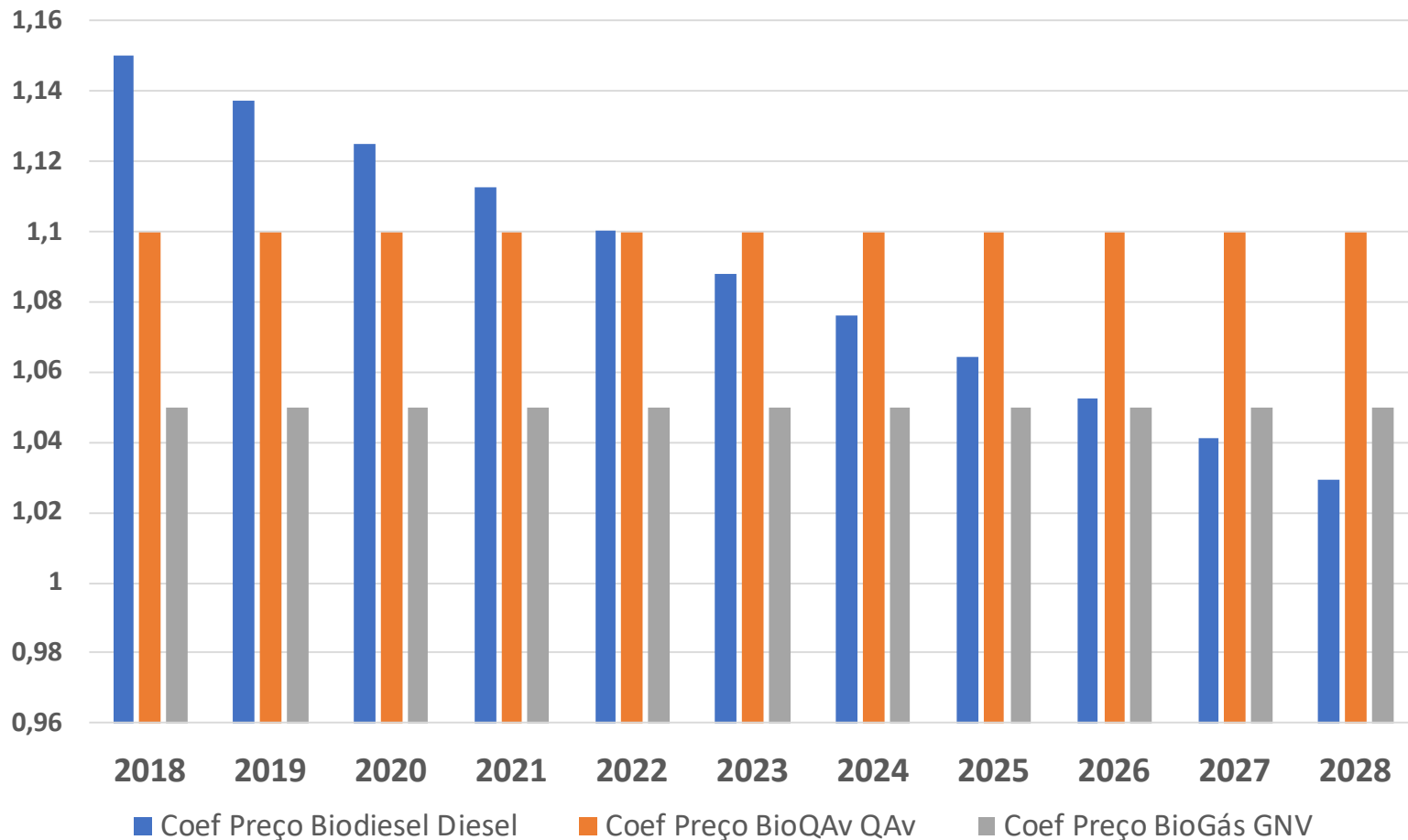
Biodiesel: Atual (B10) e gradual aumento até 2023 (B15)

BioQAv: 0%

BioGás: 0%

Premissas Consideradas

Paridade de Preços para Biodiesel, BioQAv e Biogás



Paridade de preços:

Biodiesel: Aumento gradativo de competitividade por ganho de eficiência.
(Base: Histórico de Leilões)

BioQAv e BioGás:
Não considera ganhos de eficiência.

Premissas Consideradas

Capacidade de Produção dos Combustíveis: modelo considera o histórico de produção dos derivados de petróleo e biocombustíveis, bem como a perspectiva de investimentos que estão em andamento.

Gasolina = 30,08 MM m³ (Produção nacional verificada em 2014)

Diesel = 53,5 MM m³ (Considera novos investimentos em refino previstos)

Etanol Anidro = 13,5 MM m³ (Produção de 20 litros por tonelada moída)

Premissas Consideradas

Combustível	Intensidade de carbono (CO ₂ eq/MJ)
Etanol Anidro	
Etanol 1G	20,51
Etanol 2G Stand Alone	4,41
Etanol 1G2G	18,63
Etanol de Milho Flex	22,55
Etanol de Milho Stand Alone	26,13
Etanol de Milho Importado	40,35
Etanol Hidratado	
Etanol 1G	20,79
Etanol 2G Stand Alone	4,70
Etanol 1G2G	18,91
Etanol de Milho Flex	22,83
Etanol de Milho Stand Alone	26,47
Etanol de Milho Importado	-
Biodiesel	
Biodiesel soja	26,70
Biodiesel sebo	3,80
Biometano (96,5% metano)	
Biometano de Biogás de Aterro Sanitário	7,44
Biometano de Torta de Filtro	4,84
Biometano de Vinhaça	4,01
Biometano de Dejetos Suínos	3,95
Biometano de Dejetos Bovinos	3,96
BioQAV HEFA	34,65

Eficiência Ambiental dos Combustíveis [gCO₂eq/MJ]:

- Valores médios obtidos pela **RenovaCalc^{MD}** para os biocombustíveis; e
- Valores de referência da literatura para os derivados de petróleo.

Combustível Fóssil Equivalente	Intensidade de Carbono do CFE [g CO ₂ eq./MJ]	Referência
Gasolina	87,4	Cavalett et al., 2016
Diesel	86,5	GP2 - USP, 2012
Média entre Gasolina, Diesel e GNV	86,8	GHG Protocol, 2012
Querosene de aviação	87,5	Jong et al., 2017

Premissas Consideradas

Ganho de Eficiência Ambiental:

- 2% a.a. para todos os combustíveis.

Premissas Consideradas

Margem de Refino sobre os Combustíveis Fósseis:

Valores médios do custo de produção/refino dos derivados de petróleo em função do preço do petróleo:

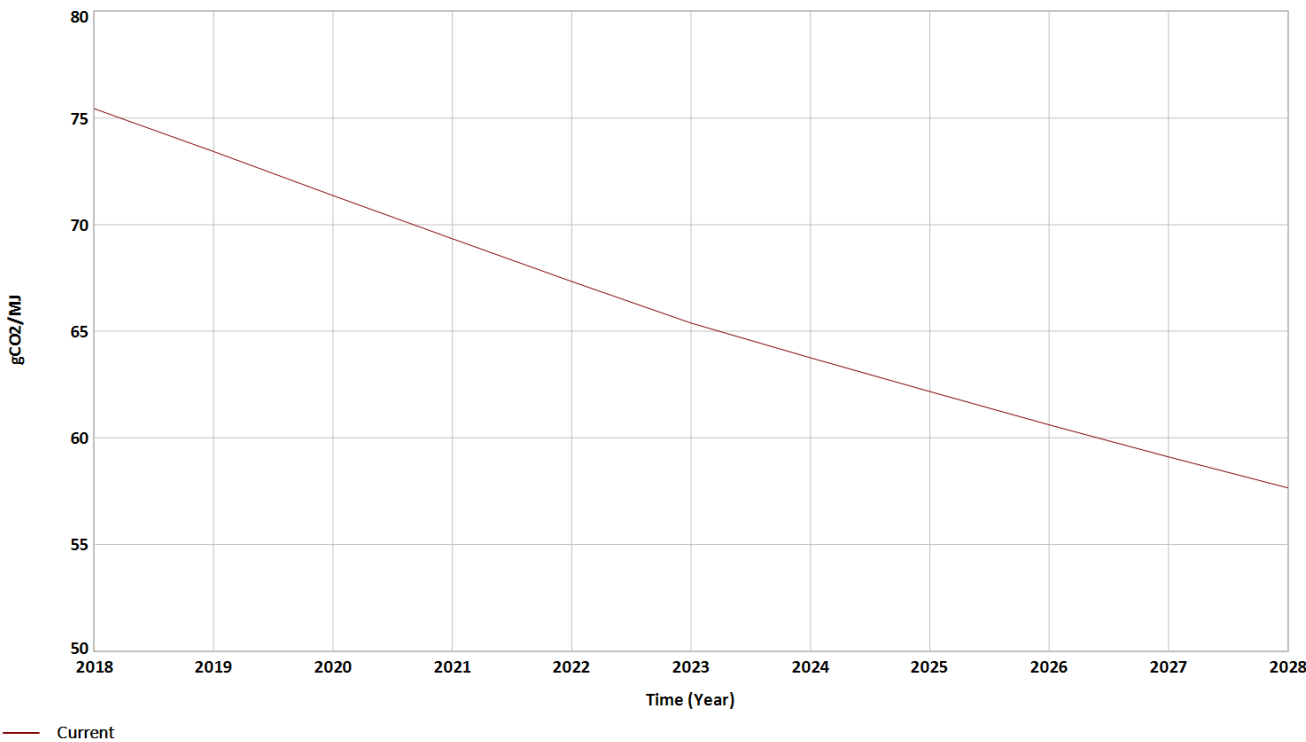
- Diesel: +8%
- Gasolina: +10%
- Qav: +10%
- GNV: -20%

Saídas do Modelo

- **Intensidade de Carbono da Matriz de Combustíveis**
(Emissões por unidade de energia) [gCO₂eq/MJ]
- **Emissões Totais da Matriz de Combustíveis** [ton CO₂eq]
- **Demanda por combustível** [m³]
- **Importação de combustível** [m³]
- Oferta de CBIO
- Volume de CBIO por biocombustível
- **Preço da Cesta de Combustíveis**
- Participação relativa dos Combustíveis

Saídas do Modelo

IC Matriz de Combustíveis



Redução Percentual da IC

