



TECNOLOGIAS DE BAIXO CARBONO APLICÁVEIS AOS SETORES-CHAVE DO BRASIL

EDIFICAÇÕES

André Lucena

Março de 2015



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



Sumário

- Introdução
- Contexto
- Usos Energéticos
- Bases de dados
- Medidas de mitigação
- Processo decisório para mitigação

Introdução

- Segmentos do Setor de Edificações:
 - Residencial
 - Comercial
 - Serviços
 - Público (iluminação pública*)
- Emissões de GEE no Setor de Edificações

- Emissões diretas
- Emissões indiretas



Uso de
Energia

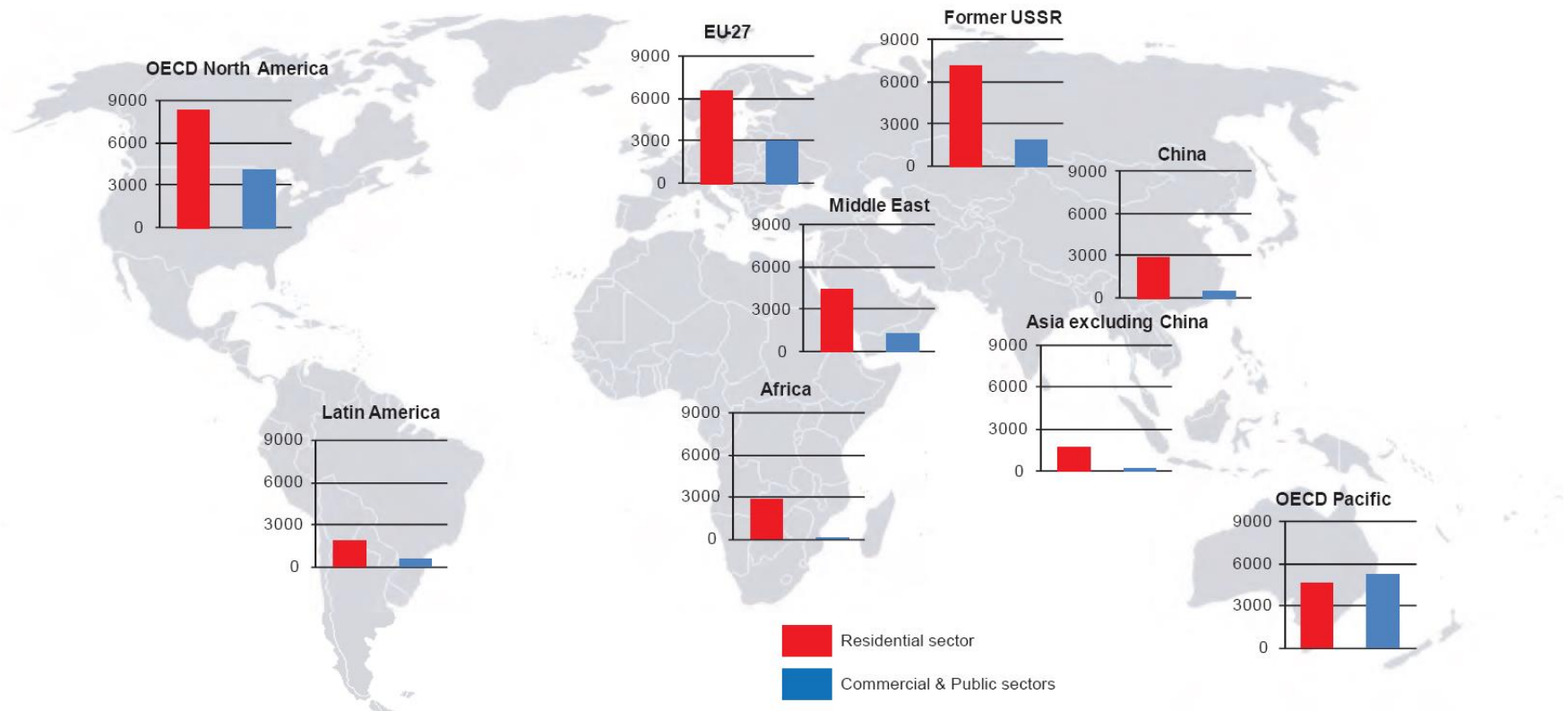
* Considerado aqui por estar agregado ao setor público

Contexto

- Mundialmente, o setor de edificações corresponde a 32% do consumo energético e 19% das emissões relacionadas a energia.
- A energia em edificações é utilizada para prover uma série de serviços básicos, como:
 - Preparação e conservação de alimentos
 - Saúde
 - Higiene
 - Conforto
 - Entretenimento
 - Comunicação
 - Etc.

Contexto

- Uso de energia em edificações (kWh/cap/ano)



(Global Energy Assessment, 2012)

Figure 10.4 | Total annual final energy use in the residential and commercial/public sectors, building energy use per capita by region and building type in 2007 (kWh/capita/yr). Source: data from IEA Online Statistics, 2007.

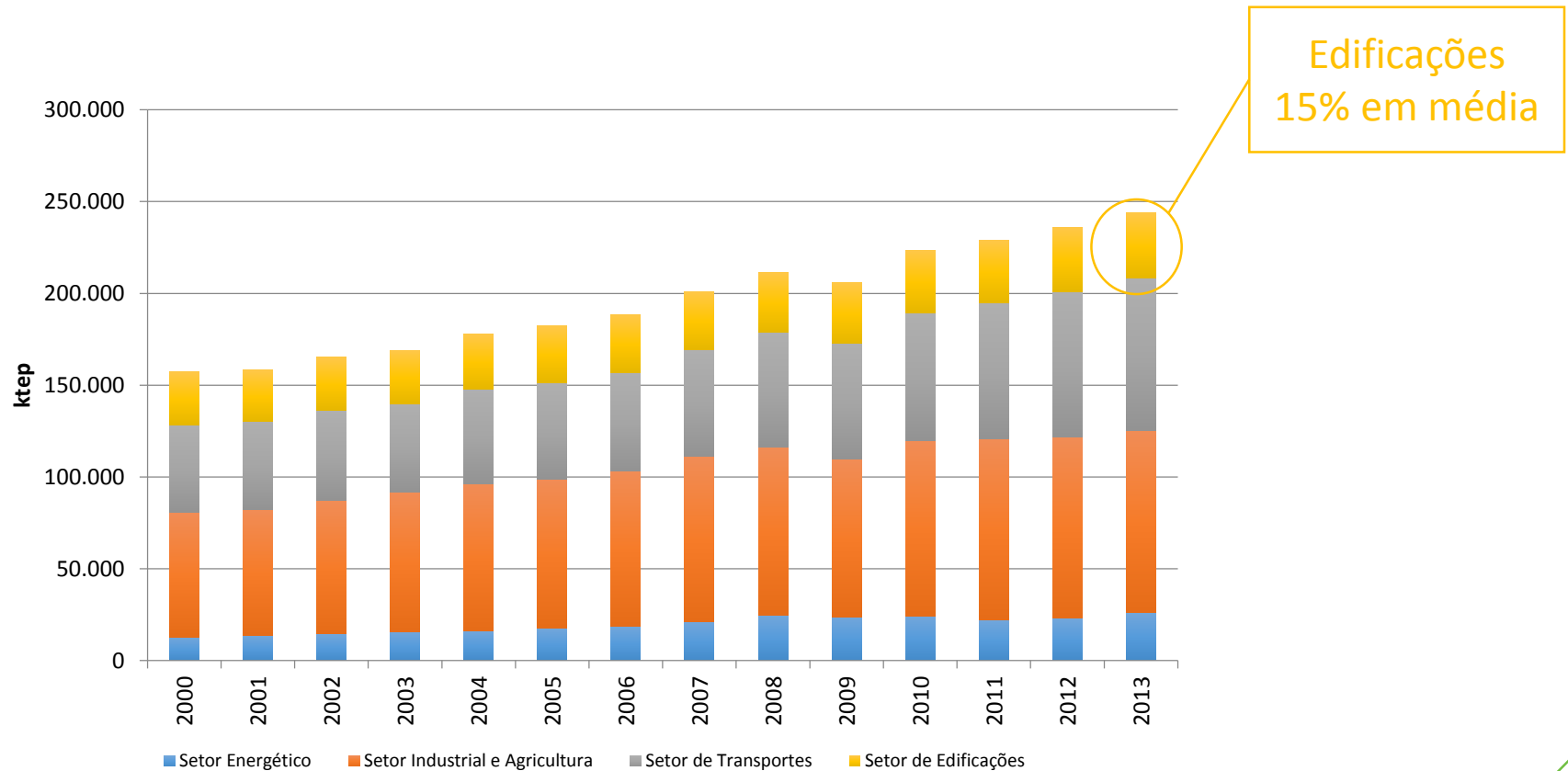
Contexto

- Fatores que definem o aumento no consumo de energia em edificações (*drivers*):
 - Crescimento populacional
 - Mudanças demográficas
 - Urbanização
 - Renda/desenvolvimento
 - Acesso a fontes modernas de energia
 - Tecnologia
 - Aspectos culturais e comportamentais



Contexto

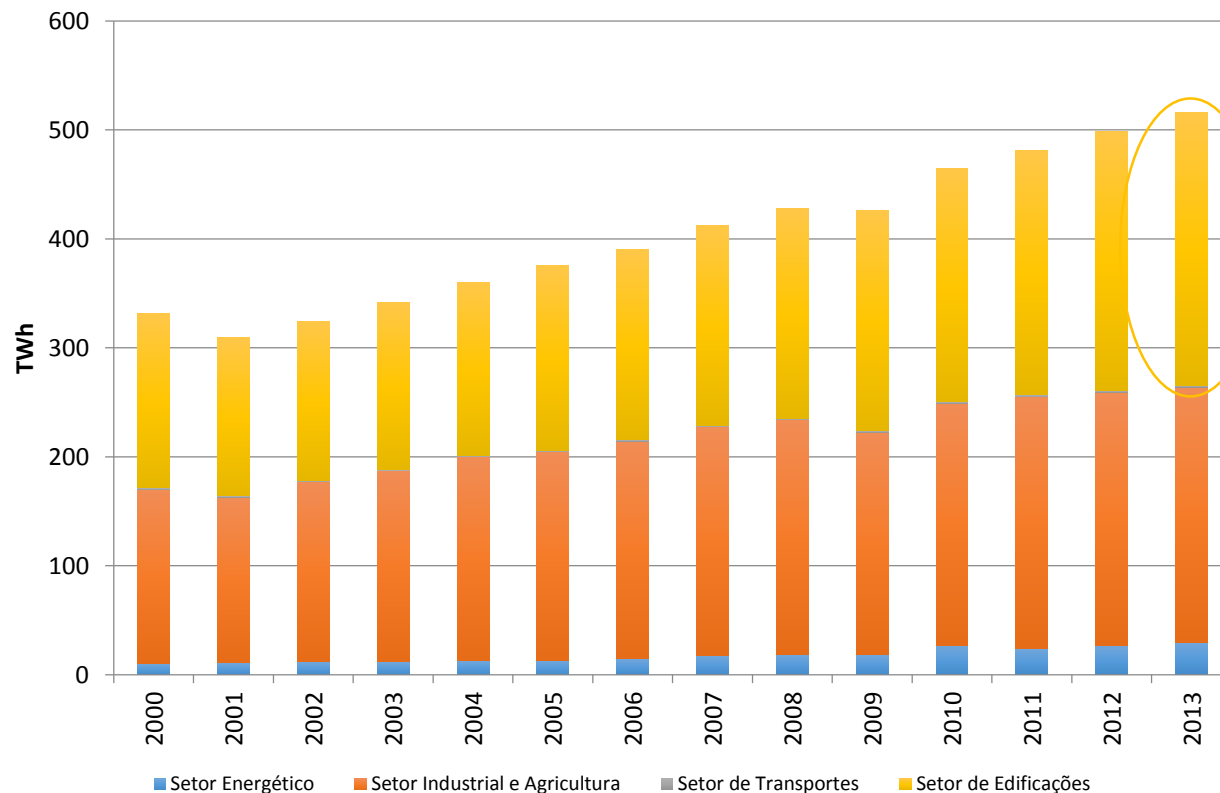
- Consumo de Energia no Brasil





Contexto

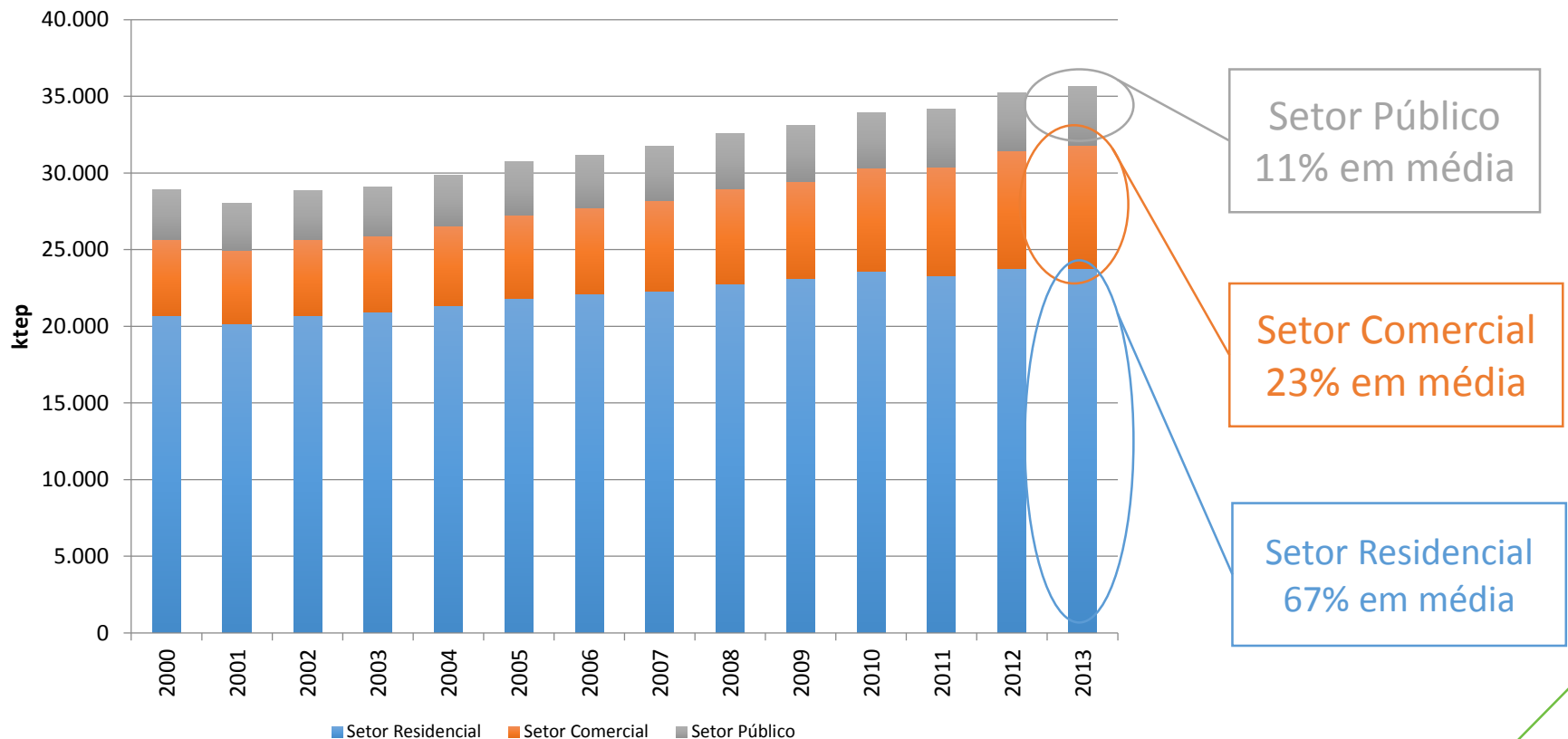
- Consumo de Eletricidade no Brasil



Edificações
45% em média

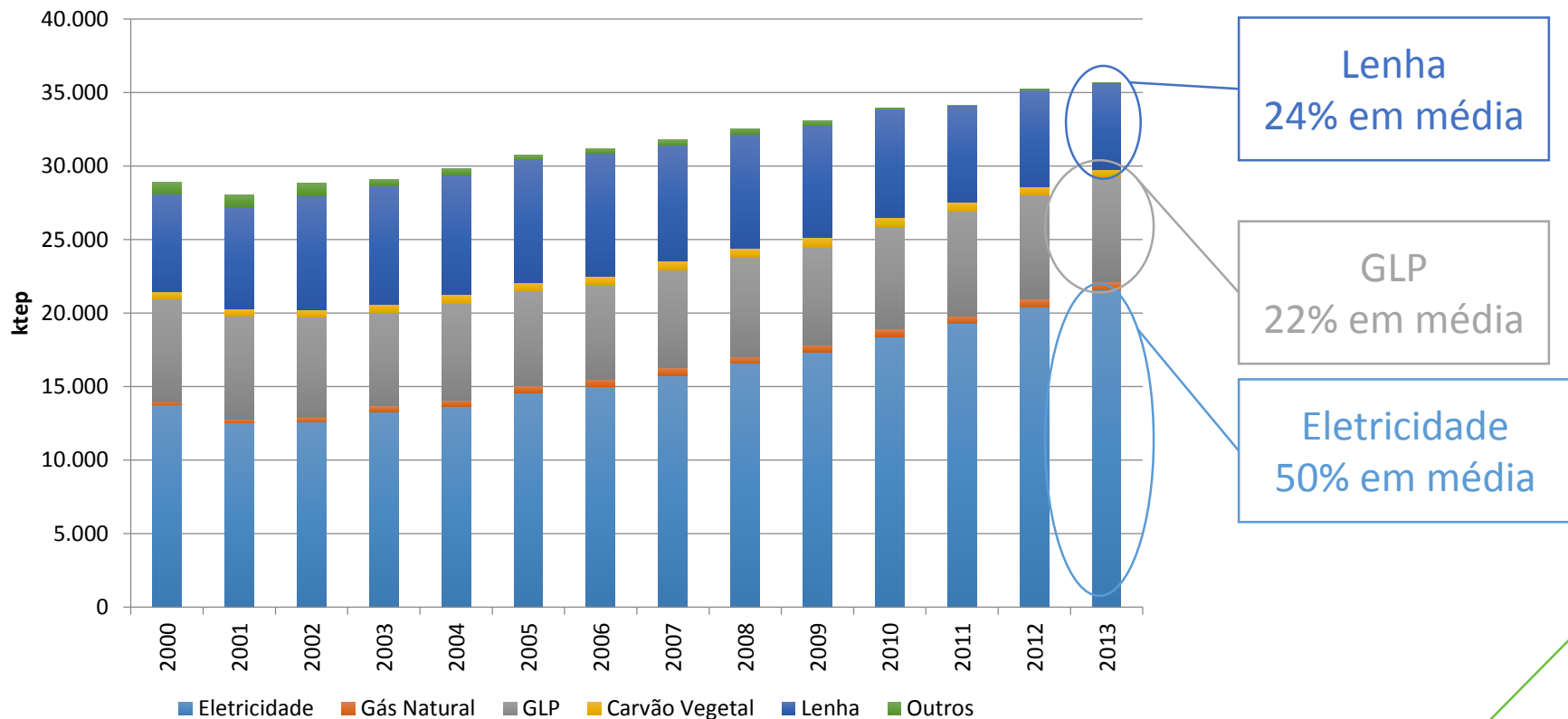
Contexto

- Consumo de Energia em Edificações (setores)



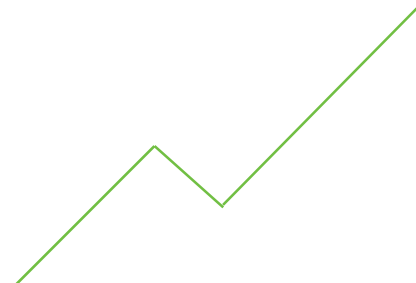
Contexto

- Consumo de Energia em Edificações (fontes)



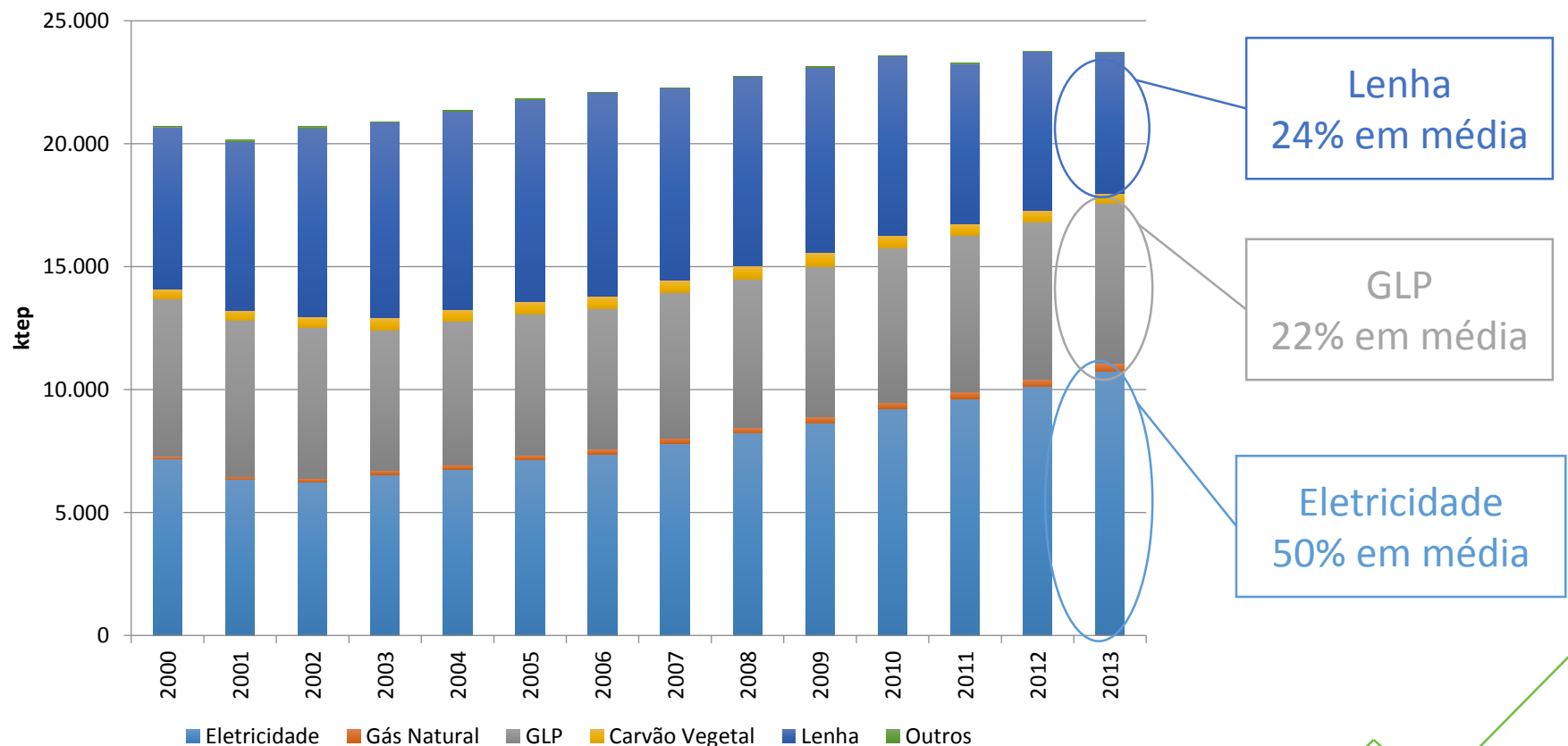


Setor Residencial



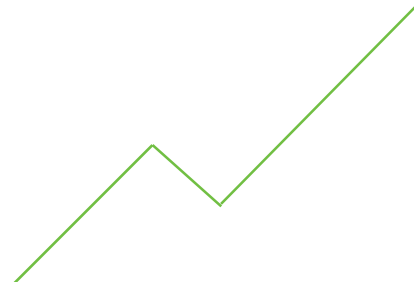
Contexto

- Consumo de Energia no Setor Residencial



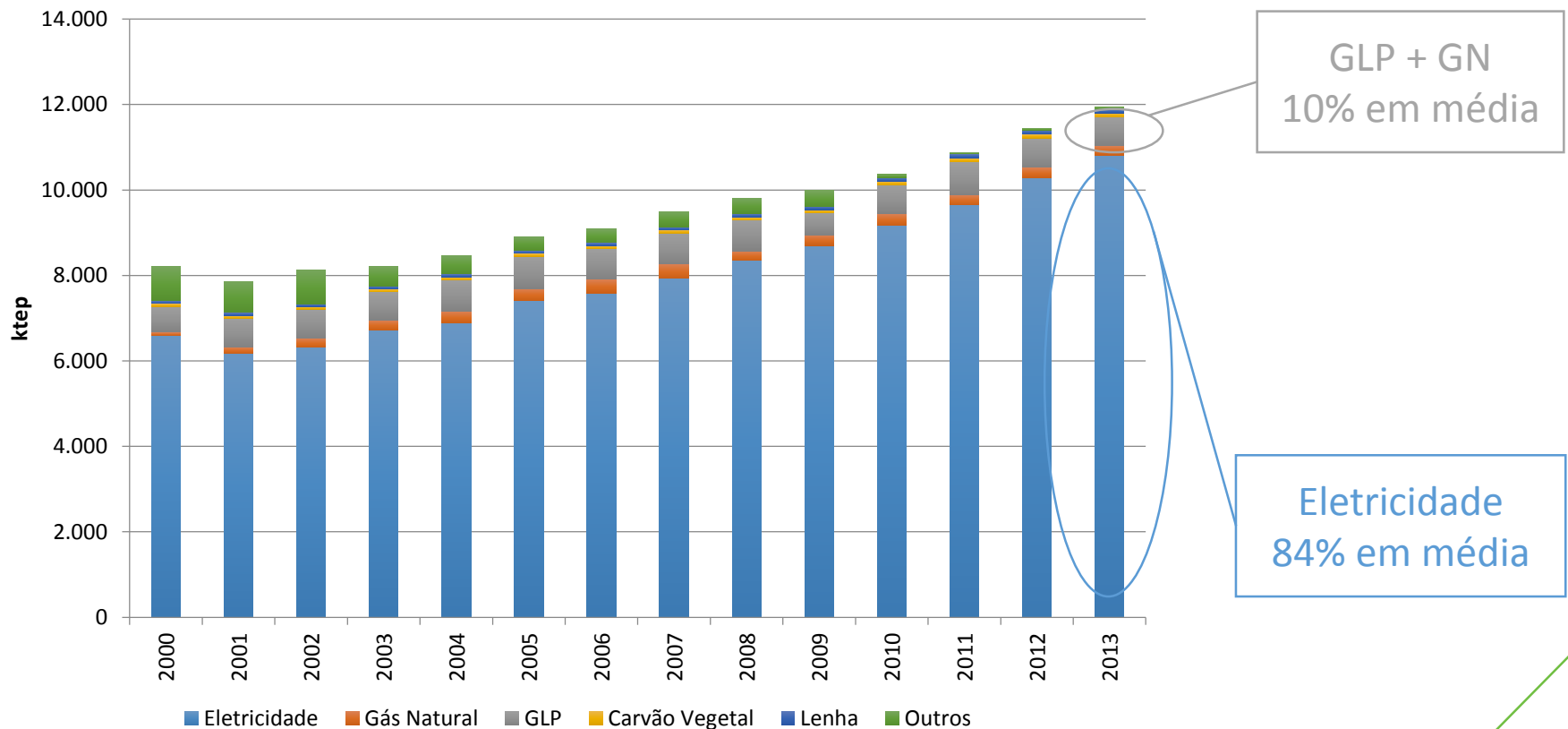


Setor Comercial e Serviços



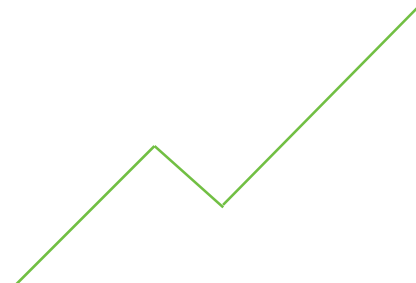
Contexto

- Consumo de Energia no Setor Comercial e Serviços





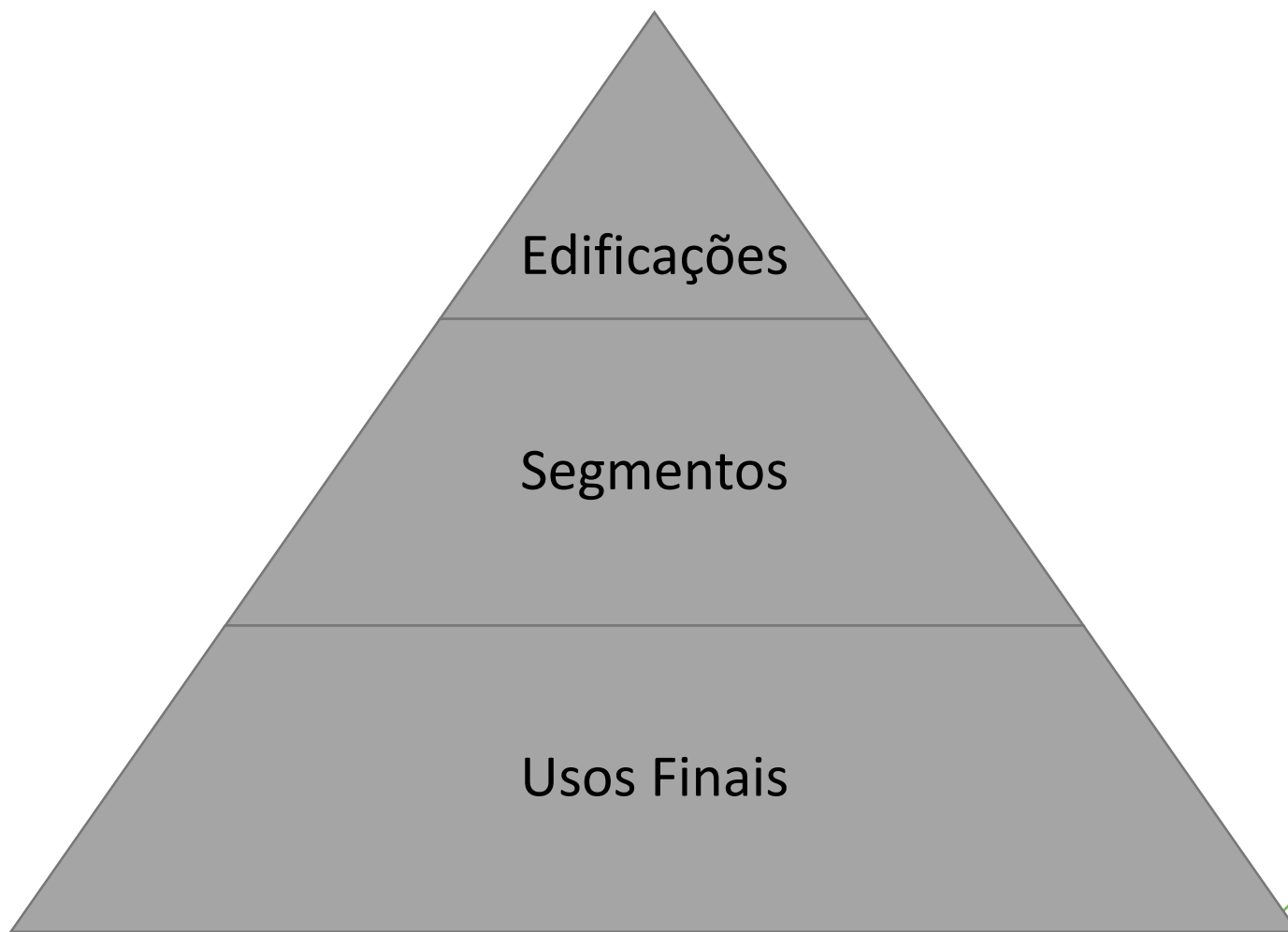
Segmentação e Usos Energéticos no Setor de Edificações



Níveis de Agregação em Edificações



*Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil*





Segmentos do Setor de Edificações

- Setor Residencial
- Setor Comercial
 - Shoppings
 - Lojas (varejo e atacado)
 - Supermercados
- Setor de Serviços
 - Instituições de Saúde
 - Instituições de Ensino
 - Escritórios
 - Alimentação
 - Hospedagem
 - Entretenimento
- Setor Público
 - Repartições Públicas
 - Iluminação Pública*



Heterogeneidade





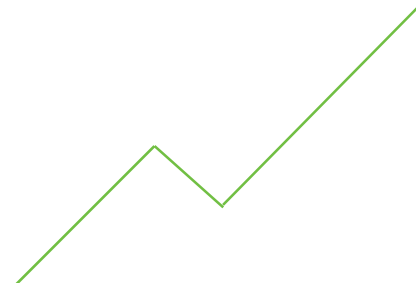






Usos Energéticos no Setor de Edificações

- Iluminação
- Climatização
- Refrigeração
- Cocção
- Aquecimento de água
- Outros usos



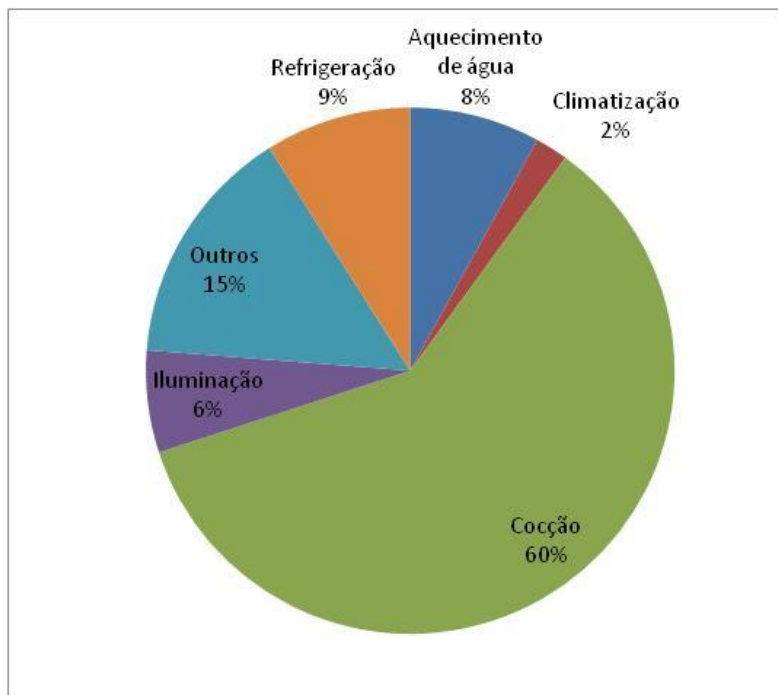
Usos Energéticos – Setor Residencial



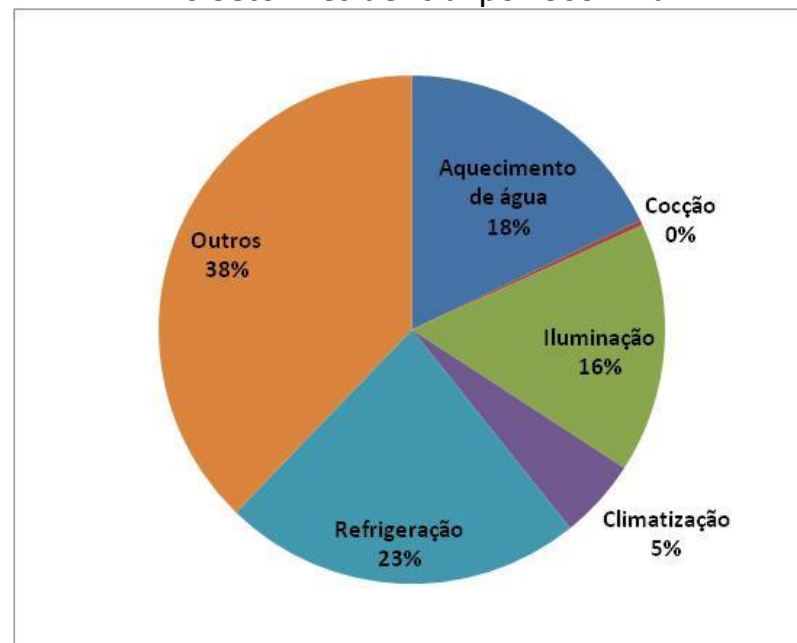
Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil

- Usos Finais (PROCEL, EPE)

Ano base (2010): Consumo de Energia no
Setor Residencial por Uso Final



Ano base (2010): Consumo de Eletricidade
no Setor Residencial por Uso Final





Usos Energéticos – Setor Comercial e Serviços

- Desagregação: a partir de pesquisa do EIA (Commercial Buildings Energy Consumption), base 2003
 - Expurgado consumo para aquecimento ambiental.
 - Exemplo: uso de eletricidade - proposta

Uso	Educação	Aliment.	Saúde	Hosped.	Comércio	Escritórios	Total
Climatização	44%	10%	36%	17%	26%	24%	27%
Aquecimento de água	3%	0%	1%	6%	6%	1%	3%
Iluminação	32%	23%	49%	57%	46%	41%	39%
Cocção	1%	1%	0%	1%	0%	0%	1%
Refrigeração	4%	60%	4%	6%	7%	5%	11%
Outros	16%	7%	10%	14%	15%	29%	19%

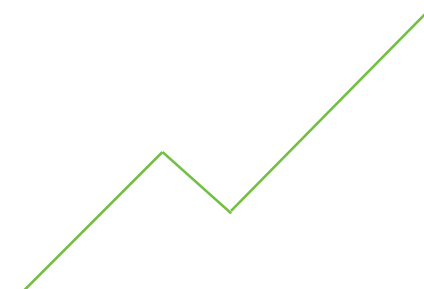


Bases de Dados

- Consumo de Energia (agregado)
 - Balanço Energético Nacional - EPE
- Demografia e economia
 - IBGE (POF, PNAD, Censo), EPE, IPEADATA
- Iluminação (inclusive pública)
 - Abilumi, Abilux, AliceWeb, Procel, MME (PNEf)
- Climatização
 - ABRAVA, PROCEL/ELETROBRAS, IBGE (PNAD), INMETRO, REDEMET
- Refrigeração
 - PROCEL/ELETROBRAS, IBGE (PNAD), INMETRO
- Cocção
 - IBGE (PNAD), MME (BEU), EPE (BEN e PNE 2050), INMETRO (PBE)
- Aquecimento de água
 - ELETROBRAS (Procel) , MME (BEU), EPE (BEN e PNE 2050), INMETRO (PBE)
- Outros usos
 - Procel, IBGE (POF, PNAD, PAP), INMETRO
- Geração Distribuída
 - SWERA, IBGE, ANEEL e BACEN
- Emissões
 - IPCC (Guidelines), MCTI (Fator emissão grid)



Mitigação no Setor de Edificações





Mitigação no Setor de Edificações

- Medidas de mitigação no setor de edificações
 - Eficiência energética
 - Mudança de combustíveis
 - Mudanças estruturais
 - Padrões de construção
 - Mudanças comportamentais
 - Geração Distribuída



Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

- Iluminação
 - Consumo de eletricidade no setor residencial (Ano 2012): 117.646 GWh → 23% consumo total de eletricidade
 - Consumo de eletricidade no setor comercial e serviços (Ano 2012): 79.809 GWh e 39.919 GWh , respectivamente → 24,2% consumo total de eletricidade

Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

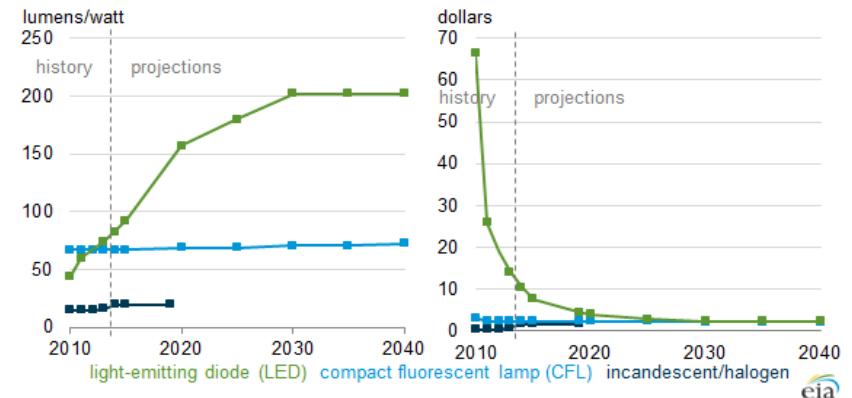
• Iluminação

Tecnologias atuais

Tipo de lâmpada	Eficácia luminosa (lm/W)	Vida (Horas)	Potência (W)
Incandescent	10 a 15	750	40-100
Dicróica	22	2000	20 a 50
Fluorescente tubular	55 a 75	8000 a 12000	11 a 23
Fluorescente compacta (LFC)	50 a 85		
Fluorescente circular	75 a 90		

Melhores Tecnologias Disponíveis

- Mercado internacional
 - Lâmpadas LED
 - Lâmpadas OLED



- Mercado nacional → Inmetro



Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

- Climatização
 - Segundo Eletrobrás (2009) no ano 2005 o condicionamento de ambientes representava 20% do consumo residencial e 47% do setor comercial e serviços
 - Crescimento significativo das vendas de ar-condicionado
 - 1,11 milhões de unidades em 1998 (67% tipo janela, e 0,44% tipo Split)
 - 4,35 milhões de unidades em 2013 (18% tipo janela, e 82% tipo Split)

Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações



Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil

• Climatização – Setor Residencial

Tecnologias atuais

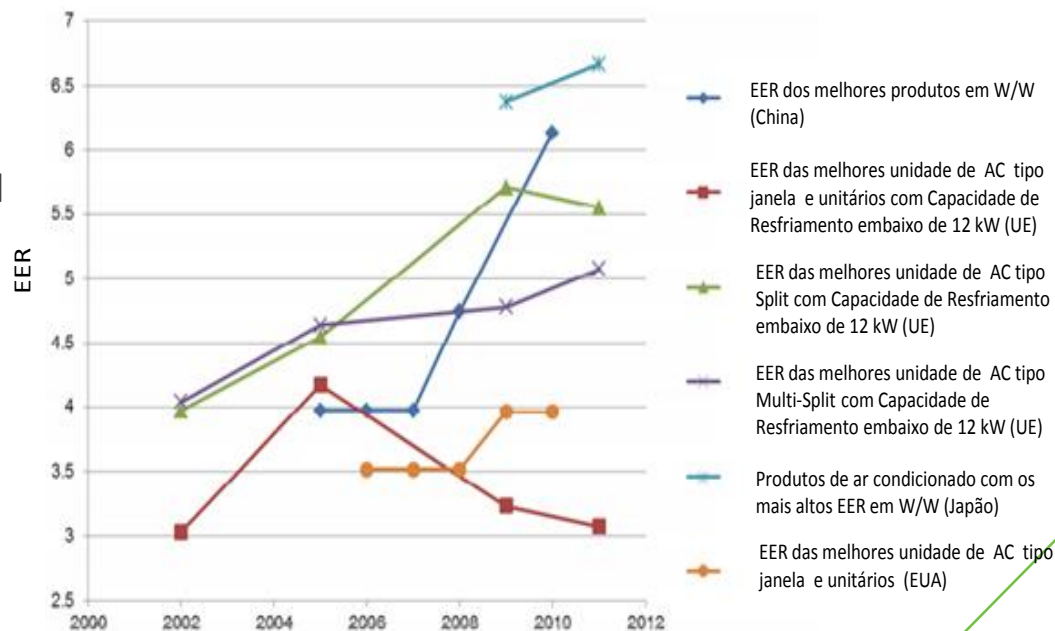
- Janela ou parede
- Portátil
- Split

Existem equipamentos no mercado nacional com PROCEL “A” nas seguintes faixas:

- Janela: De 2,8 a 2,3 EER
- Split: De 3,2 a 4,8 EER

Melhores Tecnologias Disponíveis

- Benchmarking com a UE, EUA, Japão e China



Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

• Climatização – Setor Comercial/Serviços

Tecnologias atuais

- Janela ou parede
- Split
- Sistemas centrais
- Equipamentos “self-contained”
- Equipamentos “rooftop”
- Sistemas de água gelada

Melhores Tecnologias Disponíveis

Opção	Descrição	% melhora em relação a um equipamento de ar-condicionado convencional	
		Min	Max
Trocador de calor eficiente	Trocadores de calor de micro-canal de alta eficiência, trocadores de calor de maior tamanho	9,1%	28,6%
Compressores eficientes	Compressores rotativos de duas etapas, compressores de alta eficiência com motores de CC	6,5%	18,7%
Inversor/Velocidade Variável	CA, CA/DC ou compressores com inversor a CC.	20,0%	24,8%
Válvula de expansão	Válvulas de expansão termostáticas e eletrônicas	5,0%	8,8%
Aquecedor de cárter	Redução de potência e duração de aquecedor do cárter	9,8%	10,7%
Carga "Standby"	Cargas "standby" reduzidas	2,2%	2,2%
Total/Cumulativo		60,0%	72,0%

Não há etiquetagem para equipamentos de porte comercial



Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

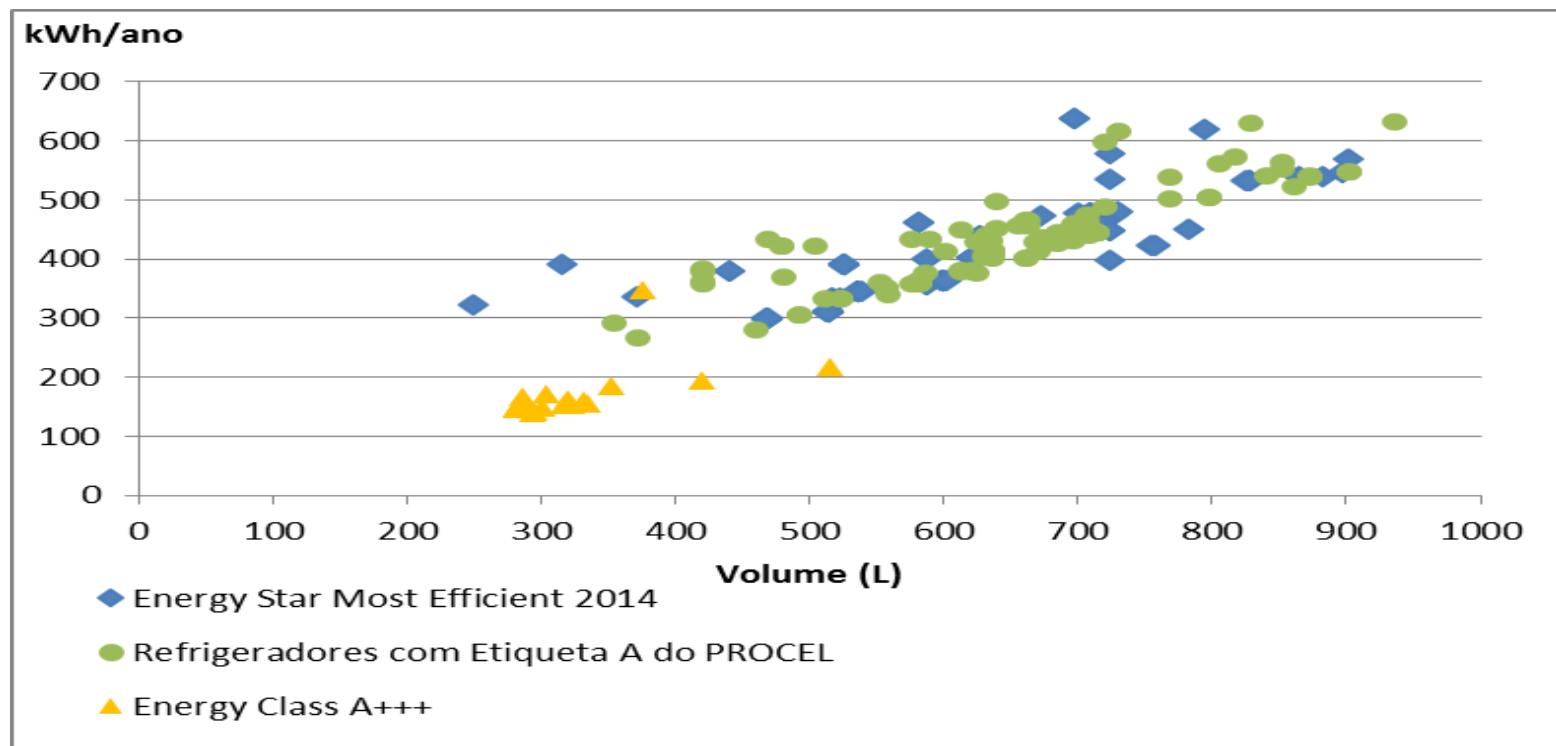
- Refrigeração
 - Segundo Eletrobras (2009) no ano 2005 o uso de refrigeração- geladeira e freezer- representava 20% do consumo residencial
 - Vendas em 2012:
 - 6,9 milhões de geladeiras
 - 1,7 milhões de freezers
 - Considera-se que 55% das vendas dessas duas categorias são de equipamentos que possuíam o Selo Procel (ELETROBRAS-PROCEL, 2013)

Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações



Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil

- Refrigeração – Setor Residencial



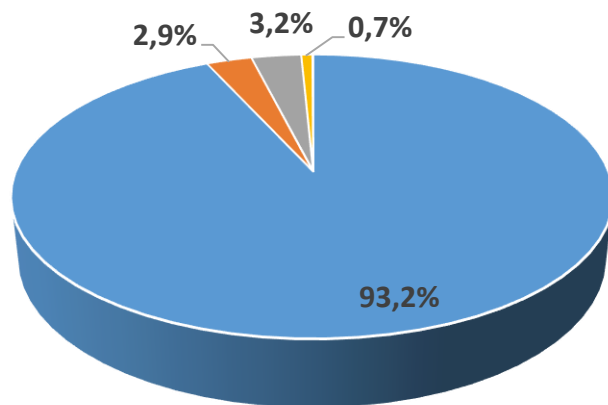
Consumo de energia anual vs capacidade dos refrigeradores ENERGY STAR Most Efficient, A+++ da União Europeia e etiqueta "A" do PROCEL



Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

- Cocção

- Principais fontes de energia utilizadas: GLP, gás natural, lenha e carvão vegetal
- A opção de uso por determinada fonte energética possui forte correlação com a renda dos consumidores
- 98,7% dos domicílios brasileiros possuem fogão



Utilização preferencial de combustível para cocção
- 2010

■ GLP ■ GN ■ Lenha ■ Carvão ■ Eletricidade ■ Outros

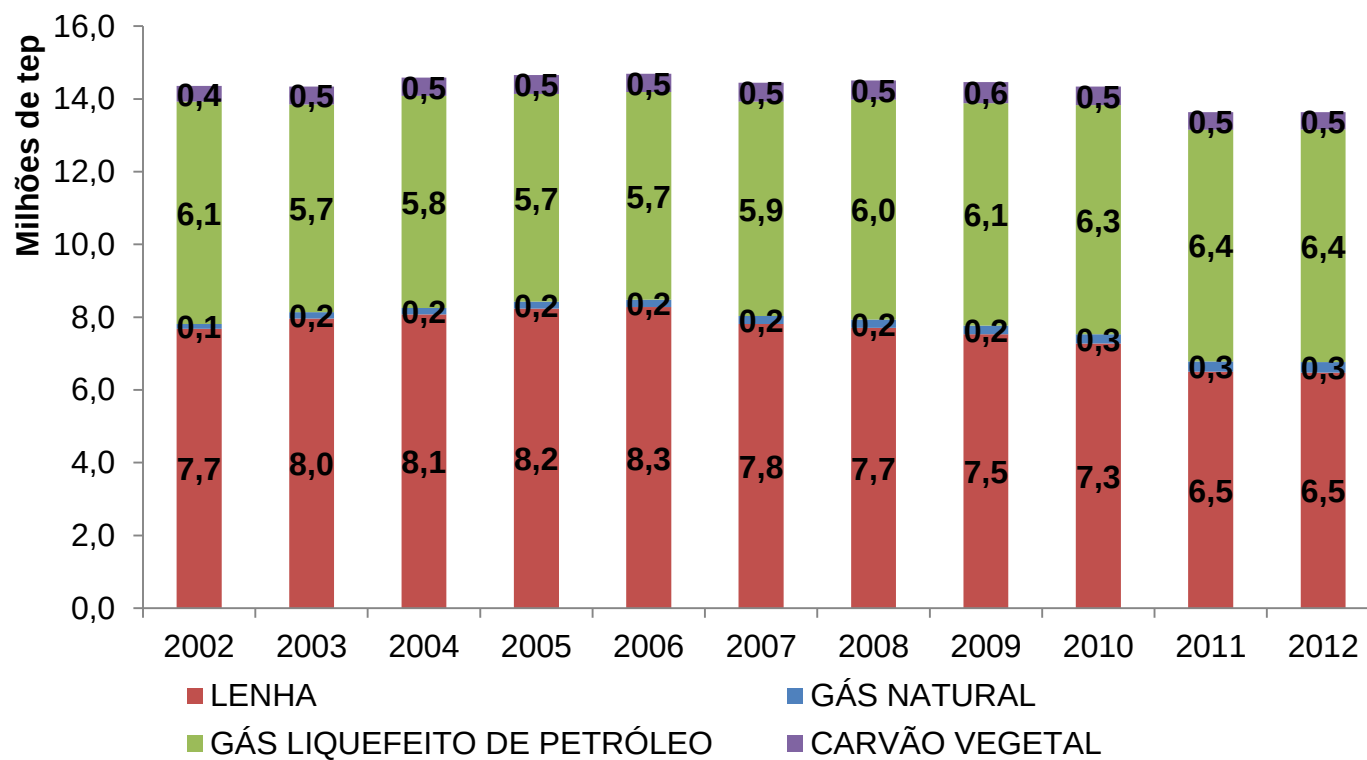
Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações



Opções de Mitigação de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Setores-Chave do Brasil

- Cocção

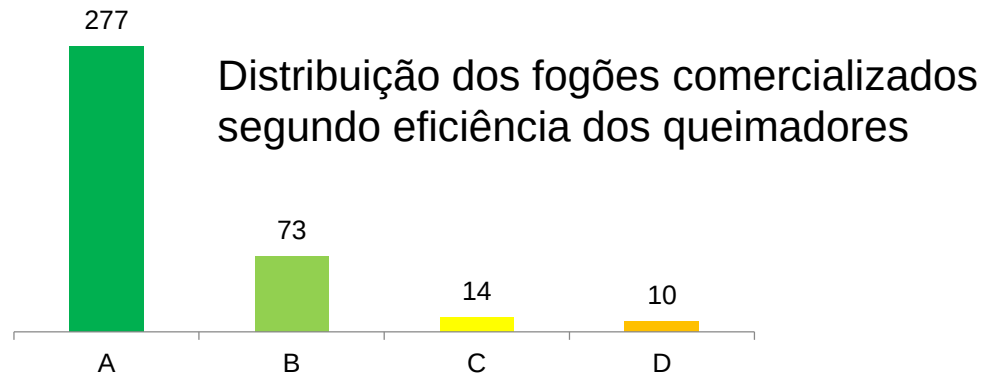
Evolução do consumo de energia para cocção no setor residencial 2002-2012





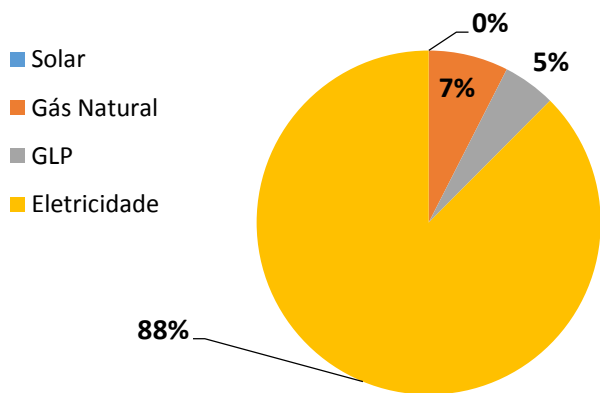
Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

- Cocção
 - Substituição de combustíveis – acesso
 - Tecnologias mais eficientes
 - A amostra INMETRO utilizada contempla 374 equipamentos com rendimento entre 57% e 66%
 - Os queimadores na faixa de eficiência A (eficiência superior a 63%) representam 74% dos equipamentos e possuem o selo CONPET de eficiência



Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

- Aquecimento de Água
 - As principais fontes utilizadas são a energia elétrica, o gás natural, o GLP e a energia solar
 - A opção de uso por determinada fonte energética possui forte correlação com a renda dos consumidores, a posse de equipamentos e a interligação às redes de distribuição de gás



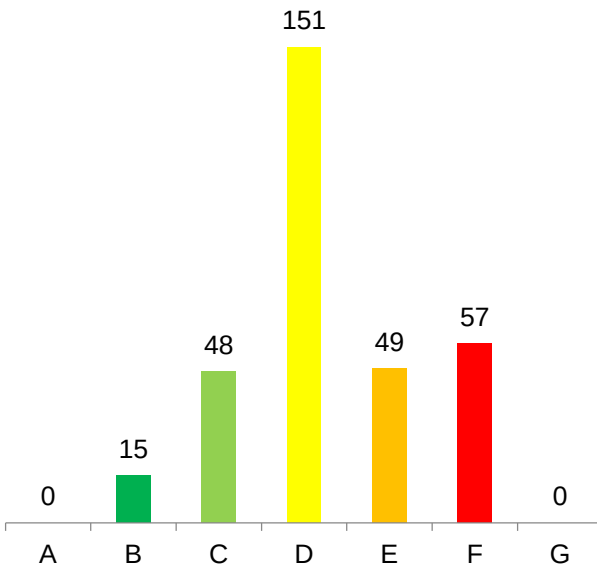
Participação dos energéticos no consumo de energia do aquecimento de água no setor residencial no ano de 2010



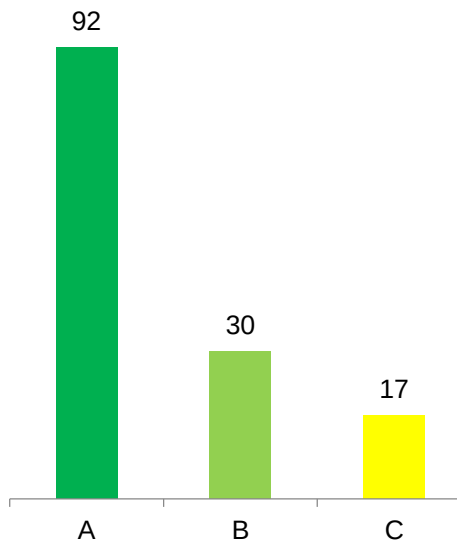
Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

- Aquecimento de Água
 - Substituição de combustíveis – acesso + infraestrutura
 - Tecnologias mais eficientes

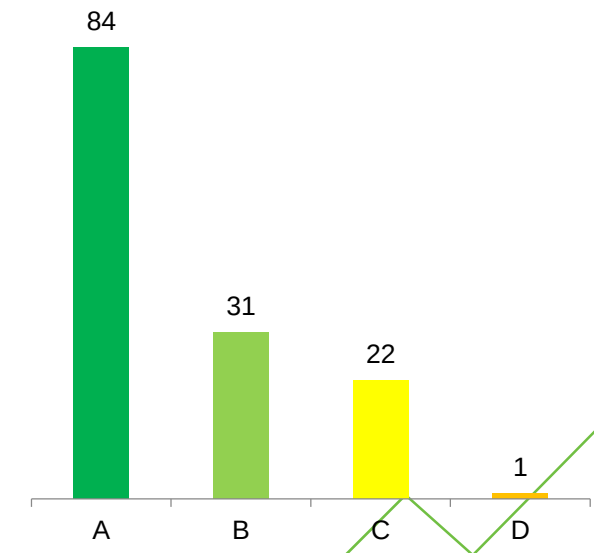
Distribuição dos chuveiros elétricos comercializados segundo a classe de potência do equipamento (número de modelos etiquetados)



Distribuição dos aquecedores instantâneos a GLP comercializados por faixa de eficiência (número de equipamentos etiquetados)



Distribuição dos aquecedores instantâneos a GN comercializados por faixa de eficiência (número de equipamentos etiquetados)





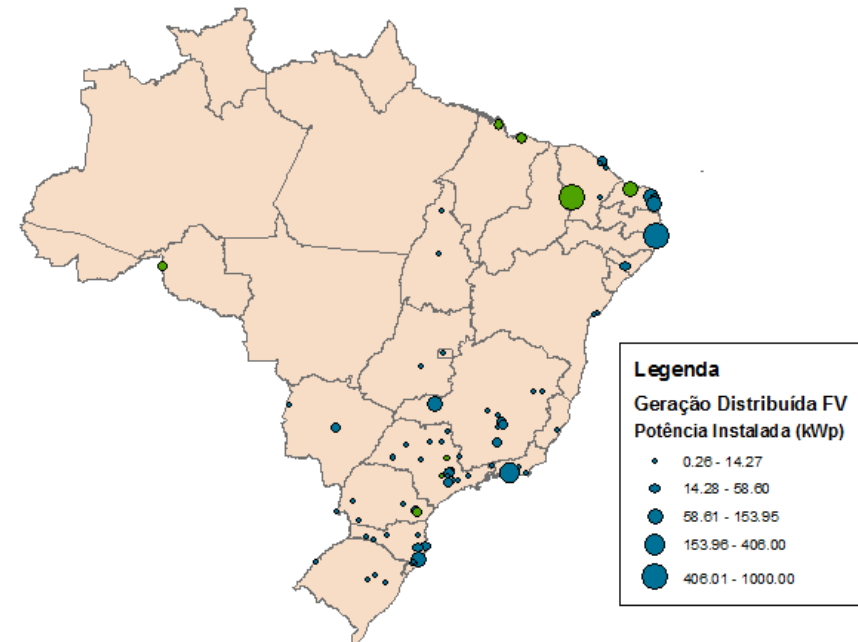
Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

- Aquecimento de Água
 - Sistemas de Aquecimento Solar
 - Coletor Fechado
 - Normalmente aplicado para o banho, mas também para uso na cozinha e outras atividades.
 - Atinge temperatura na faixa de 50°C a 80 °C.
 - Coletor Aberto
 - Normalmente empregado no aquecimento de piscinas, onde a temperatura demanda não é muito elevada
 - Atinge temperatura na faixa de 26°C e 30°C
 - Coletor Tubular à Vácuo
 - Normalmente aplicado na indústria, locais onde a temperatura externa é baixa e/ou com baixa radiação solar ou atividades onde a demanda de água de alta temperatura
 - Atinge temperatura na faixa de 100°C a 150°C



Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

- Geração Distribuída – Solar Fotovoltaica
 - Geração Distribuída FV Conectada à Rede
 - A resolução nº 482/12
 - Compensação: Net Metering
 - Unidades de até 1 MW
 - Capacidade Instalada Atual
 - 2,34 MW (Res nº 482)
 - 4,0 MW



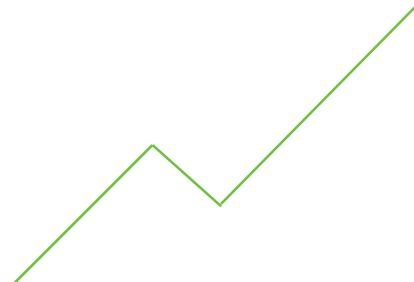


Opções Tecnológicas para Mitigação em Edificações

- Geração Distribuída – Solar Fotovoltaica
 - Tecnologias Disponíveis
 - Potência usual de 1-5 kW (comércio e residência), mas pode atingir valores maiores
 - A tecnologia mais utilizada em todo o mundo são células de silício cristalino, entre material monocristalino (40%) e policristalino (40%). A eficiência do módulo é de 13-19% (m-Si) e 11-15% (p-Si).
 - O silício amorfo (a-Si) tem menor eficiência de conversão, no entanto apresenta boa performance em dias nublados, devido sua resposta ao espectro solar. Apresenta também menor perda de conversão com o aumento da temperatura ambiente.
 - O telureto de cádmio (CdTe) tem maior eficiência que o silício amorfo e apresenta ainda menor gasto energético em sua produção. Por outro lado, deve-se atentar ao seu descarte em função da presença de cádmio.



Processo Decisório para Adoção de Medidas de Mitigação



Custo de Abatimento

- Custo de abatimento:
 - custo incorrido para que seja abatida uma unidade de gás de efeito estufa → \$/tCO₂e.
- Cálculo do Custo de Abatimento:
 - Escala de análise: uso final, segmento, setor, país, etc...
 - Período de análise e ano base (ex. 2010-2050).
 - Linha de base: conformação atual do objeto de análise.
 - Linha de base: cenário que reflete as escolhas tecnológicas e de comportamento em circunstâncias correntes, usuais (business as usual – BAU), desconsiderando, portanto, quaisquer intervenções de cunho mitigatório (políticas de baixo carbono)
 - Levantar opções de mitigação disponíveis dentro do horizonte de análise e seus parâmetros técnicos, econômicos, financeiros e emissões.



Custo de Abatimento

- Cálculo do Custo de Abatimento:
 - Parâmetros técnicos:
 - Ganhos de eficiência;
 - Insumos utilizados.
 - Parâmetros econômicos:
 - Custos de investimento (equipamentos, novo sistema, nova unidade, etc);
 - Custos de operação e manutenção (fixos e variáveis);
 - Custos de combustíveis;
 - Custo do carbono;
 - Receitas.
 - Parâmetros financeiros:
 - Vida útil do projeto;
 - Taxa de desconto.
 - Emissões de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O, etc...) evitadas.



Custo de Abatimento

- Determinação do Custo de Abatimento (CA) 2010-2050:

$$CA = \frac{\sum_{i=2010}^{2050} Custos_i}{\sum_{i=2010}^{2050} Emissões Evitadas_i}$$

- Os custos incorridos refletem, na verdade, um delta de custos entre o cenário de baixo carbono e o cenário de referência, **trazido a valor presente**;
- As emissões evitadas refletem um delta de emissões entre o cenário de baixo carbono e o cenário de referência.

$$CA = \frac{\sum_{i=2010}^{2050} \Delta Custos_{BCxLB_i}}{\sum_{i=2010}^{2050} \Delta Emissões_{BCxLB_i}}$$

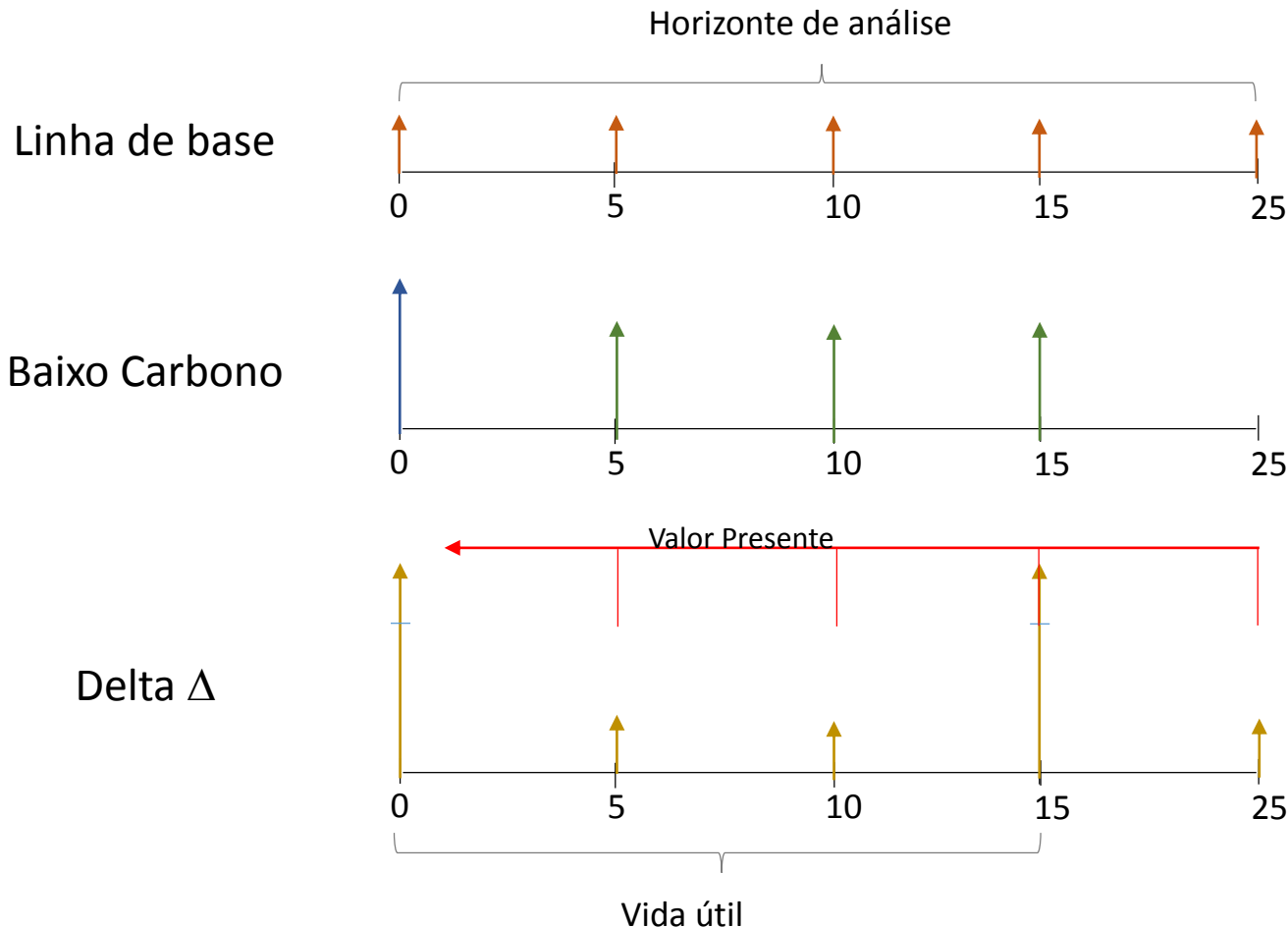
$C_i^{Abatimento} - C_i^{Base}$

$E_i^{Base} - E_i^{Abatimento}$

- Os custos devem ser obtido em valor presente pelo método do valor presente líquido.

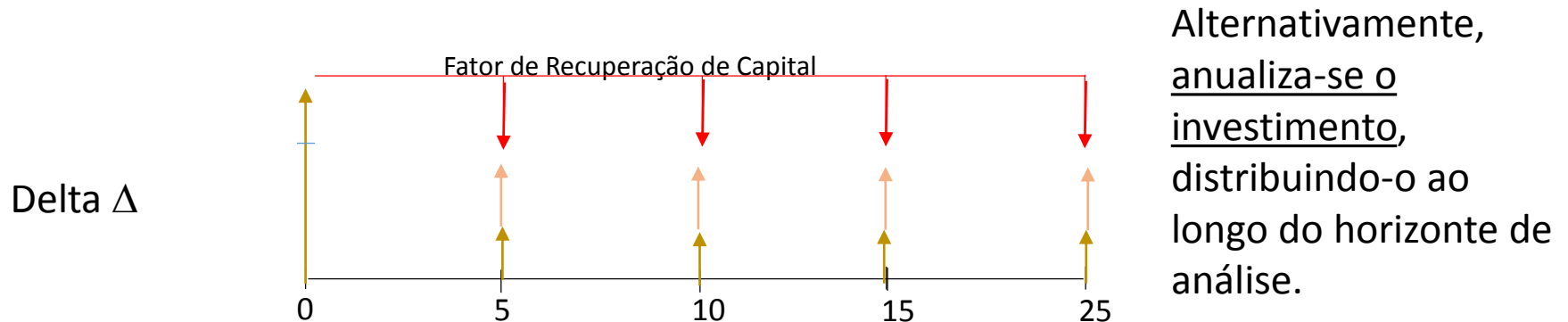
Custo de Abatimento

- Horizonte de análise vs. Tempo de vida útil do projeto:



Dentro do método VPL, o valor deve ser obtido considerando-se o horizonte de análise, havendo a necessidade de se repetir o investimento posteriormente se $V_{\text{útil}} < T_{\text{análise}}$.

Custo de Abatimento



Assim:

Investimento Nivelado (IN) = Investimento Total (IT) X Fator de Recuperação de Capital (FRC)

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

E, dessa forma, o custo de abatimento da opção de mitigação em determinado período é dado por:

$$C_i = (IT * FRC) + O\&M_i + Fc_i + R_i$$

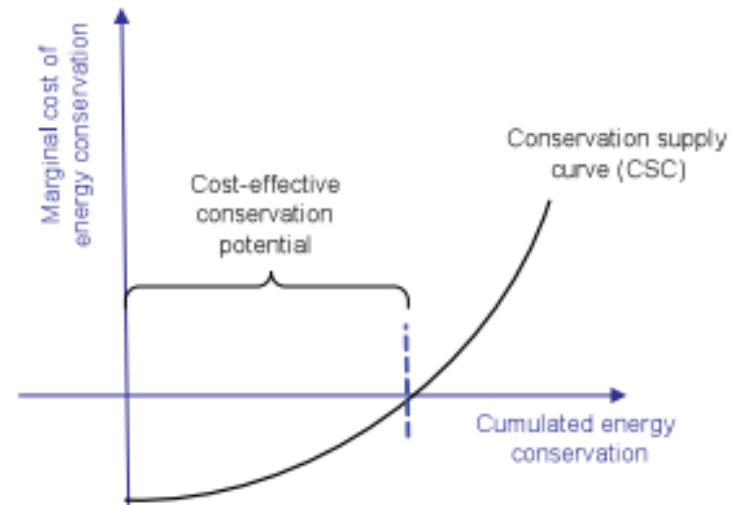
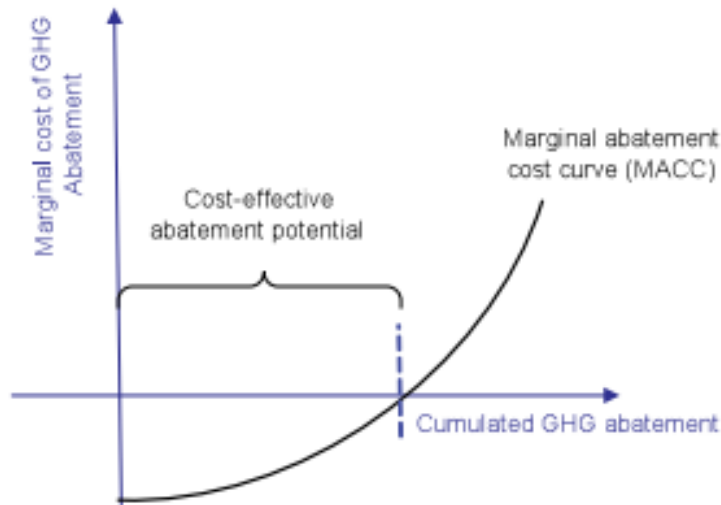


Custo Marginal de Abatimento

- O custo marginal de abatimento (*Marginal Abatement Cost* - MAC) representa os custos extras, ou marginais, atrelados a potenciais de redução de emissões em relação a uma linha de base.
 - ordenamento das opções de mitigação segundo seus custos



- Lógica semelhante ao custo de conservação de energia:

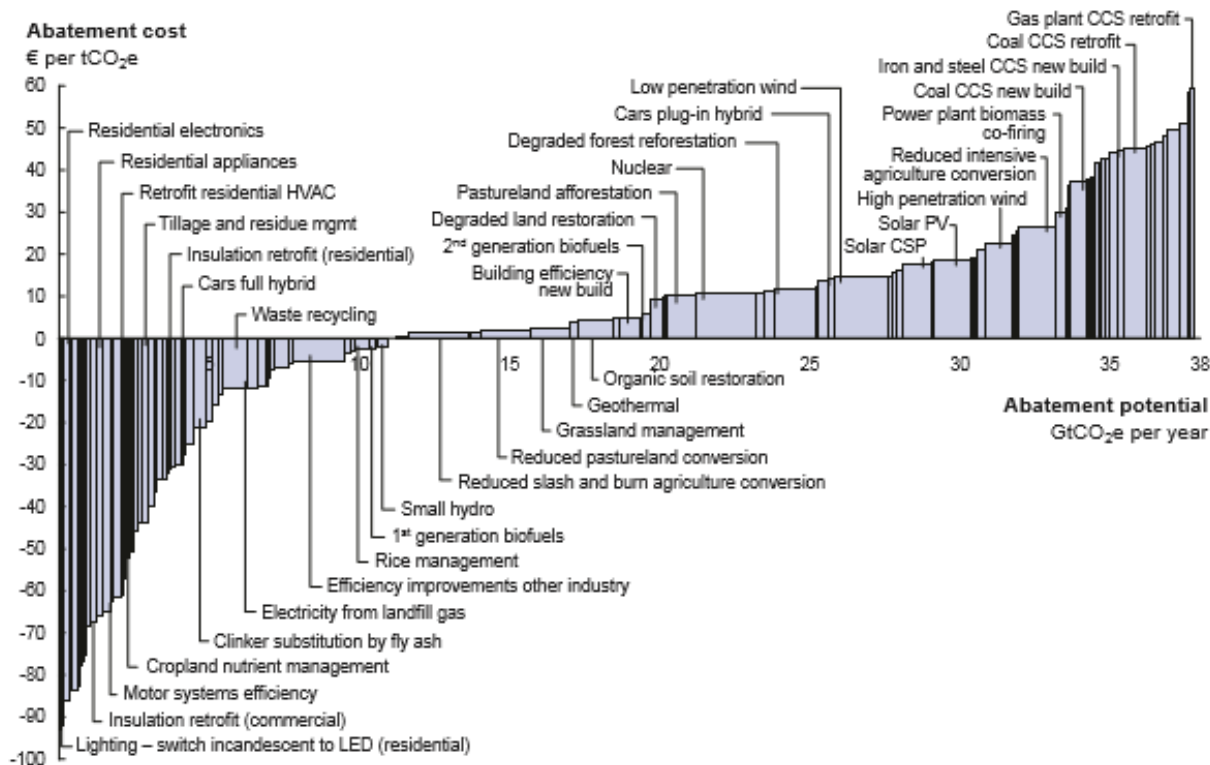


- Um ponto na curva representa o custo marginal para se abater uma unidade adicional de GEE.
- A área abaixo da curva indica o custo total de abatimento da quantidade q de GEE.



- Exemplo: MAC Curve Global de McKinsey&Co. (2009):

Global GHG abatement cost curve beyond business-as-usual – 2030

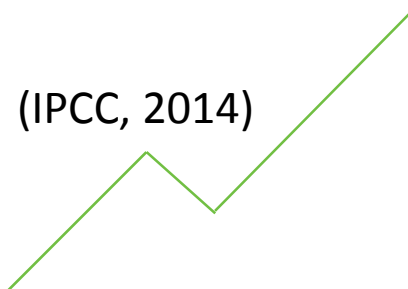


Note: The curve presents an estimate of the maximum potential of all technical GHG abatement measures below €60 per tCO₂e if each lever was pursued aggressively. It is not a forecast of what role different abatement measures and technologies will play.
Source: Global GHG Abatement Cost Curve v2.0



- Há grandes barreiras à penetração de medidas de abatimento no setor de edificações
 - Heterogeneidade e fragmentação do setor
 - Informação imperfeita
 - Custos de transação
 - Altas taxas de desconto/ falta de acesso a financiamento
 - Subsídios energéticos
 - Problema agente-principal
 - Etc.

(IPCC, 2014)





- Por outro lado, medidas de mitigação no setor de edificações podem ter diversos co-benefícios (IPCC, 2014):
 - Segurança energética
 - Menor gasto com subsídios para energia
 - Saúde
 - Benefícios ambientais locais
 - Aumento de produtividade e renda
 - Valorização das edificações
 - Melhores serviços energéticos



- Setor Comercial e de Serviços
 - Análise custo benefício (ótica privada – teoria da firma)
 - Sensível a preço de energia
- Setor Público
 - Análise custo benefício (ótica administração pública)
 - Pouco sensível a preço de energia
- Setor Residencial
 - Análise custo benefício (ótica privada – teoria do consumidor)
 - Pouco sensível a preço de energia



- Estudos indicam que preços de CO₂ precisam ser muito altos e mantidos por um longo tempo para surtirem efeitos em edificações
 - Preços têm menos efeito que programas e regulações (C&C)
- Consumidores são agentes dispersos e não-coordenados (assim como equipamentos)
- Dificuldades em se conhecer a taxa de desconto com a qual os consumidores residenciais tomam suas decisões



Obrigado

andrelucena@ppe.ufrj.br