

MODELAGEM DE CUSTOS DE ABATIMENTO E DE CURVAS DE APRENDIZAGEM TECNOLÓGICA

TRANSPORTES

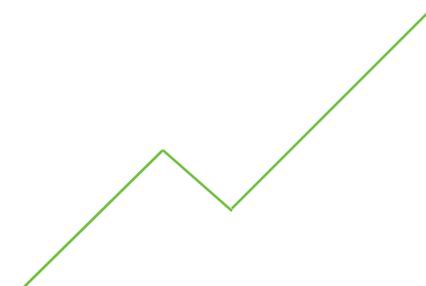
Bruno Soares Moreira Cesar Borba

Outubro de 2015



Esse material objetiva a capacitação acerca das metodologias empregadas no projeto “Opções de mitigação de emissões de GEE em setores-chave do Brasil”. Portanto, seu conteúdo não expressa resultados do projeto.

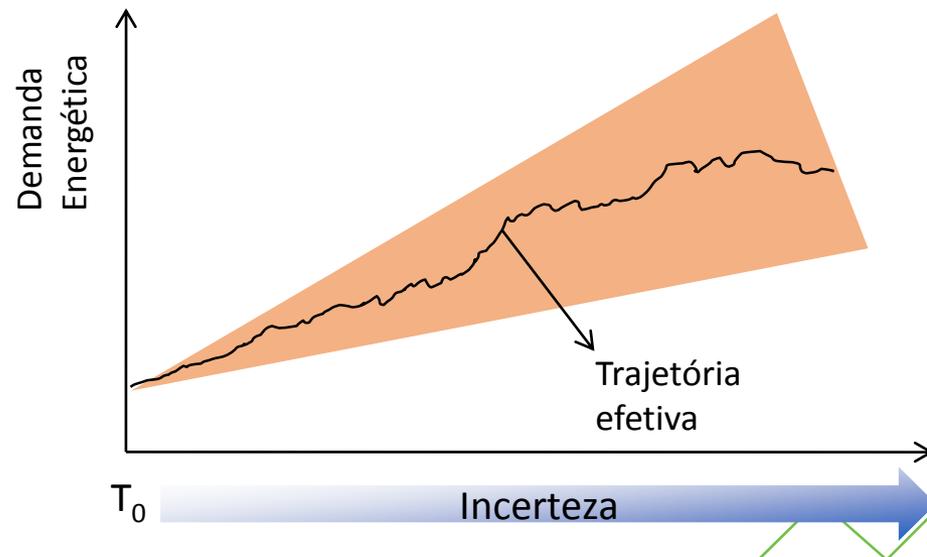
Índice

- Cenários de consumo de energia e emissões de GEE para o setor transportes
 - Tipos de cenários
 - Variáveis-chave e premissas
 - Exemplos
 - Custo marginal de abatimento
 - Metodologia
 - Exemplos
 - Exemplos de cenários de longo prazo com CMA
 - Tecnologias inovadoras
 - Fontes de informação
- 

Cenários para o Setor Transportes

- Técnicas de Cenários

- Diferente de projeções / previsões
- Descrições de diferentes caminhos futuros
- Reduz incertezas ao cobrir leque de possibilidades
- Análise de cenários de longo prazo: “*what if?*”
- Ajuste do ano-base



Cenários para o Setor Transportes

- Tipos de Cenários
 - Cenários tendenciais
 - Manutenção das forças motrizes e tendências históricas
 - Cenários exploratórios (ou alternativos)
 - Caminhos diferentes assumindo quebras de tendência
 - Cenários normativos
 - Configuração de futuros desejáveis, buscando uma trajetória para alcançá-los
- Elementos de cenários energéticos
 - Evolução socioeconômica
 - Evolução tecnológica
 - Questões ambientais

Cenários para o Setor Transportes

- Tipos de Cenários
 - Cenário Referência
 - Características de base de mercado
 - Sem maiores mudanças qualitativas no setor
 - Mantém o ritmo natural de incorporação de tecnologia e evolução de cotas de mercado dos combustíveis
 - Manutenção de tendências setoriais já em curso, não havendo maiores alterações estruturais no horizonte de análise
 - Cenário Linha de Base
 - Representa, de forma razoável, as emissões e consumo do setor na ausência das atividades dos projetos em análise

Cenários para o Setor Transportes

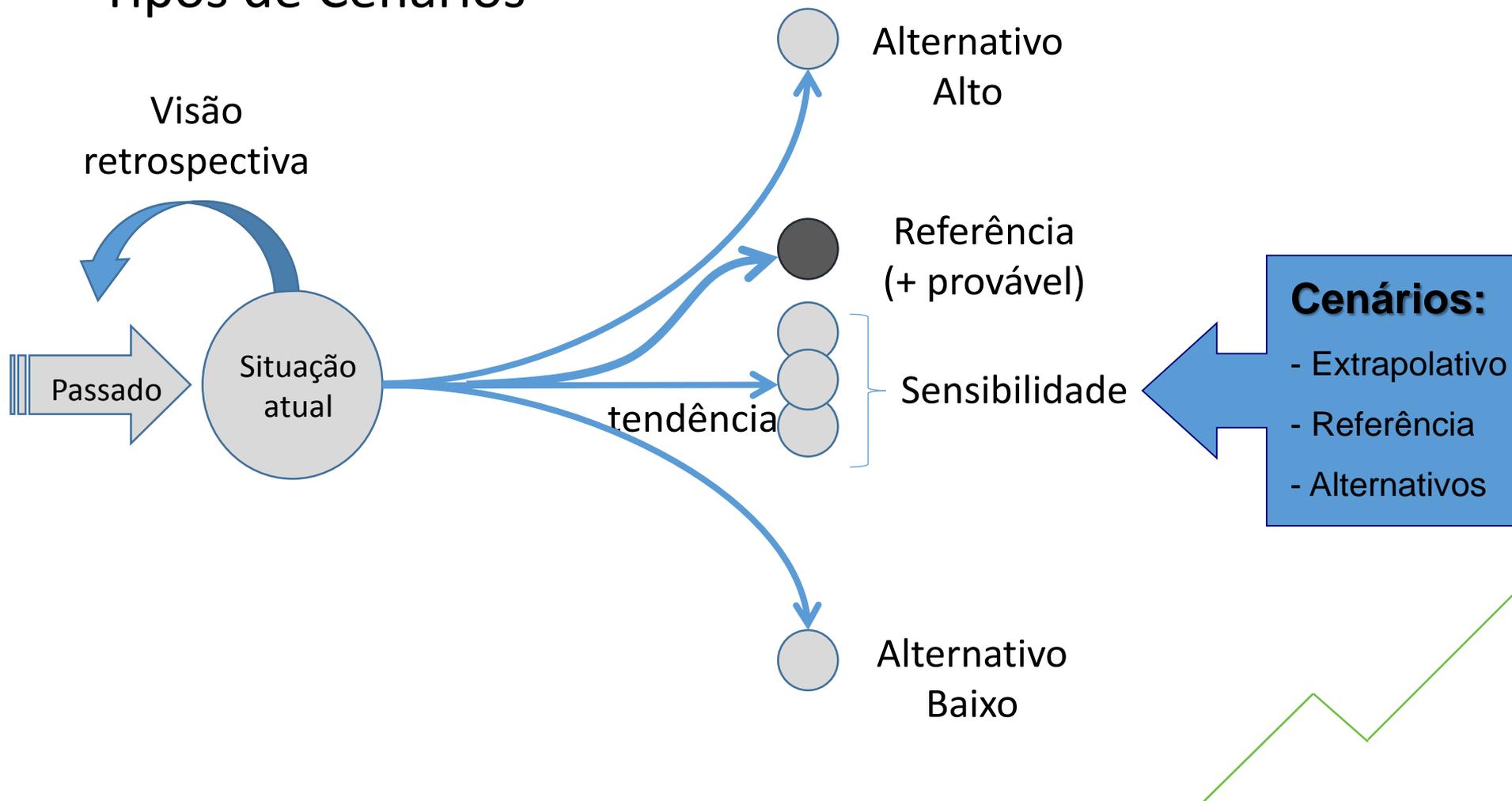
- Tipos de Cenários
 - Cenário de Baixo Carbono
 - Incorporação de programas, políticas públicas, ações e estratégias que podem ser desenvolvidas com o objetivo de reduzir as emissões e o consumo no setor
 - Mudanças estruturais que aceleram o ritmo de incorporação de tecnologias ambientalmente menos danosas
 - Foco em 3 pontos principais:
 - Eficientização dos veículos
 - Substituição modal
 - Combustíveis alternativos

Cenários para o Setor Transportes

- Tipos de Cenários
 - Cenário de Baixo Carbono com Inovação
 - Incorporação de programas, políticas públicas, ações e estratégias que podem ser desenvolvidas com o objetivo de reduzir as emissões e o consumo no setor
 - Mudanças estruturais que aceleram o ritmo de incorporação de tecnologias ambientalmente menos danosas
 - Foco em 3 pontos principais:
 - Eficientização dos veículos
 - Substituição modal
 - Combustíveis alternativos
 - Considera medidas tecnicamente disponíveis (ou em desenvolvimento) com barreira econômica para implementação

Cenários para o Setor Transportes

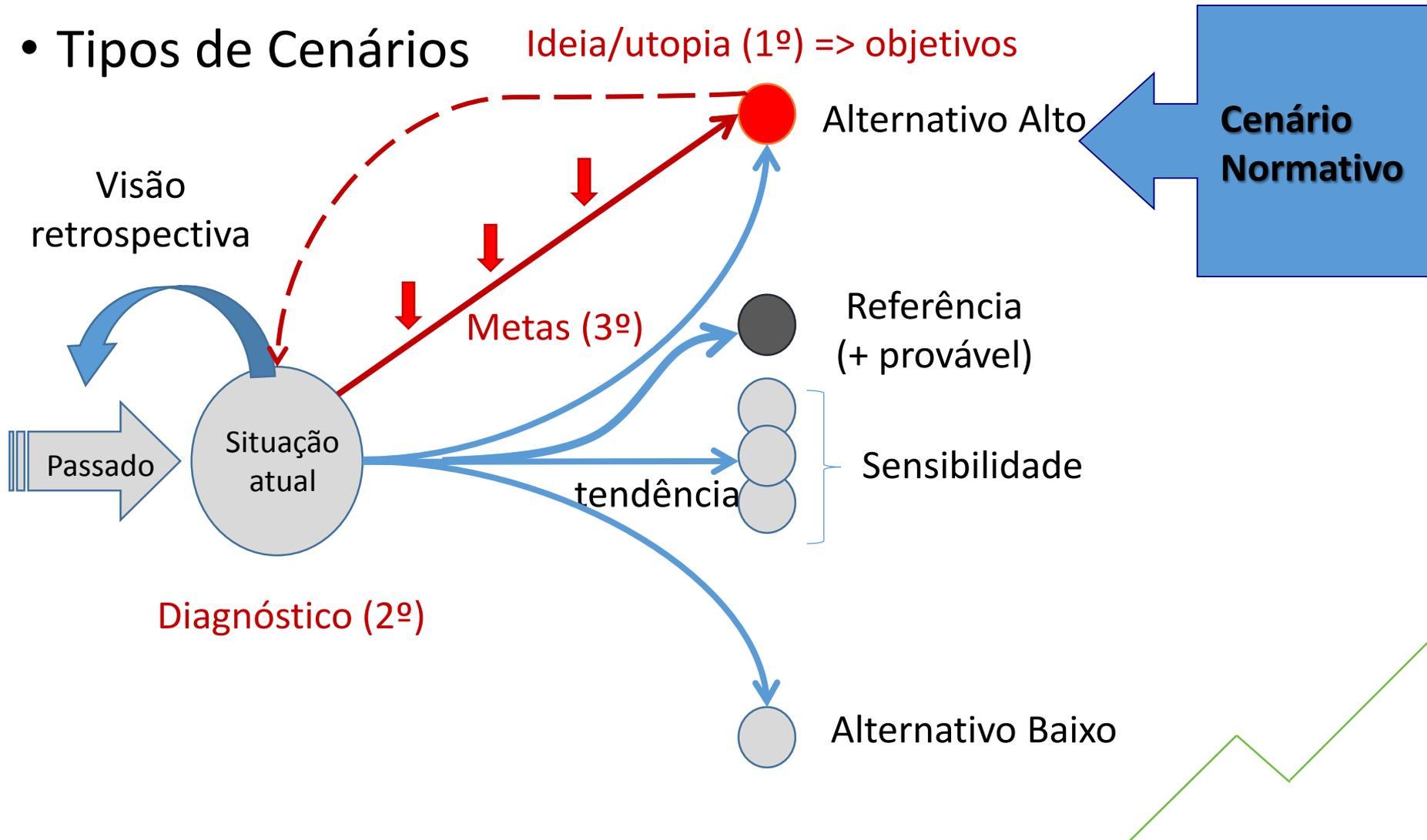
- Tipos de Cenários



Cenários para o Setor Transportes

- Tipos de Cenários

Ideia/utopia (1º) => objetivos



Cenários para o Setor Transportes

- Modal Rodoviário
 - Consumo energético

$$C_{i,j} = F_{i,j} \cdot D_{i,j} \cdot CS_{i,j}$$

- Atividade do modal

$$A_{i,j} = F_{i,j} \cdot D_{i,j} \cdot O_{i,j}$$

- C – Consumo total da frota de veículos por tipo de combustível j no ano i
- F – Frota de veículos por tipo de combustível j no ano i
- D – Distância média percorrida pelos veículos por tipo de combustível j no ano i
- CS – Consumo específico médio da frota em litros/km no ano i
- A – Efeito atividade no ano i (passageiro-quilômetro ou tonelada-quilômetro)
- O – Fator de ocupação (passageiro por veículo ou tonelada por veículo)
- j – Tipos de combustíveis

Cenários para o Setor Transportes

- Modal Rodoviário
 - Frota veicular

$$F_t = \sum_{x=1957}^t Z(x) \cdot [1 - Y(x)]$$

- F – Frota de veículos por tipo de combustível j no ano i
- Z(x) – Venda acumulada dos veículos, desde o ano de 1957 (primeiro ano de registro de venda de veículos no Brasil) até o ano t
- Y(x) – Percentual de veículos vendidos no ano x que foram sucateados no ano t

Cenários para o Setor Transportes

- Modal Rodoviário
 - Vendas de veículos

$$\ln(vendas) = \alpha + \beta \ln(PIB) + erro_t$$

- α – Intercepto da regra de regressão
- β – Coeficiente linear. Representa a elasticidade das vendas em relação ao PIB (elasticidade renda da demanda)

Cenários para o Setor Transportes

- Outros Modais
 - Transporte de passageiros
 - Consumo energético

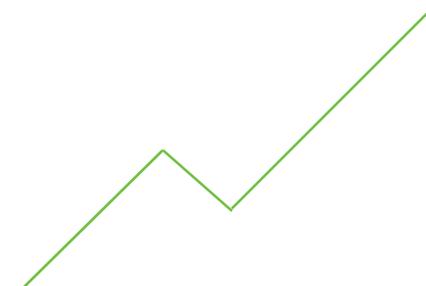
$$C_t = PKm_t \cdot I_t$$

- C_t – Consumo de energia no modal analisado de passageiros em t
- I_t – Intensidade energética (litros/PKm)
- PKm_t – Número de passageiros-quilômetro transportado no tempo t

Cenários para o Setor Transportes

- Outros Modais
 - Transporte de carga
 - Consumo energético

$$C_t = TKU_t \cdot I_t$$

- C_t – Consumo de energia no modal analisado de carga em t
 - I_t – Intensidade energética (litros/TKU)
 - TKU_t – Número de tonelada-quilômetro transportado no tempo t
- 

Cenários para o Setor Transportes

- Outros Modais
 - Transporte de carga
 - Consumo energético

$$C_{i,j} = IE_{i,j} \cdot TKU_{i,j}$$

$$TKU_{i,j} = TKUTotal_i \cdot \%TKU_{j,i}$$

$$TKUTotal_i = TKUTotal_0 \cdot X^i$$

$$C_{i,j} = (C_{0,j} \cdot X_i \cdot \%TKU_{i,j}) / \%TKU_{0,j}$$

- C – Consumo energético total de cada modal no ano i medido em tep
- IE – Intensidade energética de cada modal no ano i
- TKU – Produção total de cada modal no ano i
- TKUTotal – Produção total do setor de transportes no ano i
- %TKU – Participação do modal j na produção total do setor no ano i
- X – Crescimento médio anual do PIB
- 0 – Ano base de simulação
- j – Tipos de modais

Cenários para o Setor Transportes

- Emissões de CO₂

$$ER_i^{CO_2} = \left[\left(CA_i \cdot FC_i \cdot 41,87 \cdot 10^{-3} \cdot FE_i \right) - QCF_i \right] \cdot 0,99 \cdot 44 / 12$$

- “ER_i^{CO₂}” é a quantidade de emissões reais de dióxido de carbono do combustível i em GgCO₂
- “CA” é o consumo aparente do combustível i em ktEP
- “FC” é o fator de conversão do combustível i de ktEP para TJ
- “41,87 x 10⁻³ TJ” representa 1 tEP brasileiro
- “FE” é o fator de emissão de carbono do combustível i em tC/TJ
- “QCF_i” é a quantidade de carbono fixado do combustível i em GgC
- “0,99” representa a parcela de carbono oxidada
- “44/12” é o conteúdo de carbono: em cada 44t de CO₂ há 12t de carbono

Cenários para o Setor Transportes

- Emissões de CH₄ e N₂O

$$E_i^{GEE} = CC_{ij} \cdot FE_{ij}$$

- “E_i^{GEE}” é a emissão (em kg) de CH₄ ou N₂O pelo tipo de veículo i
- “CC_{ij}” é o consumo de combustível j (em TJ) pelo tipo de veículo i
- “FE_{ij}” é o fator de emissão do tipo de veículo i ao utilizar o combustível j (em kg/TJ)

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave
 - Transporte de passageiros
 - Modal Rodoviário
 - Venda de veículos por tipo de combustível (leves e ônibus)
 - Curva de sucateamento dos veículos (leves e ônibus)
 - Uso dos etanol e gasolina pelos veículos leves flexíveis
 - Percentual de mistura de etanol na gasolina
 - Rendimento médio dos veículos por tipo de combustível
 - Distância média percorrida pelos veículos
 - Passageiro Quilômetro (PKM) transportado por ônibus
 - Quilometragem percorrida pela frota de ônibus
 - Fator de ocupação médio dos ônibus e veículos leves

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave

- Transporte de passageiros

- Modal Rodoviário – Frota de veículos

x 10³ veículos

<i>Automóveis Cars</i>	<i>Comerciais leves Light commercials</i>	<i>Caminhões Trucks</i>	<i>Ônibus Buses</i>	<i>Total Total</i>
32.715	6.287	2.100	640	41.743

Fonte: ANFAVEA, 2015

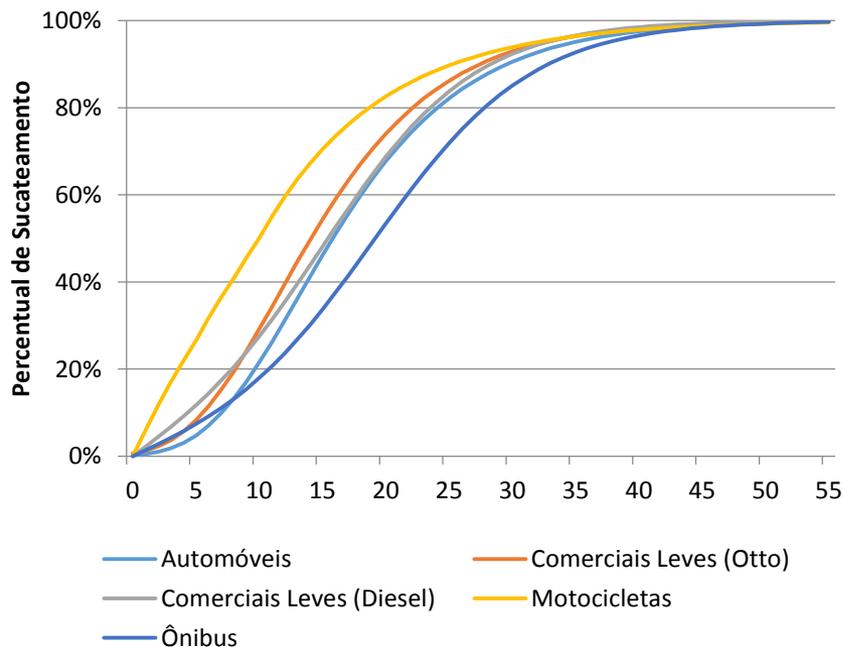
TOTAL	AUTOMÓVEL	CAMINHÃO	CAMINHONETE	CAMIONETA	MICROÔNIBUS	ÔNIBUS	UTILITÁRIO
61.013.844	47.946.665	2.588.984	6.245.837	2.732.871	361.501	574.125	563.861

Fonte: DENATRAN, 2015

- Diferença: 19.270.844 veículos
 - Anfavea 32% inferior
 - Denatran 46% superior
- Frota Denatran não é dividida por tipo de combustível
- Frota Anfavea não é regionalizada (de fato a Anfavea regionaliza a frota usando a mesma distribuição do Denatran que inclui todos os veículos)

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave
 - Transporte de passageiros
 - Modal Rodoviário – Curva de sucateamento

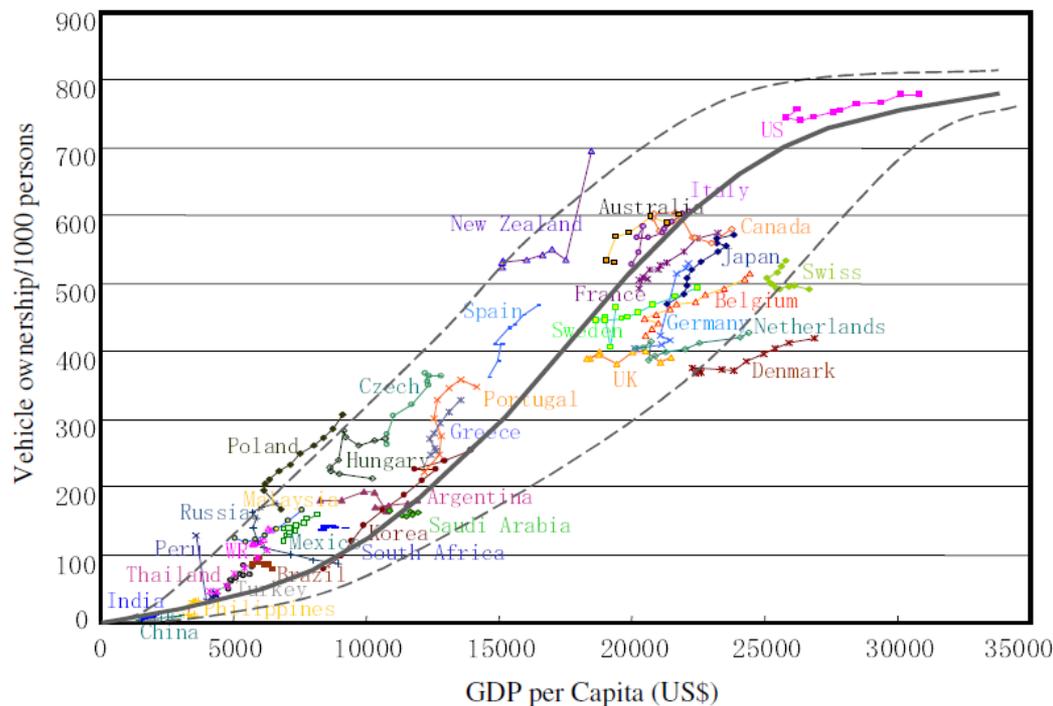


Categoria	Função de Sucateamento $S(t)$ - fração de veículos remanescentes na idade t	Parâmetros
Automóvel	$S(t) = 1 - \exp(-\exp(a + b \cdot t))$	$a = 1,798$
		$b = -0,137$
Comerciais Leves (Otto)	$S(t) = \frac{1}{1 + \exp(a(t - t_0))} + \frac{1}{1 + \exp(a(t + t_0))}$	$a = 1,618$
		$b = -0,141$
Ônibus		$t_0 = 19,1$
Comerciais Leves (Diesel)		$t_0 = 15,3$

Fonte: MMA, 2014

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave
 - Transporte de passageiros
 - Modal Rodoviário – Frota de veículos



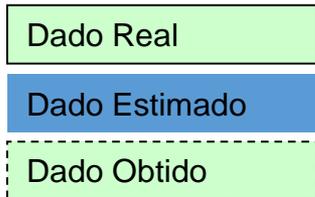
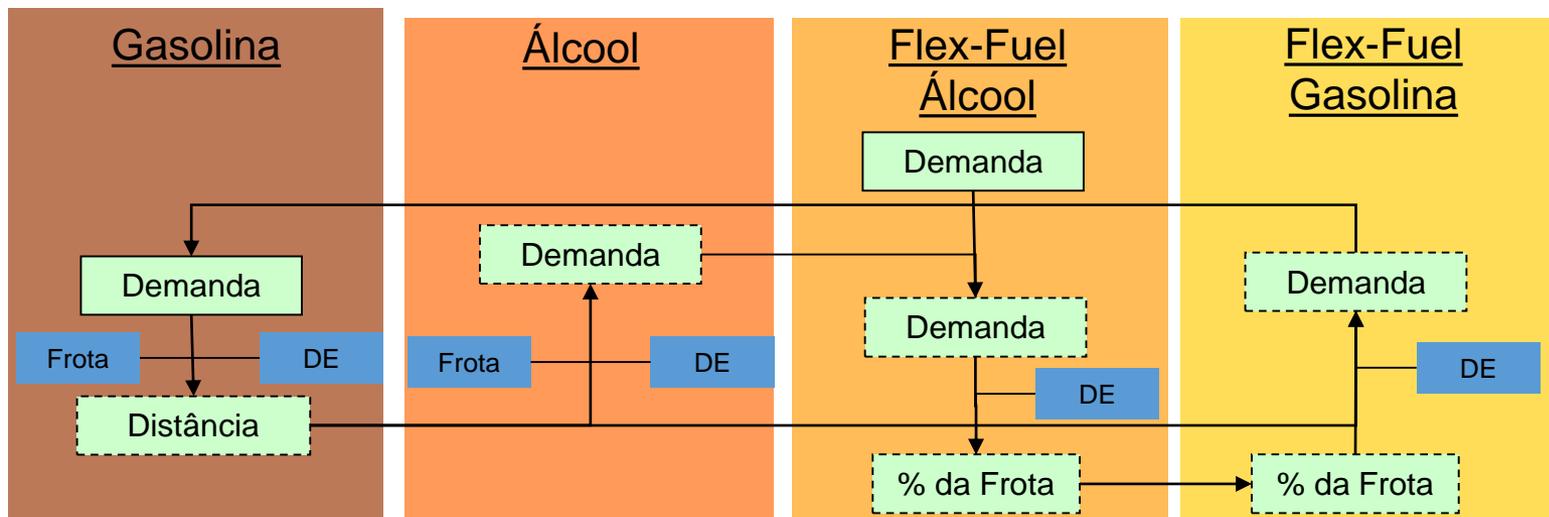
Fonte: IPCC, 2007

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave

- Transporte de passageiros

- Modal Rodoviário – Uso de etanol nos veículos flexíveis



DE – Desempenho energético (km/l) médio anual da frota

Distância – Quilometragem média anual percorrida pela frota

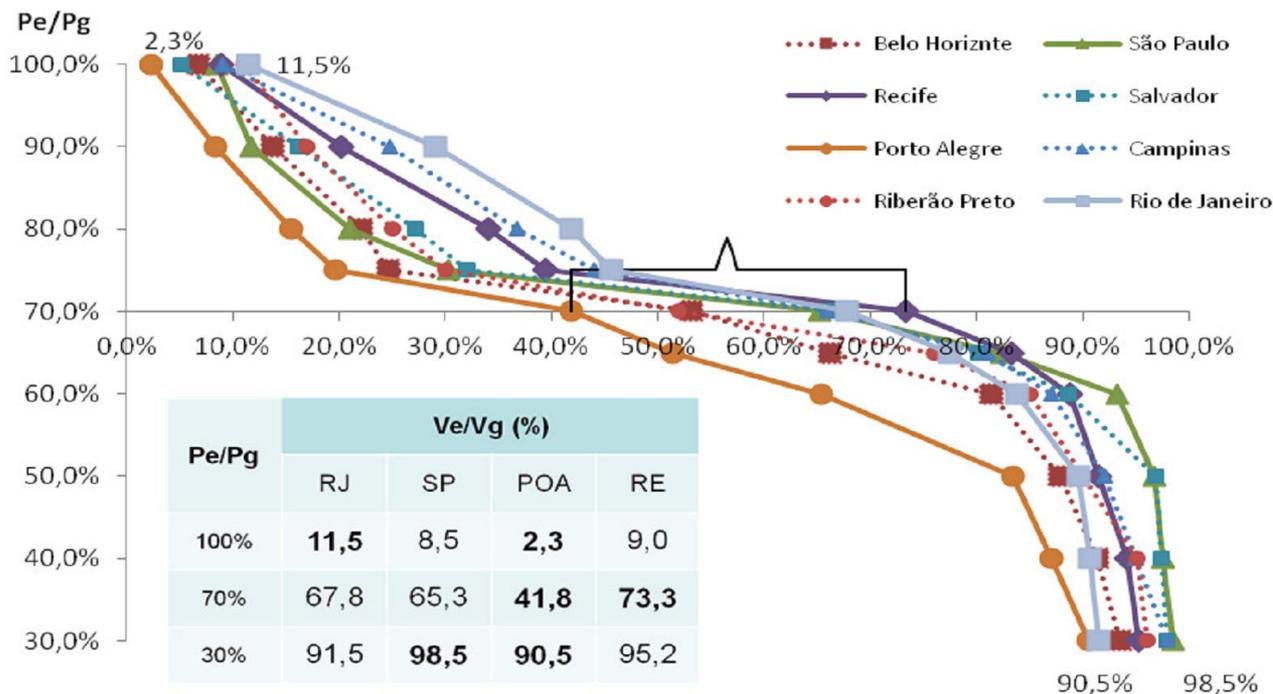
% Frota – Distribuição da frota de veículos Flex-Fuel utilizando álcool e gasolina

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave

- Transporte de passageiros

- Modal Rodoviário – Uso de etanol nos veículos flexíveis



Pe – Preço etanol
Pg – Preço gasolina
Ve – Volume etanol consumido
Vg – Volume gasolina consumido

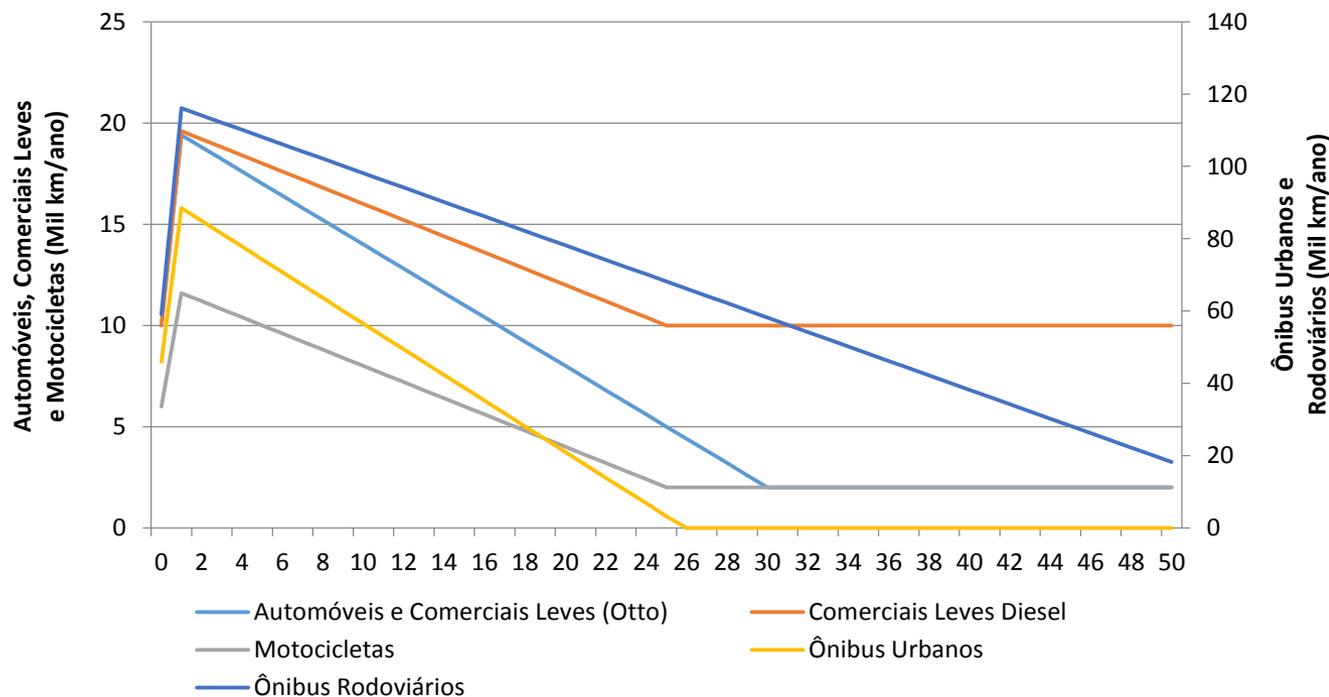
Fonte: EPE, 2013

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave

- Transporte de passageiros

- Modal Rodoviário – Distância média percorrida



Fonte: MMA, 2014

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave
 - Transporte de passageiros
 - Modal Ferroviário
 - Passageiro Quilômetro (PKM) transportado por trem e metrô
 - Consumo específico por modal (tep/pkm)
 - Modal Aéreo
 - Passageiro Quilômetro (PKM) transportado
 - taxa de ocupação das aeronaves
 - Ganhos de eficiência operacional e tecnológica
 - Modal Aquaviário
 - Passageiro Quilômetro (PKM) transportado
 - Consumo específico (tep/pkm)

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave
 - Transporte de carga
 - Modal Rodoviário
 - Venda de caminhões
 - Curva de sucateamento dos caminhões
 - Rendimento médio dos caminhões
 - Distância média percorrida pelos caminhões
 - Fator de ocupação médio dos caminhões
 - Tonelada Útil (TU) de carga transportada
 - Tonelada Quilômetro Útil (TKU) transportada
 - Consumo específico de energia (tep/tku)

Cenários para o Setor Transportes

- Variáveis-Chave

- Transporte de carga

- Modal Ferroviário

- Tonelada Quilômetro Útil (TKU) transportada
 - Consumo específico de energia (tep/tku)

- Modal Aéreo

- Tonelada Quilômetro Útil (TKU) transportada
 - Consumo específico de energia (tep/tku)

- Modal Aquaviário

- Tonelada Útil (TU) de carga transportada Tonelada Quilômetro Útil (TKU) transportada por cabotagem e navegação de interior
 - Consumo específico de energia (tep/tku)

Exemplos de Cenários

- Cenário tendencial
 - Veículos Leves
 - Frota
 - Contraposição do crescimento das vendas de veículos novos e de sucateamento de veículos existentes. As vendas foram atreladas ao crescimento econômico do país
 - Distância média anual percorrida pela frota
 - Mantida constante
 - Desempenho energético
 - Mantido constante



Exemplos de Cenários

- Cenário tendencial
 - Motocicletas
 - Frota
 - Assumiu-se que a relação moto por habitante crescerá 1% ao ano em cada região
 - Distância média anual percorrida pela frota
 - Mantida constante
 - Desempenho energético
 - Mantido constante



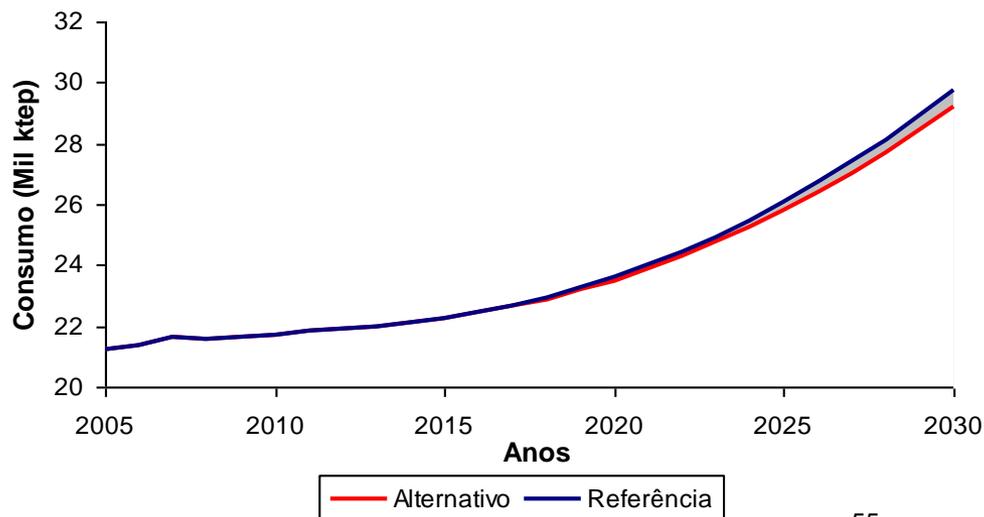
Exemplos de Cenários

- A redução do consumo energético do setor pode decorrer de:
 - Segurança energética
 - Mudanças climáticas globais
- Opções disponíveis:
 - Eficiência energética
 - Combustíveis alternativos
 - Substituição modal
- Eficiência energética: mais barato (em termos de tCO₂ evitada)
- Possivelmente o setor elétrico terá um papel importante nesta mudança
 - Melhor uso do motor de combustão interna (veículo híbrido em série, por exemplo)
 - Maiores oportunidades para a mudança de combustível (a partir da eletricidade)

Exemplos de Cenários

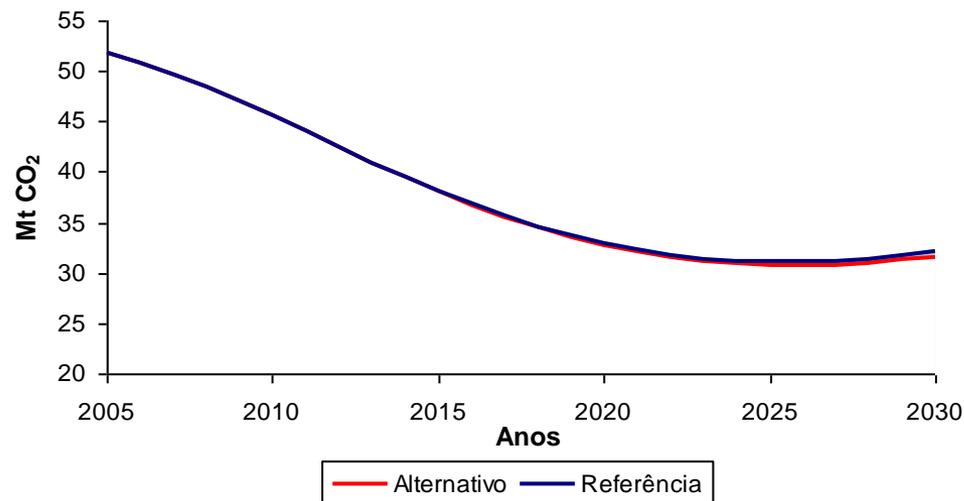
- Cenário A – Entrada de Veículos Híbridos
 - Veículos Leves
 - Frota
 - Contraposição do crescimento das vendas de veículos novos e de sucateamento de veículos existentes. As vendas foram atreladas ao crescimento econômico do país
 - Distância média anual percorrida pela frota
 - Mantida constante
 - Desempenho energético
 - X% das vendas de veículos novos serão híbridos a partir de 2015 (desempenho: 20 km/l)

Cenário A (x = 5%)

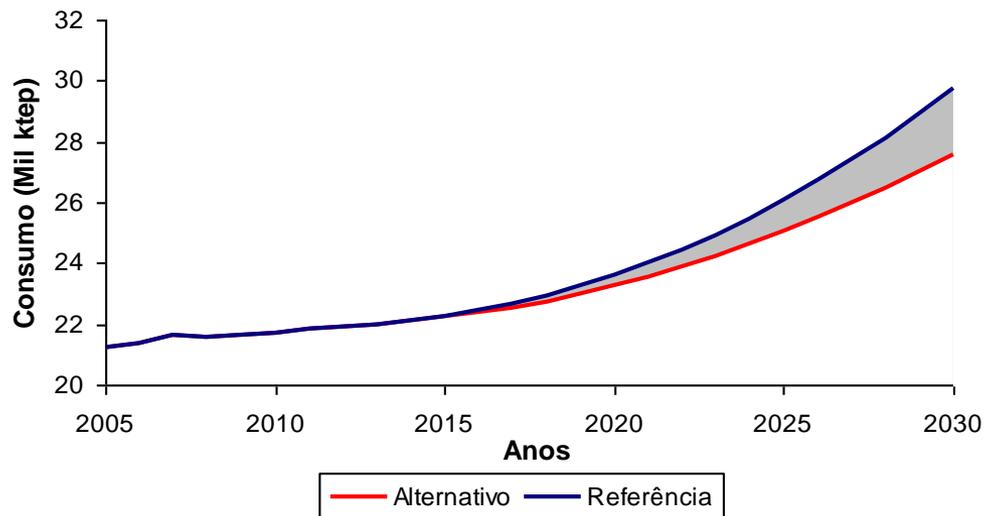


- Consumo final energético tendencial do segmento de veículos leves em 2030: 29,8 mil ktep
- Redução do consumo estimada do cenário: 2,0% (580 ktep)

- Estimativa das emissões de CO₂ do segmento em 2030: 32 MtCO₂
- Redução das emissões no cenário: 1,8% (0,5 MtCO₂)

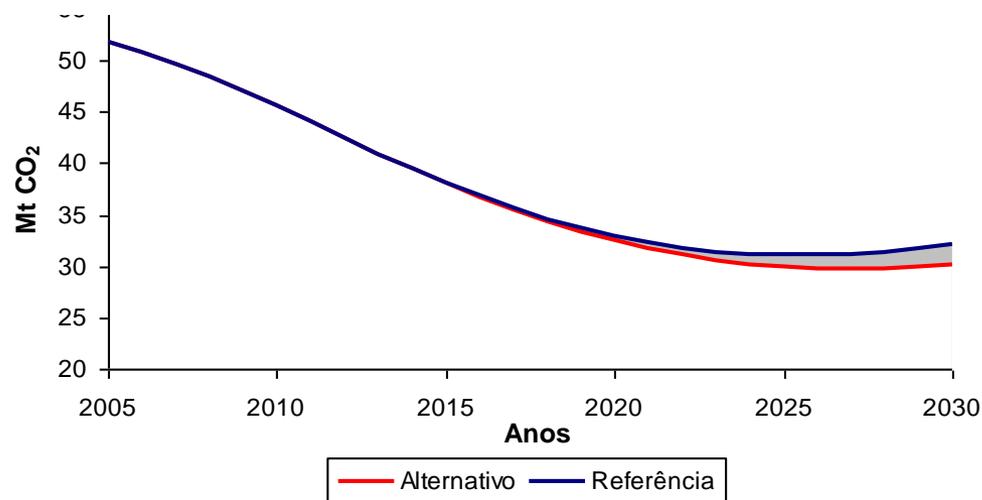


Cenário A (x = 20%)

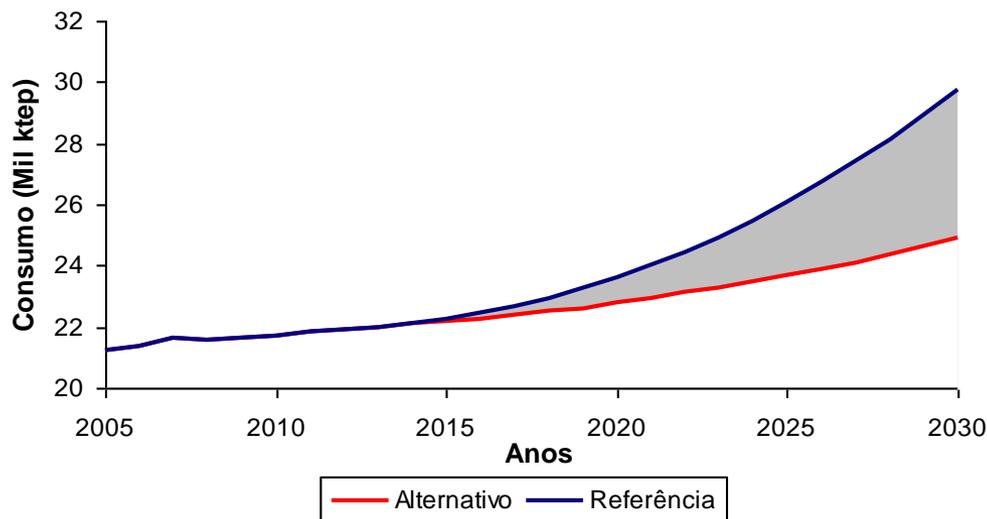


- Consumo final energético tendencial do segmento de veículos leves em 2030: 29,8 mil ktep
- Redução do consumo estimada do cenário: 7,3% (2,2 mil ktep)

- Estimativa das emissões de CO₂ do segmento em 2030: 32 MtCO₂
- Redução das emissões no cenário: 6,5% (2 MtCO₂)

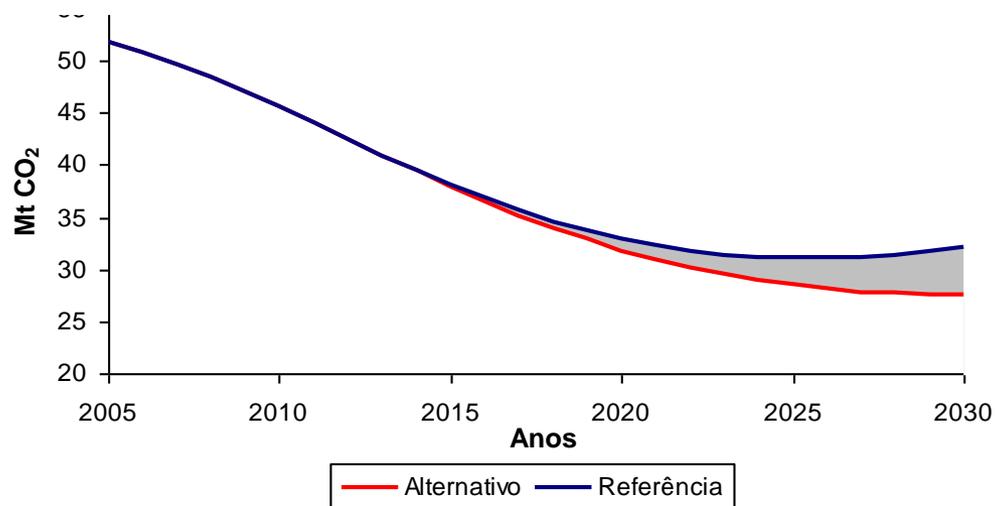


Cenário A (x = 50%)

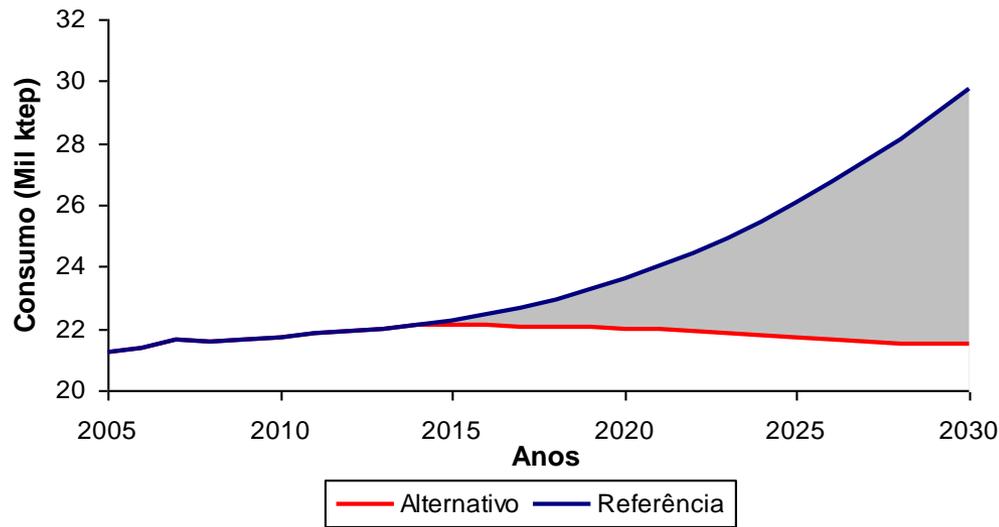


- Consumo final energético tendencial do segmento de veículos leves em 2030: 29,8 mil ktep
- Redução do consumo estimada do cenário: 16,4% (4,9 mil ktep)

- Estimativa das emissões de CO₂ do segmento em 2030: 32 MtCO₂
- Redução das emissões no cenário: 14,4% (4,6 MtCO₂)

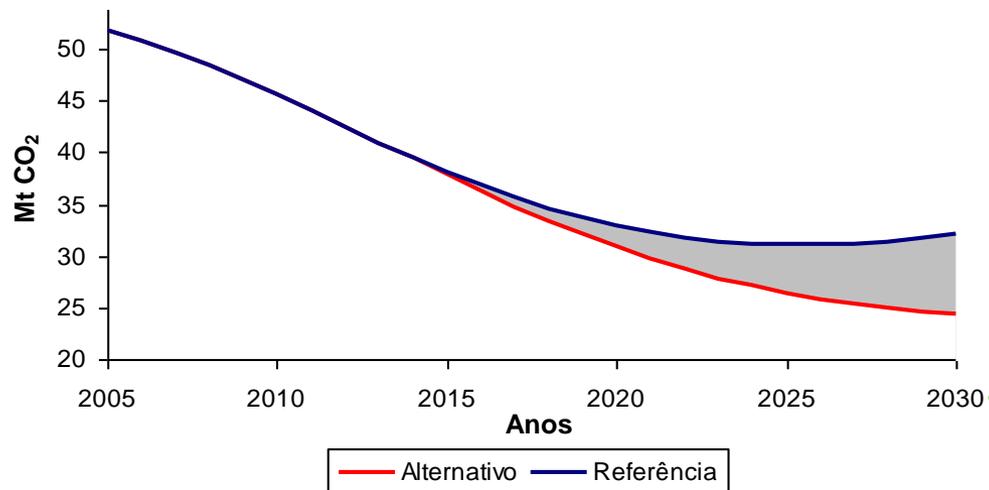


Cenário A (x = 100%)



- Consumo final energético tendencial do segmento de veículos leves em 2030: 29,8 mil ktep
- Redução do consumo estimada do cenário: 27,8% (8,3 mil ktep)

- Estimativa das emissões de CO₂ do segmento em 2030: 32 MtCO₂
- Redução das emissões no cenário: 24,5% (7,9 MtCO₂)



Exemplos de Cenários

- Cenário B – Transporte Público

- Veículos Leves

- Frota

- Contraposição do crescimento das vendas de veículos novos e de sucateamento de veículos existentes. As vendas foram atreladas ao crescimento econômico do país

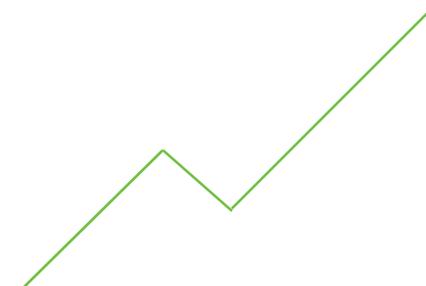
- Distância média anual percorrida pela frota

- **Redução de Y% da distância em decorrência do incentivo ao transporte público a partir de 2015**

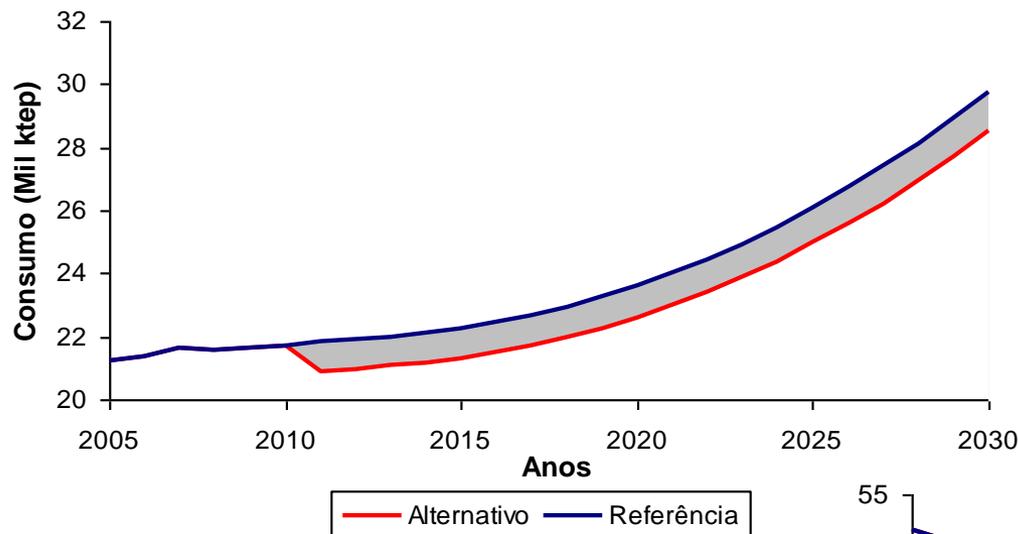
- Mantida constante

- Desempenho energético

- Mantida constante

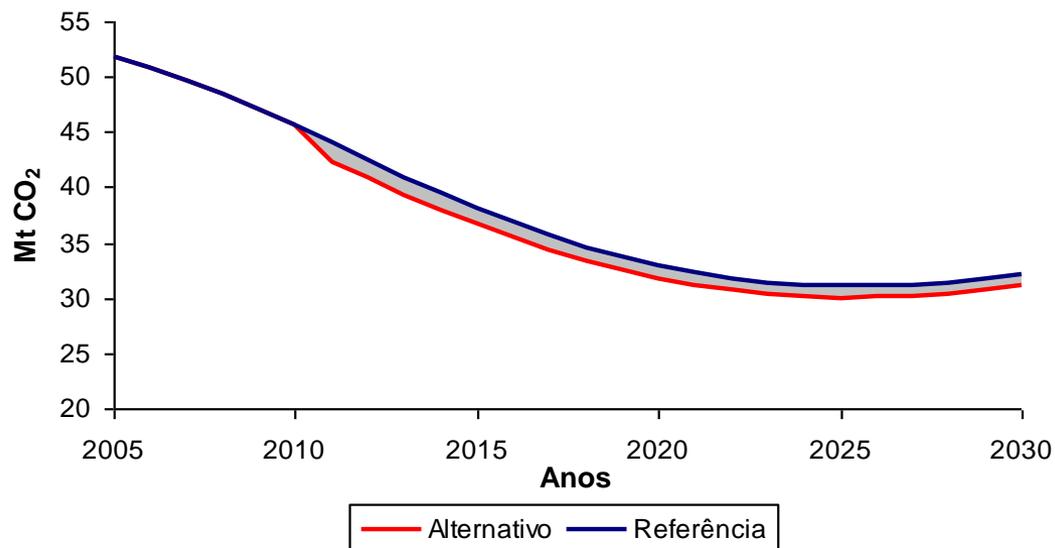


Cenário B ($\gamma = 5\%$)

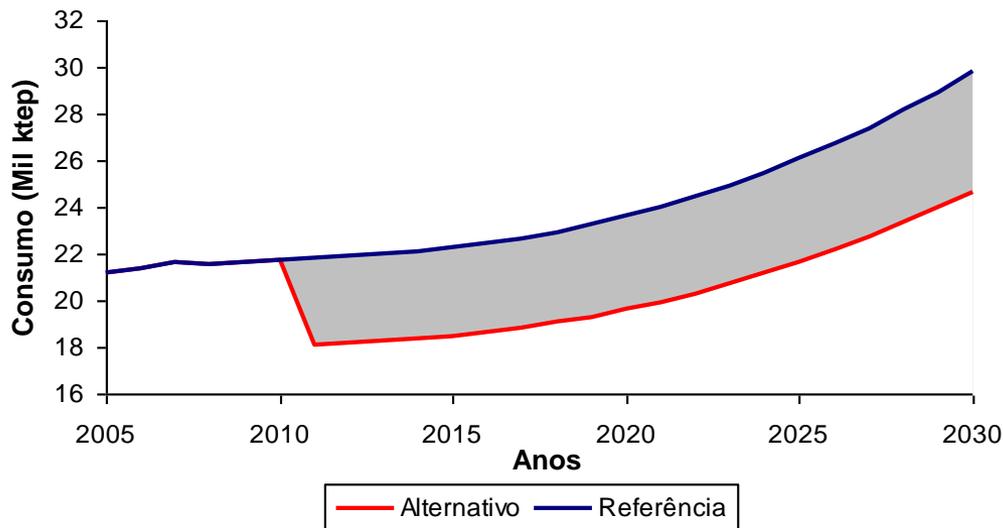


- Estimativa das emissões de CO₂ do segmento em 2030: 32 MtCO₂
- Redução das emissões no cenário: 3,2% (1,0 MtCO₂)

- Consumo final energético tendencial do segmento de veículos leves em 2030: 29,8 mil ktep
- Redução do consumo estimada do cenário: 4,3% (1,3 mil ktep)

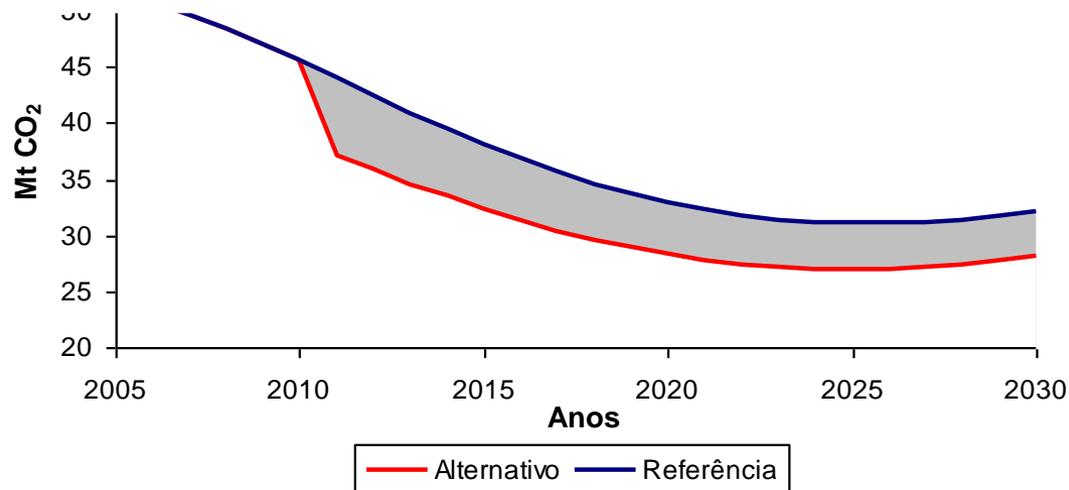


Cenário B ($\gamma = 20\%$)

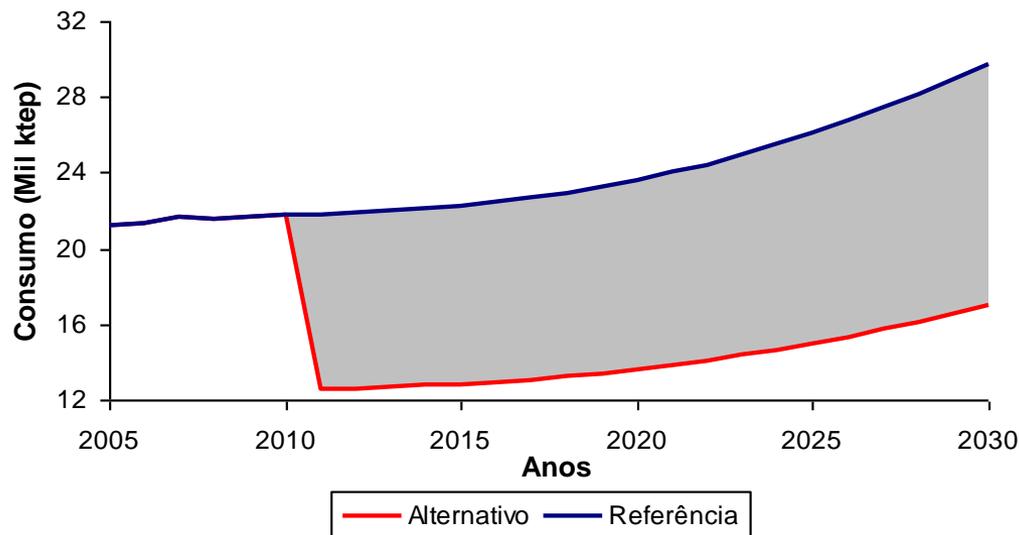


- Consumo final energético tendencial do segmento de veículos leves em 2030: 29,8 mil ktep
- Redução do consumo estimada do cenário: 17,2% (5,1 mil ktep)

- Estimativa das emissões de CO₂ do segmento em 2030: 32 MtCO₂
- Redução das emissões no cenário: 12,7% (4,1 MtCO₂)

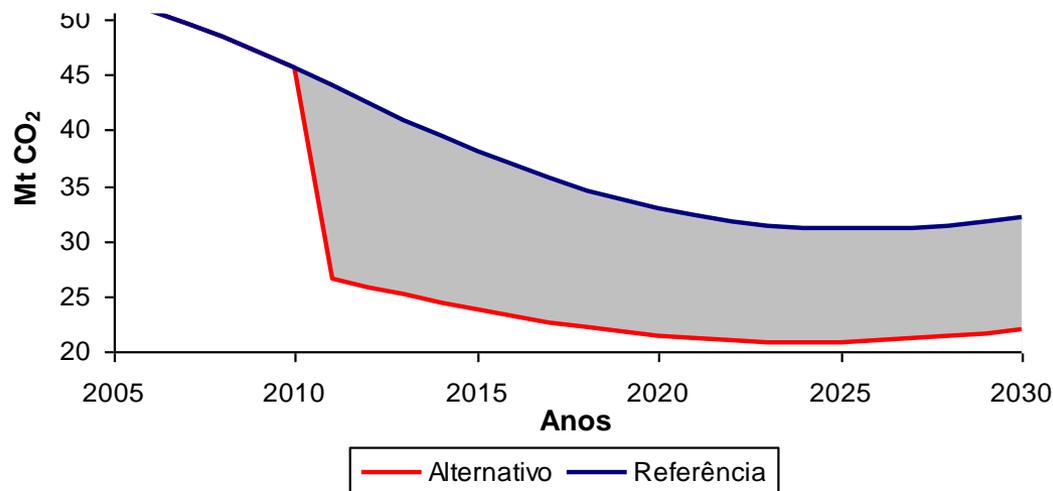


Cenário B ($\gamma = 50\%$)



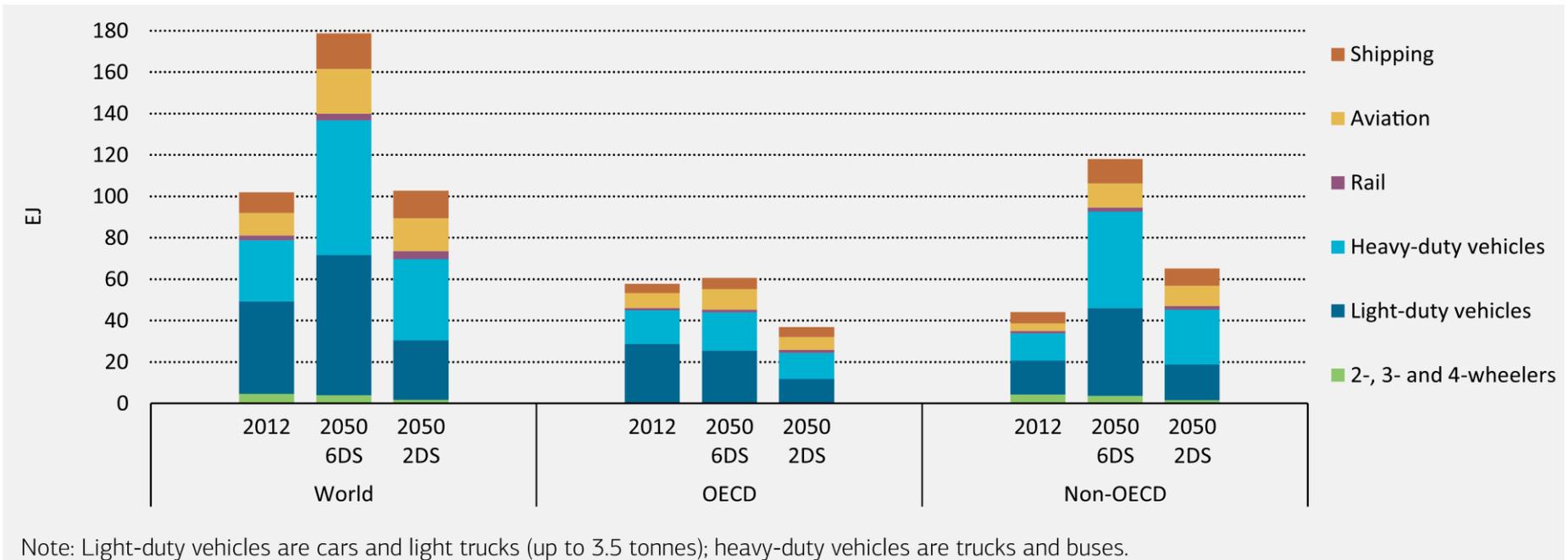
- Consumo final energético tendencial do segmento de veículos leves em 2030: 29,8 mil ktep
- Redução do consumo estimada do cenário: 42,9% (12,8 mil ktep)

- Estimativa das emissões de CO₂ do segmento em 2030: 32 MtCO₂
- Redução das emissões no cenário: 31,8% (10,2 MtCO₂)



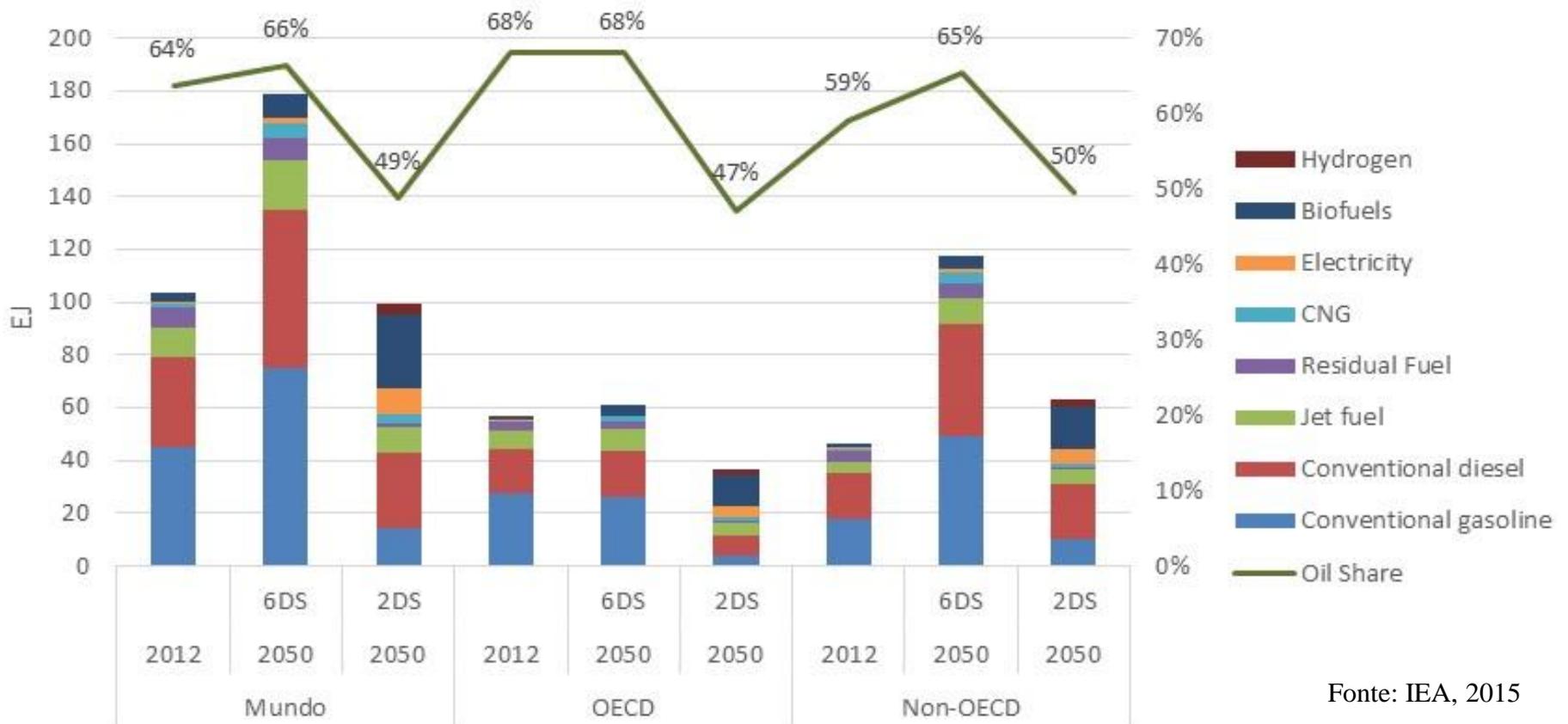
Cenário IEA

- Consumo de energia por modal



Cenário IEA

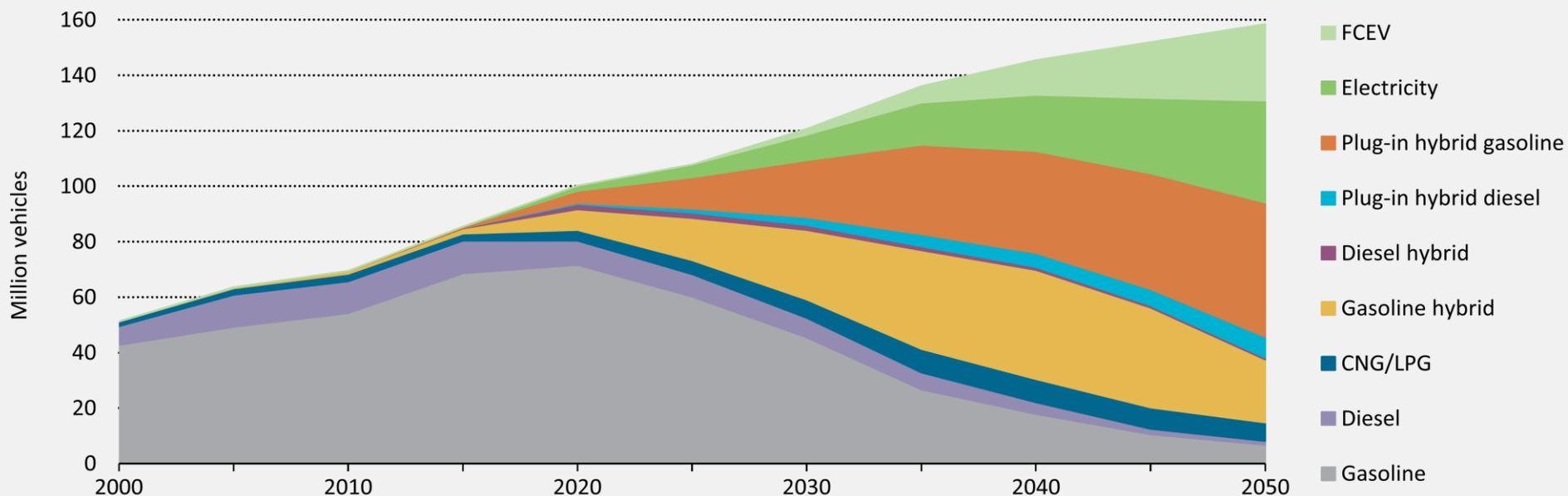
• Consumo de energia por combustível



Fonte: IEA, 2015

Cenário IEA

- Vendas de veículos leves por tecnologias



Note: CNG = compressed natural gas; LPG = liquefied petroleum gas.

Fonte: IEA, 2015

Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Na verdade, a partir da década de 70, com a crise de oferta do petróleo, foram introduzidos conceitos econômicos de:
 - Eficiência energética
 - Gerenciamento pelo lado da demanda
 - Planejamento integrado dos recursos, etc.
- Custo da Energia Conservada
 - Calculado como o custo de investimento e operação de projetos em eficiência, dividido pela energia conservada (expectativa) (R\$/MWh)
 - Serve para comparar projetos de geração com projetos de conservação de energia

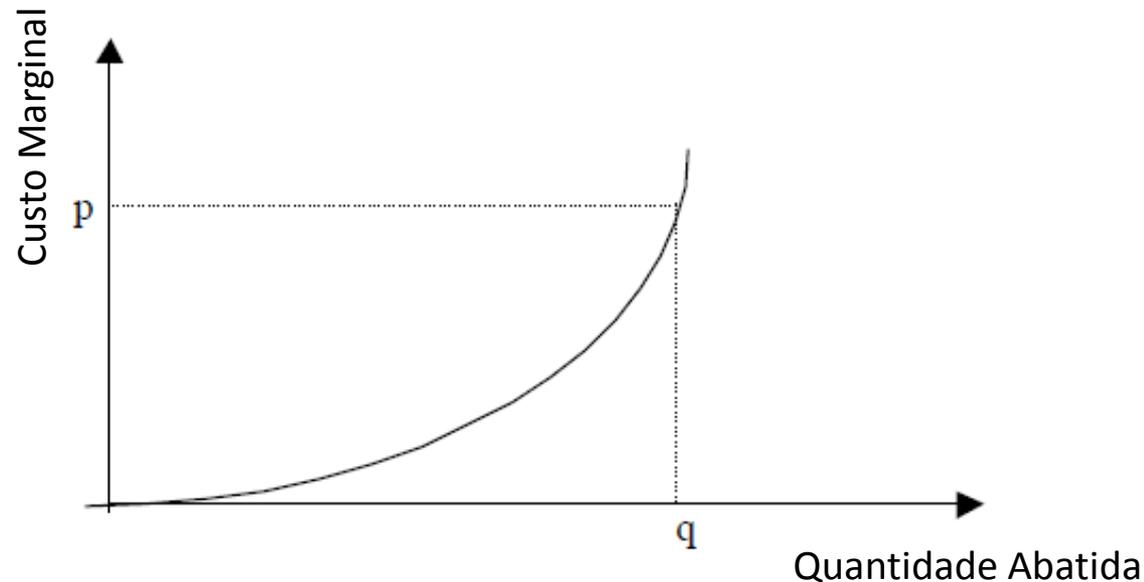
Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- São os custos para reduzir determinada quantidade de poluente emitido no ambiente
 - Ou seja, são os custos de adoção de meios tecnológicos e gerenciais para reduzir emissões
 - De maneira geral, estão associados às emissões de GEE
- Podem ser calculados em escala local, regional, setorial, etc.
 - Local: empresa, indústria, etc.
 - Regional: cidade, estado, país, etc.
 - Setorial: diferentes setores da economia

Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Período de análise: normalmente é calculado para curto e médio prazo (10 a 30 anos)
 - Problema 1: Valor do dinheiro no tempo. Necessidade de utilizar taxa de desconto (qual?)
 - Problema 2: Vida útil do projeto \neq período de análise
- Podem ser representadas por curvas que relacionam o custo marginal de se reduzir as emissões em função da quantidade abatida

Custo Marginal de Abatimento (CMA)



- Um ponto na curva representa o custo marginal para se abater uma unidade adicional de GEE
- A área abaixo da curva indica o custo total de abatimento da quantidade q de GEE

Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Na prática, trabalha-se com opções de mitigação (tecnológicas ou de mudança de insumos) para identificar os custos marginais
 - Assim, a curva de CMA perde sua característica contínua e passa a ter forma discreta
- Pode-se determinar o CMA de uma opção de mitigação para o período 2010 – 2030 pela fórmula:

$$CMA = \frac{\sum_{i=2010}^{2030} C_i}{\sum_{i=2010}^{2030} E_i}$$

C – Custo

E – Emissão Evitada



Custo Marginal de Abatimento (CMA)

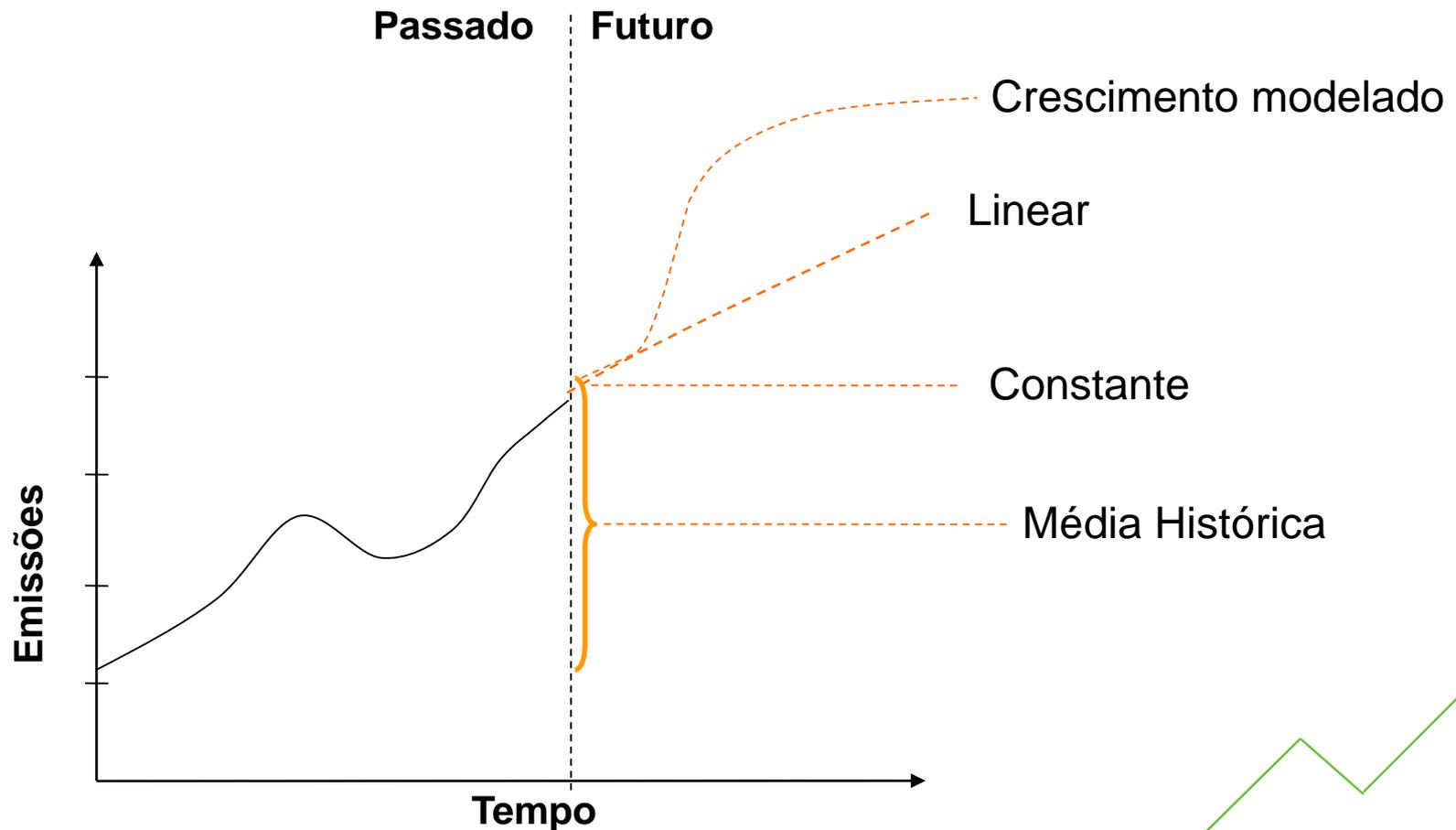
- Os custos e as emissões evitadas devem ser estimadas em relação a um cenário referência (tendência)
 - É necessário estabelecer um cenário de referência bem definido, que procure retratar a situação e as tendências presentes, supondo sua continuidade ao longo do período a ser considerado
 - Os custos representam o incremento financeiro necessário para implementar a opção comparativamente com o cenário referência

Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Delimitar o escopo do estudo
 - Escala de análise
 - Horizonte de análise
 - Construir o cenário referência
 - Analisar opções de mitigação
 - Calcular custos incremental (investimento inicial, O&M, combustível, receitas, etc.) e emissões evitadas
 - Calcular o CMA das opções
 - Construir o gráfico
- 

Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Qual cenário referência utilizar?



Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Qual cenário referência utilizar?
 - Idealmente, **não** se deve trabalhar com modelos agregados, com projeções econométricas tendo uma abordagem conhecida como descendente (*top-down*)
 - Melhor utilizar modelos técnico-econômicos que apresentam uma abordagem ascendente (*bottom-up*)
 - Levar em consideração aspectos dinâmicos que, possivelmente, não representarão apenas uma continuidade do passado

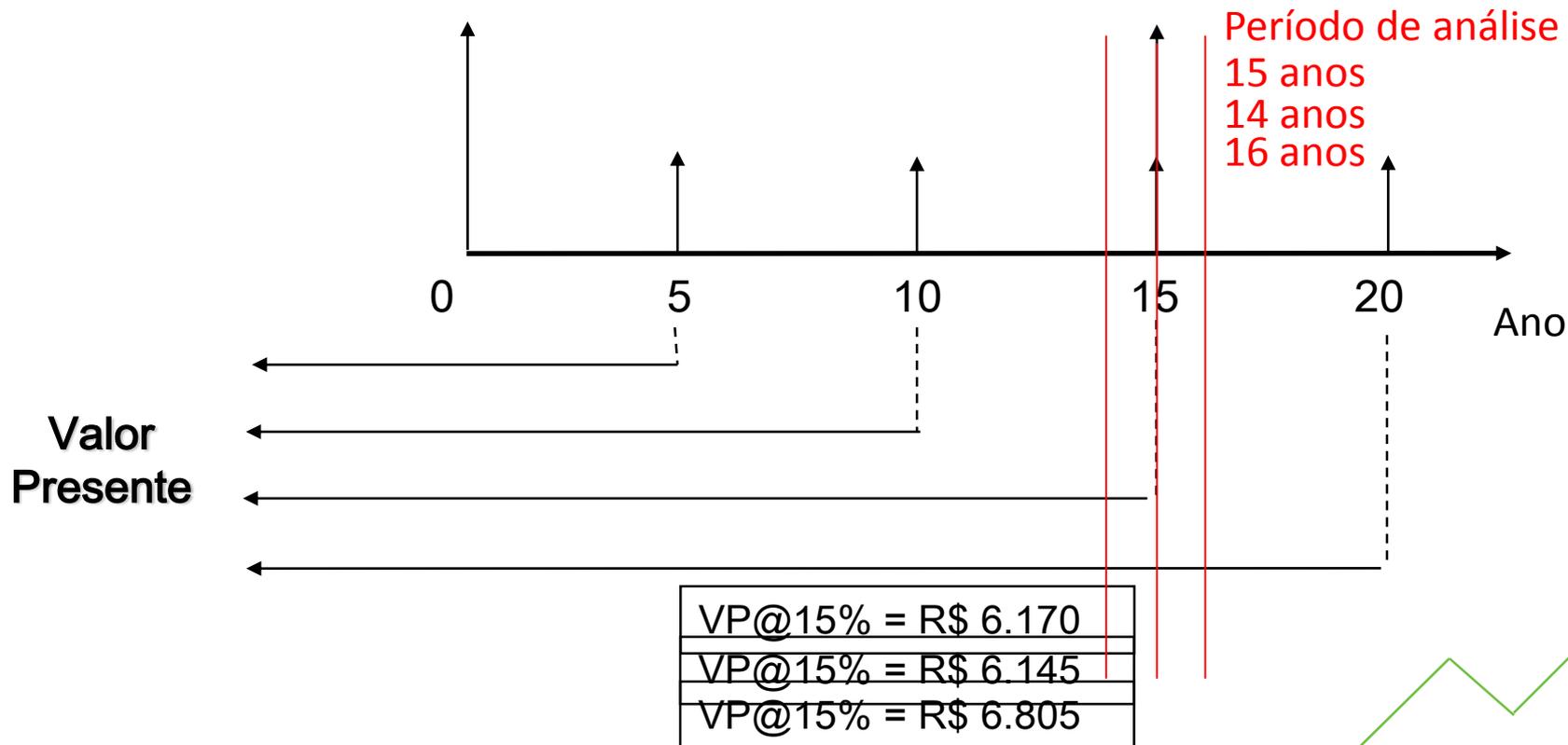
Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Qual taxa de desconto utilizar?
 - Taxa de desconto social: Fornece a relação custo – benefício para a sociedade com a implementação da opção de mitigação considerada
 - Taxa de desconto privada: Fornece as condições que tornam atraente o projeto nas decisões privadas atuais

Setor	Taxa esperada
Industrial	15 - 20%
Setor Elétrico	8 - 12%
Petróleo e Gás	15 - 25%
Transportes	10 - 15%
Consumidor Residencial	20 - 100%

Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Vida útil do projeto \neq período de análise
 - Projeto com vida útil de 15 anos, investimento incremental de R\$ 5 mil e O&M incremental de R\$ 200



Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Vida útil do projeto \neq período de análise
 - Solução: Usar o custo nivelado (ou anualizado) do investimento

Investimento Nivelado (IN) = Investimento Total (IT) x Fator de Anuidade (FA)

$$IN = IT \cdot \frac{(1+r)^n \cdot r}{(1+r)^n - 1}$$

r – Taxa de desconto

n – Vida útil do projeto



Custo Marginal de Abatimento (CMA)

- Pode-se determinar o CMA de uma opção de mitigação para o período 2010 – 2030 pela fórmula:

$$CMA = \frac{\sum_{i=2010}^{2030} (C_i^{Abatimento} - C_i^{Base})}{\sum_{i=2010}^{2030} (E_i^{Base} - E_i^{Abatimento})}$$

C – Custo
E – Emissão
IT – Investimento Total
OM – O&M
FC – Combustível
R – Receitas
FA – Fator de Anuidade

Onde:

$$C_i = (IT \cdot FA) + OM_i + FC_i + R_i$$

Exemplo de CMA

Custo de Implementação (10 ⁶ US\$)	2015 - 2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2035-2040	2041-2045	2046-2050
Ganho de eficiência no motor	0	\$250	\$300	\$350	\$400	\$450	\$500
Ganho de eficiência fora do motor	0	\$125	\$150	\$175	\$200	\$225	\$250
Sistema de transporte inteligente	0	\$5	\$8	\$10	\$13	\$15	\$18
Sistema rápido de ônibus	0	\$125	\$150	\$175	\$200	\$225	\$250
Melhorias de infraestrutura	0	\$50	\$60	\$70	\$80	\$90	\$100
Veículos híbridos elétricos	0	\$1,000	\$1,200	\$1,400	\$1,600	\$1,800	\$2,000
Veículos híbridos elétricos plug-in	0	\$0	\$2,400	\$2,800	\$3,200	\$3,600	\$4,000
Veículos elétricos	0	\$0	\$0	\$5,250	\$6,000	\$6,750	\$7,500
Veículos a célula a combustível	0	\$0	\$0	\$7,000	\$8,000	\$9,000	\$10,000

Exemplo de CMA

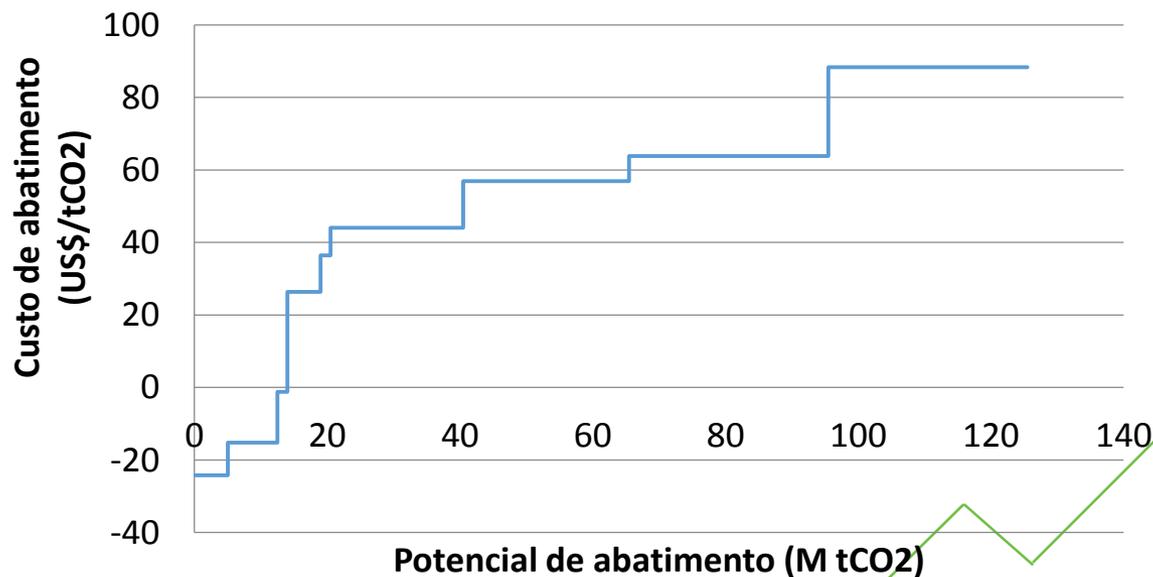
Custo Evitado (10 ⁶ US\$)	2015 - 2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2035-2040	2041-2045	2046-2050
Ganho de eficiência no motor	0	\$300	\$400	\$500	\$600	\$700	\$800
Ganho de eficiência fora do motor	0	\$200	\$250	\$300	\$350	\$400	\$450
Sistema de transporte inteligente	0	\$6	\$9	\$12	\$15	\$18	\$21
Sistema rápido de ônibus	0	\$20	\$30	\$40	\$50	\$60	\$70
Melhorias de infraestrutura	0	\$5	\$10	\$15	\$20	\$25	\$30
Veículos híbridos elétricos	0	\$300	\$400	\$500	\$600	\$700	\$800
Veículos híbridos elétricos plug-in	0	\$0	\$480	\$600	\$720	\$840	\$960
Veículos elétricos	0	\$0	\$0	\$660	\$792	\$924	\$1,056
Veículos a célula a combustível	0	\$0	\$0	\$660	\$792	\$924	\$1,056

Exemplo de CMA

Custo Total (10 ⁶ US\$)	2015 - 2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2035-2040	2041-2045	2046-2050
Ganho de eficiência no motor	0	-\$50	-\$100	-\$150	-\$200	-\$250	-\$300
Ganho de eficiência fora do motor	0	-\$75	-\$100	-\$125	-\$150	-\$175	-\$200
Sistema de transporte inteligente	0	-\$1	-\$2	-\$2	-\$3	-\$3	-\$4
Sistema rápido de ônibus	0	\$105	\$120	\$135	\$150	\$165	\$180
Melhorias de infraestrutura	0	\$45	\$50	\$55	\$60	\$65	\$70
Veículos híbridos elétricos	0	\$700	\$800	\$900	\$1,000	\$1,100	\$1,200
Veículos híbridos elétricos plug-in	0	\$0	\$1,920	\$2,200	\$2,480	\$2,760	\$3,040
Veículos elétricos	0	\$0	\$0	\$4,590	\$5,208	\$5,826	\$6,444
Veículos a célula a combustível	0	\$0	\$0	\$6,340	\$7,208	\$8,076	\$8,944

Exemplo de CMA

Medida	VPL @10%	Redução (10 ³ tCO ₂)	\$/tCO ₂
Ganho de eficiência no motor	-\$120,963,657	5,000,000	-24.19
Ganho de eficiência fora do motor	-\$113,694,303	7,500,000	-15.16
Sistema de transporte inteligente	-\$1,741,761	1,500,000	-1.16
Sistema rápido de ônibus	\$132,071,551	5,000,000	26.41
Melhorias de infraestrutura	\$54,666,345	1,500,000	36.44
Veículos híbridos elétricos	\$880,477,009	20,000,000	44.02
Veículos híbridos elétricos plug-in	\$1,422,921,286	25,000,000	56.92
Veículos elétricos	\$1,916,041,679	30,000,000	63.87
Veículos a célula a combustível	\$2,651,565,087	30,000,000	88.39



Exemplo de CMA

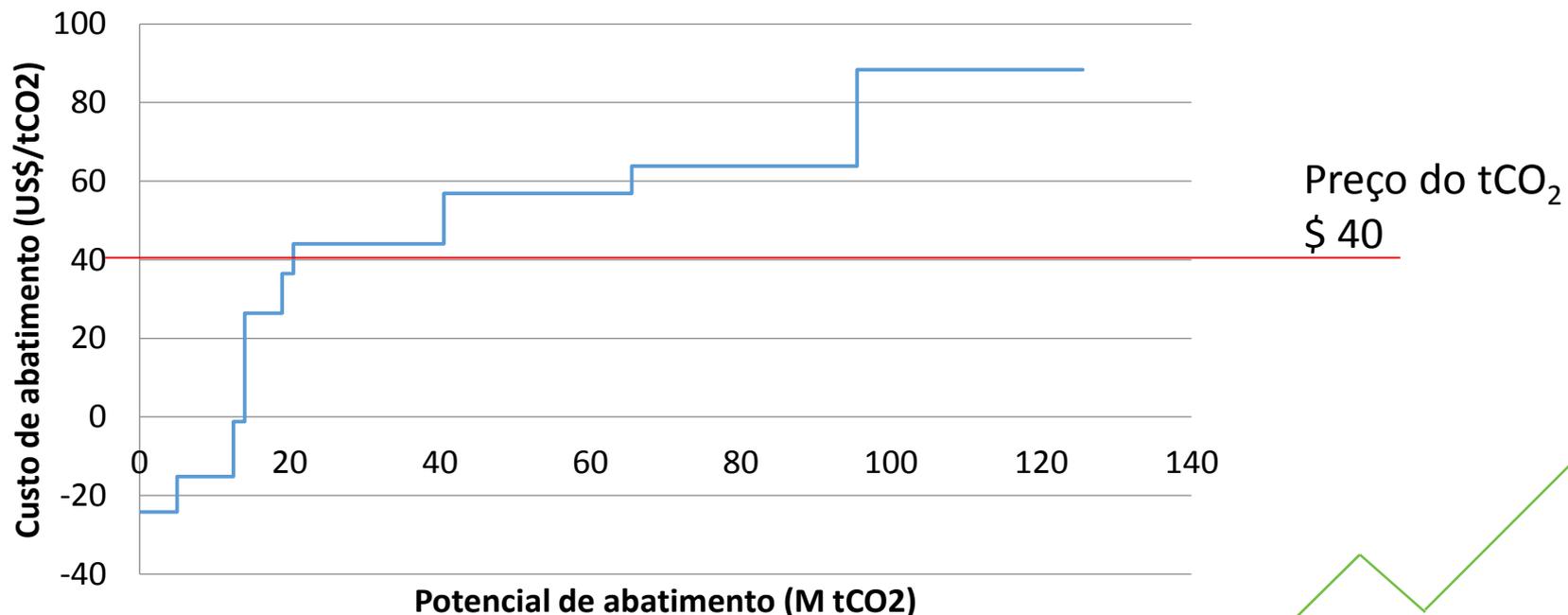
Medida	\$/tCO ₂	Redução (MtCO ₂)	Custo Total (10 ⁶ US\$)	Redução Acumulada (MtCO ₂)	Custo Acumulado (10 ⁶ US\$)
Ganho de eficiência no motor	-24.19	5.0	-\$121	5	-121
Ganho de eficiência fora do motor	-15.16	7.5	-\$114	13	-235
Sistema de transporte inteligente	-1.16	1.5	-\$2	14	-236
Sistema rápido de ônibus	26.41	5.0	\$132	19	-104
Melhorias de infraestrutura	36.44	1.5	\$55	21	-50
Veículos híbridos elétricos	44.02	20.0	\$880	41	831
Veículos híbridos elétricos plug-in	56.92	25.0	\$1,423	66	2,254
Veículos elétricos	63.87	30.0	\$1,916	96	4,170
Veículos a célula a combustível	88.39	30.0	\$2,652	126	6,821

CMA Negativo

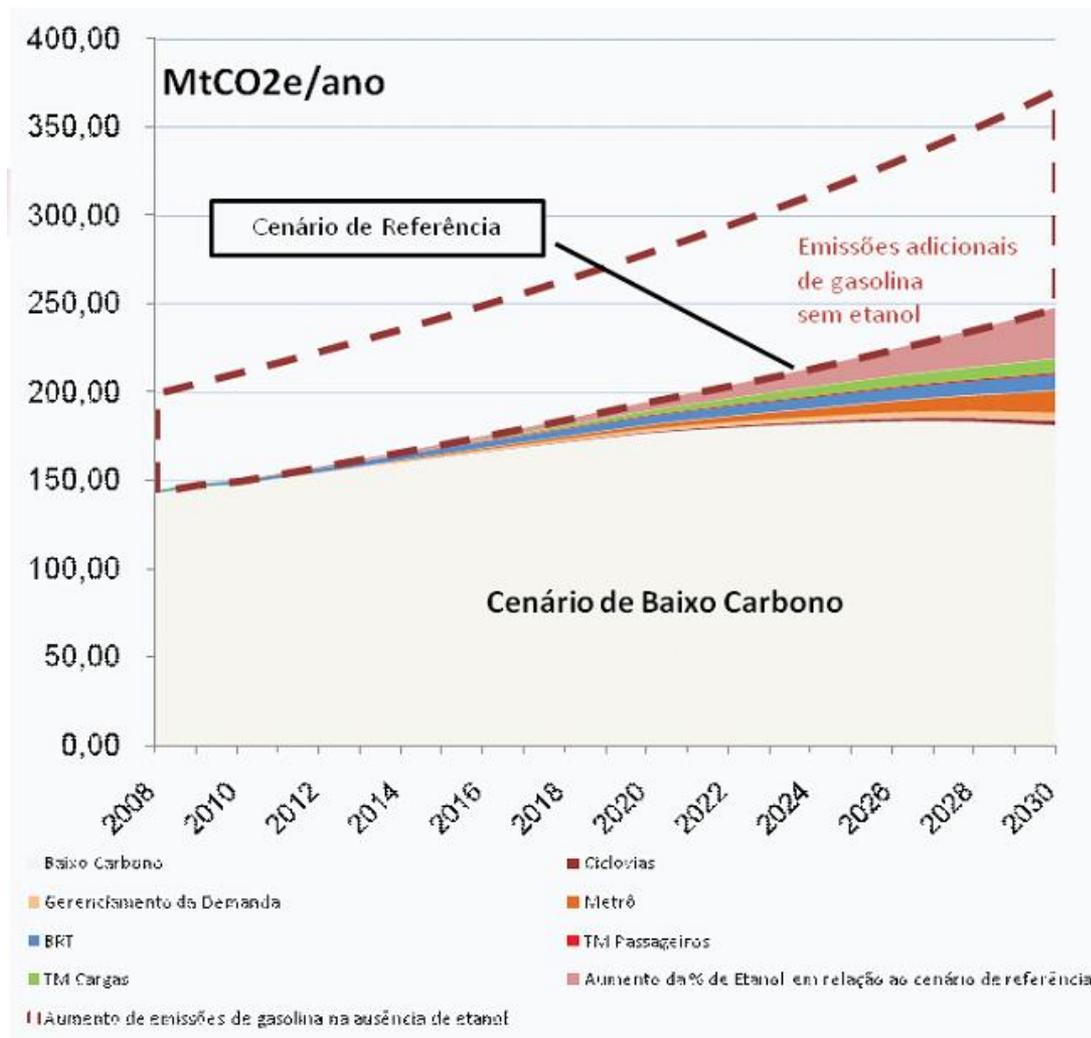
- Os custos para a implementação e as emissões da opção considerada são menores que o esperado no cenário de referência
 - Por que, então, esta medida não é implementada?
 - Por que não a consideramos como cenário de referência?
- n Porque existem barreiras
 - Barreira de Informação
 - Barreira financeira
 - Barreira de mercado

Break Even Carbon Price

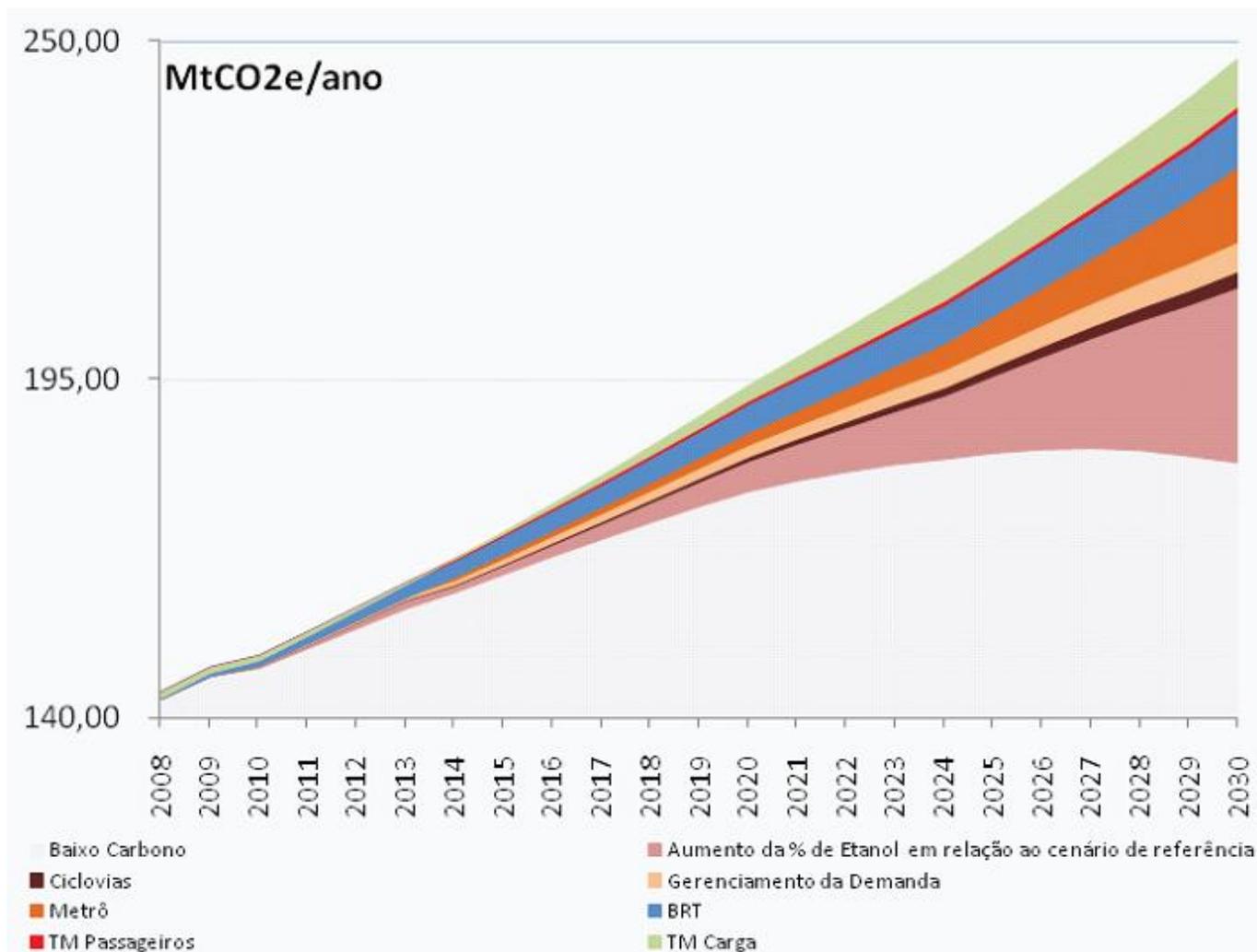
- Preço do carbono que torna atrativa, do ponto de vista econômico, a opção de mitigação
 - Em comparação com o cenário referência
 - Segundo uma Taxa Interna de Retorno (TIR) pretendida pelo setor



Cenário Banco Mundial



Cenário Banco Mundial

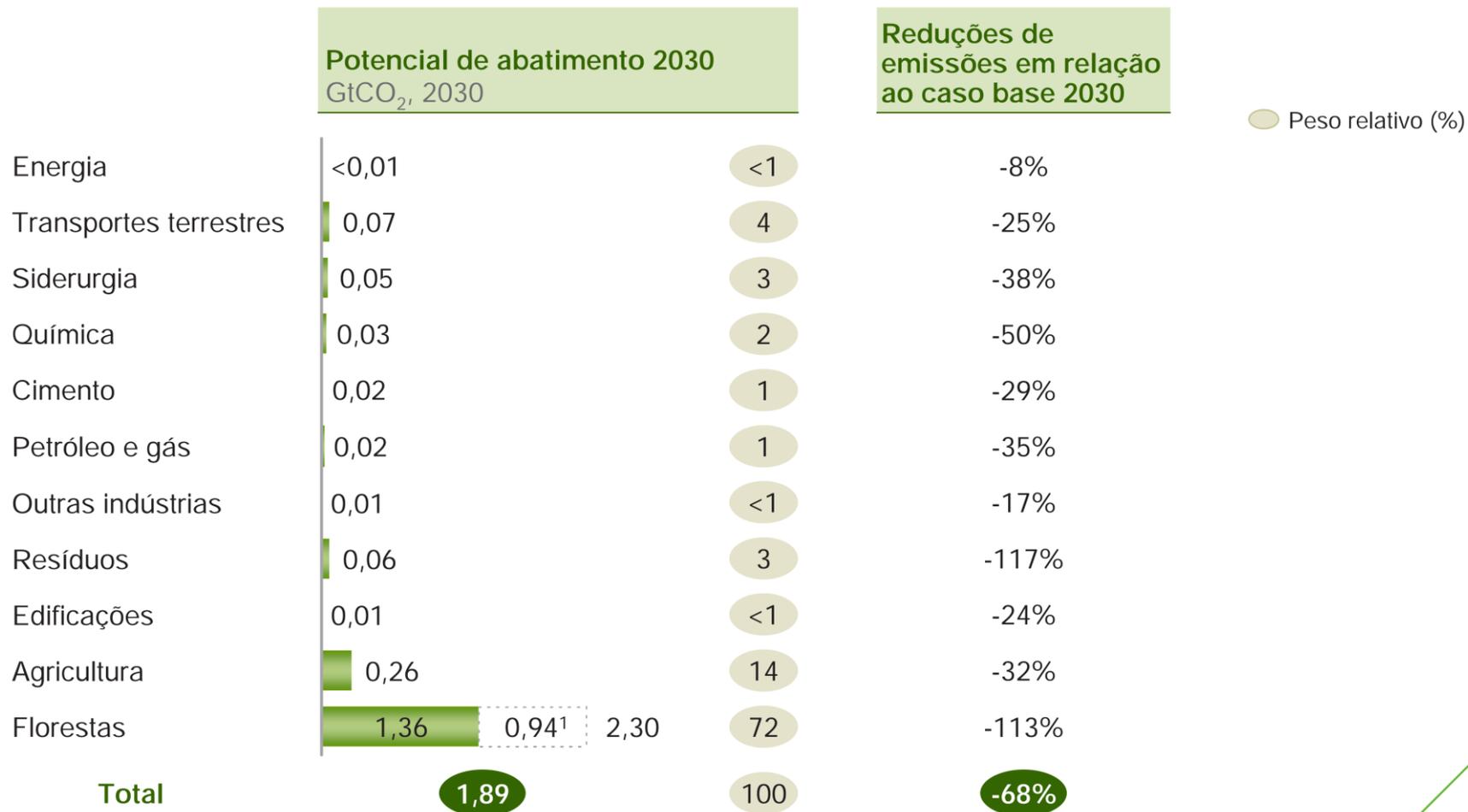


Cenário Banco Mundial

Ano	Volumes em mil barris		Emissões Evitadas em mil toneladas de CO ₂	Investimentos em US\$ Milhões						Custo da tonelada de CO ₂ e Evitada (US\$ / tCO ₂ e)	
	Etanol não Exportado	Gasolina Exportada		Requerido		Evitado		Líquido		Nominal	VP em 2009
				Nominal	VP em 2009	Nominal	VP em 2009	Nominal	VP em 2009		
2010	1.612	1.100	293	71	66	49	46	22	20	73,68	68,22
2011	2.789	1.903	507	121	165	95	124	26	41	52,16	81,23
2012	4.914	3.353	893	211	320	171	250	40	70	44,33	77,87
2013	7.324	4.997	1.331	308	523	261	424	47	99	35,58	74,53
2014	6.348	4.332	1.153	261	662	231	549	30	113	26,34	97,54
2015	8.138	5.553	1.479	327	819	302	699	25	120	16,65	80,94
2016	10.825	7.387	1.967	429	1.009	410	886	20	122	9,92	62,13
2017	14.149	9.654	2.571	552	1.232	536	1.110	16	122	6,39	47,47
2018	18.028	12.301	3.276	692	1.487	683	1.369	9	117	2,68	35,84
2019	22.473	15.334	4.083	845	1.768	851	1.662	-6	106	-1,47	25,94
2020	27.655	18.870	5.025	1.018	2.074	943	1.943	75	130	14,93	25,92
2021	33.588	22.919	6.103	1.211	2.401	1.145	2.254	67	147	10,93	24,10
2022	40.427	27.585	7.345	1.426	2.748	1.378	2.594	48	154	6,58	20,96
2023	48.201	32.890	8.758	1.661	3.110	1.643	2.961	18	149	2,07	16,98
2024	57.391	39.160	10.428	1.930	3.488	1.956	3.358	-26	129	-2,53	12,41
2025	69.848	47.660	12.691	2.290	3.898	2.381	3.804	-91	93	-7,15	7,35
2026	83.764	57.155	15.220	2.707	4.340	2.855	4.294	-148	46	-9,74	3,04
2027	99.313	67.765	18.045	3.162	4.810	3.385	4.823	-223	-13	-12,36	-0,72
2028	116.800	79.697	21.222	3.663	5.303	3.981	5.388	-318	-86	-15,00	-4,04
2029	136.299	93.002	24.765	4.208	5.813	4.645	5.986	-437	-173	-17,65	-6,99
2030	158.023	107.825	28.712	4.804	6.336	5.386	6.612	-582	-276	-20,28	-9,61
Totais	967.908	660.441	175.866	31.896	52.368	33.285	51.137	-1.389	1.231	-7,90	7,00

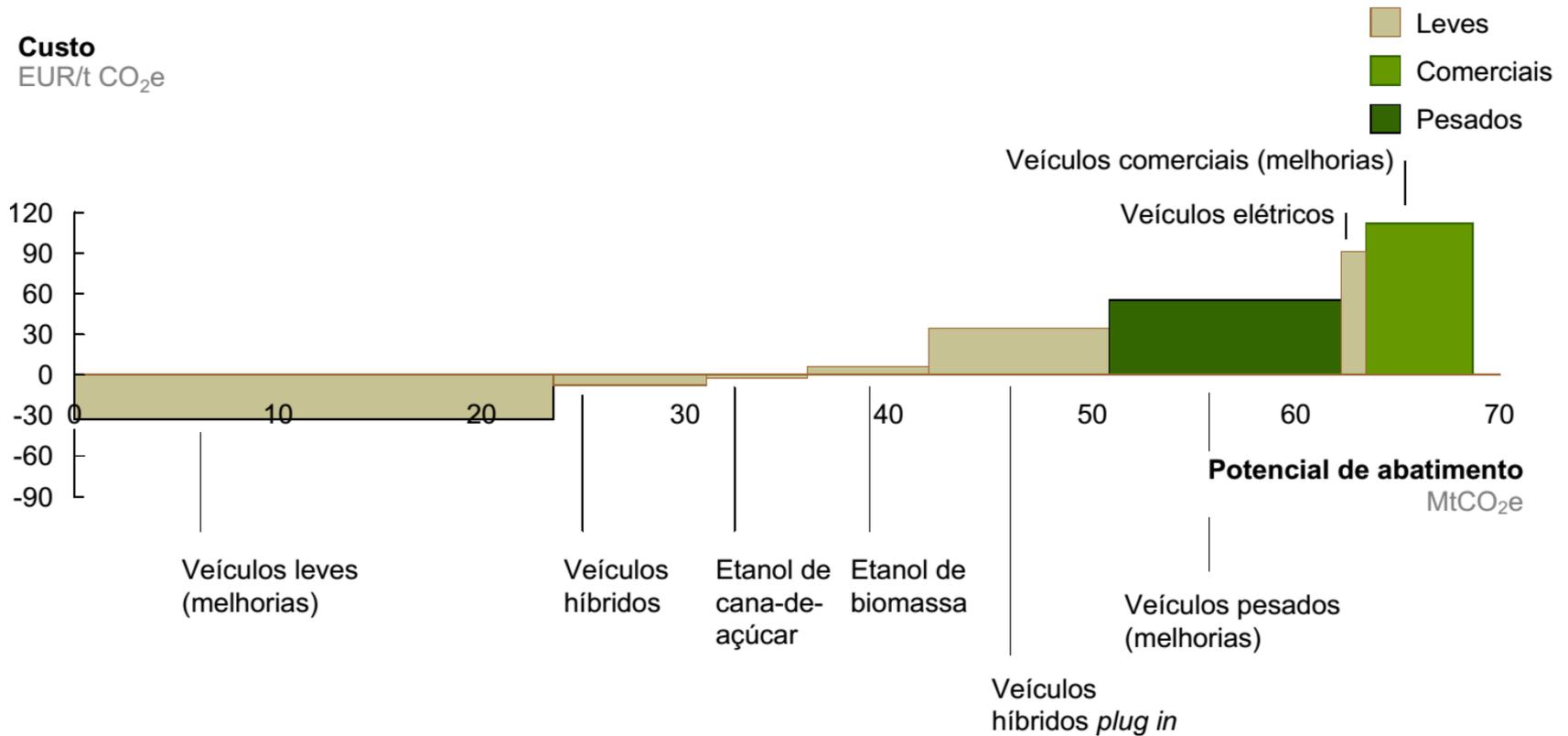
Fonte: Gouvello, 2010

Cenário McKinsey



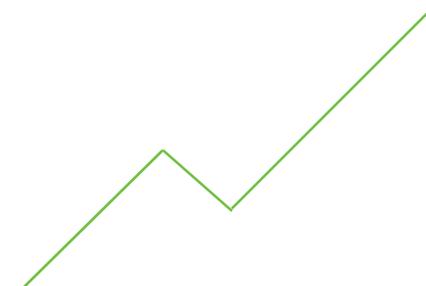
1 Potencial adicional de abatimento a partir de reforestamento extensivo de áreas degradadas no País

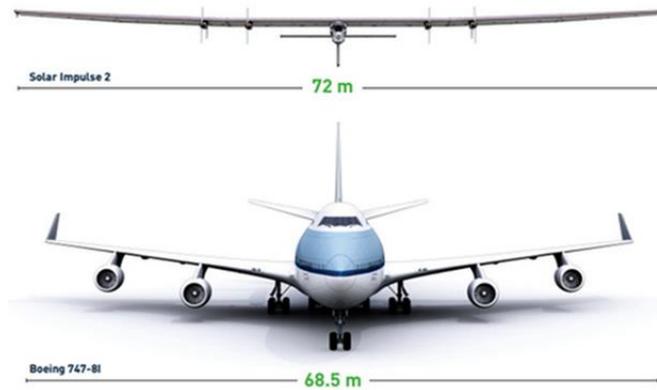
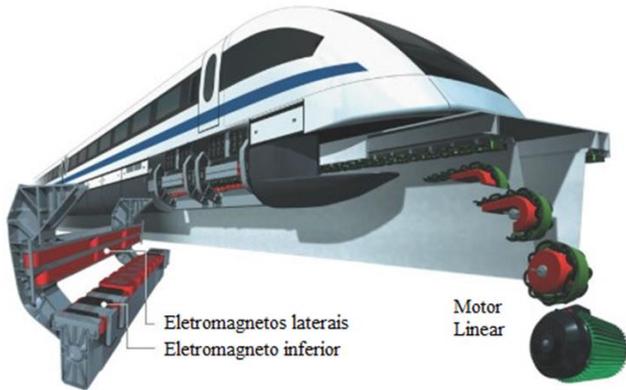
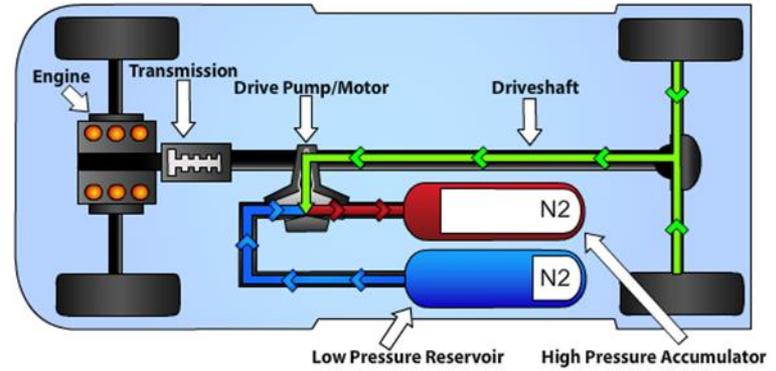
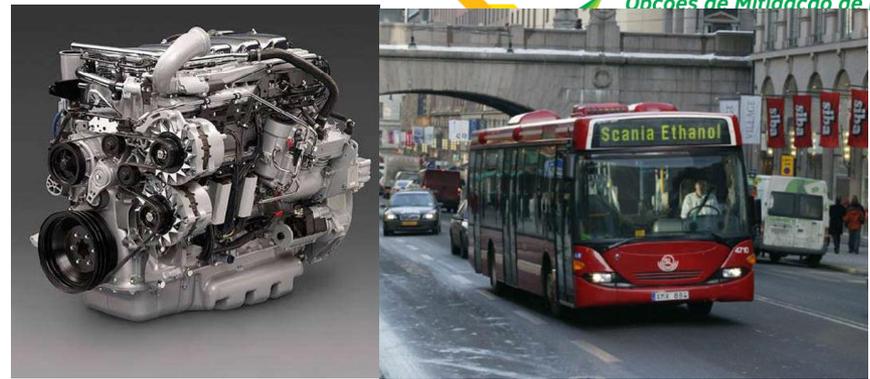
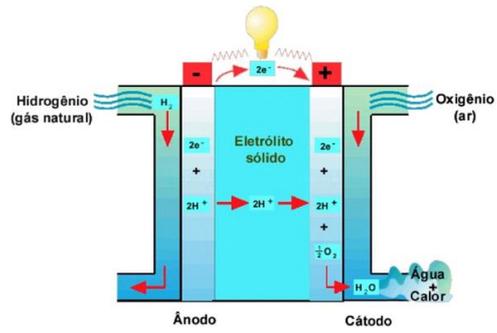
Cenário McKinsey



Tecnologias Inovadoras

- Veículos à célula combustível
- Ônibus a etanol
- Embarcações com towing kite
- Veículo híbrido hidráulico
- Sistema de levitação magnética
- Avião solar





Fontes de Informação

- Planos do setor
 - Planos municipais de investimento do transporte público
 - Planos municipais de mobilidade urbana
 - Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT)
 - Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviário
 - Plano hidroviário estratégico
 - Inventário nacional do setor ferroviário
 - Programa de investimento em logística (rodovias, ferrovias, aeroportos e portos)
 - Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)
 - Anuário Estatístico do Transporte Aéreo

Fontes de Informação

- Outras fontes
 - IPCC (2014). Chapter 8 - Transport. In: Climate Change 2014 - Mitigation for Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group III. Cambridge University Press, Cambridge and New York. 117pp.
 - IEA (2014). Key World Energy Statistics. International Energy Agency, Paris, France. 82 pp.
 - JANNUZZI e SWISHER (1997). Planejamento Integrado dos Recursos Energéticos, Editora Autores Associados. Brasil.
 - EPE (2014). Balanço Energético Nacional. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, Brasil. 288 pp.
 - MCTI (2013). Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasília, Brasil. 80 pp.
 - McKinsey (2009). Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil. McKinsey & Company. 47 pp.
 - IEA (2015). Energy Technology Perspectives 2015. International Energy Agency, Paris, France. 690 pp.
 - Gouvello C. de (2010). Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento, Brasília, Brasil. 280 pp.
 - IEA (2009). Transport, Energy and CO2 - Moving Toward Sustainability. International Energy Agency, Paris, France. 418 pp.

Obrigado

Bruno Borba – bborba@id.uff.br

