



Comissão para as Alterações Climáticas
Comité Executivo
FUNDO PORTUGUÊS DE CARBONO



RNBC 2050

Roteiro Nacional de Baixo Carbono

Modelação de gases com
efeito de estufa:

ENERGIA E RESÍDUOS



E.VALUE

E.VALUE | Estudos e Projectos em Ambiente e Economia S.A.

www.evalue.pt



CENSE | Center for Environmental and Sustainability Research

www.cense.fct.unl.pt

Janeiro 2012

EQUIPA

E.VALUE	CENSE
Júlia Seixas Coordenação	Patrícia Fortes Energia & Processos Industriais
Rui Dinis Resíduos	Luís Dias Energia & Processos Industriais
Bernardo Alves Transportes	Sofia Simões Cenários Macroeconómicos
Pedro Baptista Gases Fluorados	João Pedro Gouveia Procura de serviços de energia



E.VALUE | Estudos e Projectos em Ambiente e Economia S.A.
www.evalue.pt



CENSE | Center for Environmental and Sustainability Research
www.cense.fct.unl.pt

NOTA DE ABERTURA

A comunicação feita pela Comissão Europeia (CE) sob o título *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, apresenta a necessidade de a União Europeia ter de reduzir internamente as suas emissões domésticas em 80% em 2050, face a 1990, no sentido de se concretizar uma transição para uma economia de baixo carbono. Mostra ainda que reduções domésticas de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em 40% em 2030 e em 60% em 2040 são custo-eficazes. A análise feita para a União Europeia mostra a necessidade de um investimento adicional, público e privado, de cerca de 270 mil milhões de euros anualmente, o que representa cerca de 1.5% do PIB da EU a adicionar anualmente ao investimento atual em curso.

A visão expressa naquele documento constitui o quadro de referência para instituições Europeias, Estados-membros, países candidatos e agentes em geral, na definição de políticas no sentido de se atingir o desígnio de uma economia Europeia de baixo carbono em 2050. Neste sentido, a Comissão Europeia aconselha os Estados-Membros a desenvolverem o seu próprio Roadmap, adaptado às circunstâncias nacionais.

A Resolução de Conselho de Ministros n.º 93/2010, de 26 de Novembro, formalizou o início dos trabalhos para o desenvolvimento de um conjunto de instrumentos de política das alterações climáticas, a saber (i) Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC), que deverá estar aprovado até Dezembro de 2011; (ii) Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2020); (iii) Planos Sectoriais de Baixo Carbono (PSBC), ambos aprovados até Dezembro de 2012.

O presente documento sistematiza os resultados obtidos a partir de um conjunto organizado e sequencial de exercícios de modelação do sistema energético Português e identifica a exequibilidade de cenários de Baixo Carbono de longo-prazo, segundo o critério de custo-eficácia, nomeadamente os seus drivers tecnológicos e formas de energia. São avaliadas trajetórias de emissões de gases com efeito de estufa para 2050, para dois cenários socioeconómicos contrastados, cenários de evolução tecnológica e de preços de energia primária, contemplando as seguintes sectores de atividade: energia e processos industriais, distinguindo as emissões abrangidas pelo CELE (Comércio Europeu de Licenças de Emissão) e as não abrangidas pelo CELE; transportes, distinguindo o transporte de pessoas e mercadorias; residencial e serviços; agricultura, pecuária e florestas, no que se refere à componente de consumo de energia; gestão e destino final de resíduos e águas residuais; e gases fluorados.

Nota: Todos os gráficos e quadros apresentados decorrem de análise CENSE e E.Value, exceto quando referido o contrário.

Este estudo foi encomendado e financiado pelo Comité Executivo da Comissão para as Alterações Climáticas. As visões e opiniões expressas neste relatório são as dos autores e não refletem necessariamente a política oficial ou posição do Governo Português.

Qualquer dúvida, comentário ou informação sobre o presente documento deve ser dirigido a Prof. Júlia Seixas, mjs@fct.unl.pt ou jseixas@evalue.pt.

ÍNDICE

SUMÁRIO	7
A1. ÂMBITO E OBJECTIVO	9
A2. PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO RNBC	10
A.3. CENÁRIOS SOCIO-ECONÓMICOS PARA 2050	12
Caracterização dos cenários sócio-económicos	12
Dimensão média das famílias e primeiras habitações	18
PARTE I: ENERGIA e PROCESSOS INDUSTRIAIS	19
I.1. METODOLOGIA DE MODELAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA	20
I.1.1. ESTIMATIVA DE PROCURA DE SERVIÇOS DE ENERGIA: CENÁRIOS ALTO E BAIXO	20
I.1.2. TIMES_PT	22
I.1.2. CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E CONDIÇÕES DE FRONTEIRA	23
I.1.3. CENÁRIOS ROTEIRO NACIONAL DE BAIXO CARBONO	27
I.2. ROTEIRO NACIONAL DE BAIXO CARBONO	29
I.2.1. VIABILIDADE TECNOLÓGICA PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO EM PORTUGAL	29
I.2.2. VIABILIDADE ECONÓMICA PARA CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO EM PORTUGAL	35
I.2.3. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA ENERGÉTICO NACIONAL EM CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO	36
I.2.4. O PAPEL DOS RECURSOS ENERGÉTICOS ENDÓGENOS E DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA	42
I.2.5. REDUÇÃO CUSTO-EFICAZ NOS SECTORES DE ACTIVIDADE ECONÓMICA	44
I.2.6. IMPACTOS ADICIONAIS DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO PARA PORTUGAL	58
I.2.7. INDICADORES SÍNTESE PARA 2020	61
PARTE II: RESÍDUOS E ÁGUAS RESIDUAIS	63
II.1. METODOLOGIA DE MODELAÇÃO	64
II.1.1. INTRODUÇÃO	64
II.1.2. CENÁRIOS DE DESENVOLVIMENTO SECTORIAL	65
II.2. ROTEIRO NACIONAL DE BAIXO CARBONO: RESÍDUOS	68
II.2.1. NÍVEIS DE ACTIVIDADE	68
II.2.2. EMISSÕES	73
Referências	77

Índice de Quadros

Quadro 1: Níveis de redução de emissões de GEE a longo prazo na EU-27	9
Quadro 2: Exemplos de PIB projectados para Portugal e Europa	12
Quadro 3: Taxa de Crescimento Anual do PIB (%)	13
Quadro 4: Taxa de crescimento anual da População (%)	13
Quadro 5: Estrutura do VAB (% de cada um dos grupos sectoriais no VAB total)	16
Quadro 6: Taxa de Crescimento Anual do VAB	17
Quadro 7: Dimensão média da família	18
Quadro 8: Número de primeiras habitações (milhares)	18
Quadro 9: Preço do barril de petróleo utilizados no estudo <i>Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050</i>	25
Quadro 10: Curvas de custo para o recurso biomassa importada	25
Quadro 11: Potenciais de recursos endógenos para a produção de electricidade renovável	26

Quadro 12: Capacidade total imposta com investimentos decididos em construção/projetados (GW)	28
Quadro 13: Emissões sectoriais de GEE	33
Quadro 14: Emissões de GEE abrangida e não abrangidas pelo Comércio de Licenças de Emissão	34
Quadro 15: Custos adicionais para os cenários de redução, face a cenários sem qualquer objectivo de redução	35
Quadro 16: Custos adicionais (M€ ₂₀₁₀) de importação de energia primária face aos cenários sem meta de redução	35
Quadro 17: Custos de importação adicionais (M€ ₂₀₁₀) face aos registados em 2010 para as principais <i>commodities</i> importadas	36
Quadro 18: Custos de redução de CO ₂ (€ ₂₀₁₀ /t CO ₂ mitigado)	36
Quadro 19: Taxa de crescimento anual do PIB (%).....	58
Quadro 20: Reduções na procura de serviços de energia e materiais para os cenários com meta de redução face aos cenários sem meta (total entre 2030 e 2050) [Baixo a Alto] obtidas através do modelo TIMES_PT	58
Quadro 21: Valores de emprego gerado por sector (Cenário Baixo a Cenário Alto)	59
Quadro 22: Redução de emissões de SO ₂ de um cenário de baixo carbono face a um cenário sem meta de redução, e respectiva redução do custo de dano.....	60
Quadro 23: Redução de emissões de NO _x de um cenário de baixo carbono face a um cenário sem meta de redução, e respectiva redução do custo de dano.....	61
Quadro 24: Indicador de eficiência energética.....	61
Quadro 25: Indicadores de energia renovável	61
Quadro 26: Indicadores de emissões de GEE (*Energia e Processo industriais incluindo emissões fugitivas e Fgases).....	62
Quadro 27: Indicadores de emissões de GEE (Cenários de Referência e Análise de sensibilidade)	62
Quadro 28: Organização do Sector dos Resíduos.....	65
Quadro 29: Cenários de produção e gestão de RU.....	68
Quadro 30: Águas Residuais Domésticas: Níveis de atividade	71
Quadro 31: Sector dos Resíduos: Emissões de GEE (Cenário Baixo).....	76
Quadro 32: Sector dos Resíduos: Emissões de GEE (Cenário Alto).....	76

Índice de Figuras

Figura 1: Cronograma e organização das tarefas de suporte ao RNBC.....	11
Figura 2: Workflow metodológico do Roadmap 2050.....	11
Figura 3: Índice de crescimento do PIB a preços constantes (2006) (2000=100)	14
Figura 4: Índice de crescimento da população residente em Portugal (2000=100)	14
Figura 5: Índice de crescimento do indicador PIB per capita (2000=100)	14
Figura 6: Estrutura sectorial dos VABs para 2010, e ilustrativa dos cenários Baixo e Alto para 2050	15
Figura 7: Crescimento do VAB para os Cenários Alto e Baixo.....	16
Figura 8: Evolução da procura global de serviços de energia para os diversos sectores (esq.) e procura de materiais na indústria (dir.).....	21
Figura 9: Evolução da procura de serviços energia nos edifícios (Domésticos e Serviços) (esq) e de mobilidade (dir).....	21
Figura 10: Representação esquemática do modelo TIMES_PT.....	23
Figura 11: Cenário de preços de energia primária (Fonte: 2010 – DGGE; restantes anos – WEO2011, IEA).....	25
Figura 12: Trajetória das emissões de GEE para os cenários de baixo carbono, e para um cenário sem metas de redução. (Porcentagem das emissões de GEE em 2050 face às emissões de 1990).....	30
Figura 13: Evolução das emissões de GEE per capita no período 1990 a 2050	31
Figura 14: Evolução da intensidade carbónica do PIB no período 1990 a 2050	31
Figura 15: Evolução sectorial das emissões de GEE (1990=100%), em cenários de redução de 60% e de 70%, e comparação com o cenário sem meta de redução.	32
Figura 16: Diagrama do balanço energético em 2010	37
Figura 17: Diagrama do balanço energético em 2050 para o cenário CB60.....	38
Figura 18: Diagrama do balanço energético em 2050 para o cenário CA60.....	39
Figura 19: Diagrama do balanço energético em 2050 para o cenário CB70.....	40
Figura 20: Diagrama do balanço energético em 2050 para o cenário CA70.....	41
Figura 21: Consumo de energia primária, recursos endógenos em valores positivos e balanço líquidos de recursos importados em negativos (em cima, cenários de redução 70%; em baixo cenários de redução 60%).....	43
Figura 22: Capacidade instalada para produção de electricidade (dedicada + cogeração) (em cima, cenários de redução 70%; em baixo cenários de redução 60%).....	45
Figura 22: Produção Líquida de electricidade (dedicada + cogeração) (em cima, cenários de redução 70%; em baixo cenários de redução 60%).....	46
Figura 23: Evolução do factor de emissão do kWh.....	47

Figura 24: Consumo sectorial de electricidade mais exportações, com indicação do peso dos sectores no consumo total (exportações não incluídas na determinação do peso)	48
Figura 25: Evolução e estrutura do consumo de energia final nos edifícios residenciais e de serviços (valores percentuais indicam a percentagem do consumo de electricidade no total de energia final consumida no sector) (em cima cenário de redução 70%; em baixo cenário de redução 60%).	50
Figura 26: Evolução e estrutura do consumo de energia final na indústria (CHP não incluída) (valores percentuais indicam a percentagem do consumo de electricidade no total de energia final consumida no sector) (cenário de redução 70% em cima; cenário de redução 60% em baixo).	53
Figura 27: Evolução e estrutura do consumo de energia final nos transportes (rodoviário, ferroviário, aviação e navegação nacional) (valores percentuais indicam a percentagem do consumo de electricidade no total de energia final consumida no sector).....	56
Figura 28: Evolução da dinâmica de derivados de petróleo (a) gasóleo (b) gasolina (exportação representada em valores negativos) para os vários cenários analisados.	57
Figura 29 Emissões GEE (1990=100%) [Fonte: CQNUAC].....	64
Figura 30 – Cenários de produção e gestão de RSU	68
Figura 31 – Balanço de Gestão de RU (2020-2050)	69
Figura 32: Resíduos Industriais (RI): Níveis de actividade.....	70
Figura 33: Águas Residuais Domésticas: Níveis de atividade.....	71
Figura 34: Águas Residuais Industriais: Níveis de atividade.....	72
Figura 35: Sector dos Resíduos: Emissões de GEE	73
Figura 36: Sector dos Resíduos: Emissões GEE por subsector.....	73
Figura 37: Contribuição das emissões pré-2005	74
Figura 38: Contribuição (2010-2050) dos subsectores para as emissões de GEE 6A1 – Deposição solo RSU 6A2 – Deposição solo: RI 6B1 – Águas Residuais Domésticas 6B2 – Águas Residuais Industriais 6C/1A1 – Incineração/Valorização Energética de RSU e CDR 6D – Tratamentos Biológicos (Compostagem e Digestão anaeróbia)	75

SUMÁRIO

O Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC2050), formalizado na Resolução do Conselho de Ministros n.º 93/2010, é um instrumento que permite a análise de trajetórias alternativas, em função de um quadro de informação e de condições determinados *à priori*, conducentes a uma economia de baixo carbono até 2050. A visão subjacente ao RNBC2050 é a que decorre da comunicação feita pela Comissão Europeia (CE) em Março de 2011, sob o título *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, e que apresenta a necessidade da União Europeia reduzir internamente as suas emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em 80% em 2050, face a 1990, no sentido de se concretizar uma transição para uma economia de baixo carbono, com vista à estabilização do sistema climático global.

O RNBC2050 recorre a métodos de projecção e cenarização, específicos para grandes componentes. Para o caso do sistema energético é utilizado o modelo de equilíbrio parcial TIMES_PT, um modelo de optimização de todo o sistema energético nacional validado por pares nacionais. Dado o longo horizonte temporal, é necessário lidar com a incerteza associada aos resultados, em parte porque a modelação se suporta em assumpções incertas, destacando-se o andamento do crescimento económico, a dimensão dos esforços globais na mitigação das alterações climáticas, os desenvolvimentos geopolíticos, a evolução dos preços da energia no mercado mundial, a disponibilidade de recursos naturais, e as alterações sociais e percepção pública. Devem assim merecer atenção as opções tecnológicas e a mudança de paradigma, mais do que os valores absolutos em si, sobretudo para o período posterior a 2030. A cenarização suporta-se em dois cenários macro-económicos contrastantes – cenário ALTO e cenário BAIXO - que pretendem representar, respectivamente, o limite superior e inferior do desenvolvimento económico, a que corresponderá padrões contrastados, de necessidades de serviços de energia. Enquanto o primeiro cenário conta com uma evolução mais arrojada do PIB (3%/ano para o período 2016 a 2050) e um aumento da população, o segundo pauta-se por um crescimento económico anémico (1%/ano para o período 2016 a 2050) e por um decréscimo da população. Sobre estes cenários são impostos tetos de emissões de gases com efeito de estufa em 2050 correspondendo a reduções de 60% e de 70% face às emissões do sistema energético em 1990 (emissões fugitivas e gases fluorados não incluídos). A redução de 70% é comparável ao cenário considerado a nível Europeu no estudo supramencionado, pelo que se privilegia a apresentação dos respectivos resultados. Em todo o caso, sublinhe-se que os resultados obtidos para o cenário de redução de 60% são qualitativamente próximos pelo que não são explicitados nesta secção. Assim, identificam-se diferentes paradigmas tecnológicos para a produção energética e para os sectores consumidores, de forma a obter uma gama de resultados para análise (potencialidades e restrições) que constituem um intervalo em que o futuro verosímil se poderá vir a situar.

No que se refere ao sistema energético Português, pode afirmar-se que é tecnologicamente exequível (i. e. há opções

tecnológicas custo-eficazes) a sua evolução para uma economia de baixo carbono. Este caminho tem subjacente a substituição tecnológica nos vários sectores da economia, facto que é suportado por uma dinâmica económica pautada por investimentos diversos, e por alterações na balança comercial dos produtos energéticos. Estima-se a necessidade de um investimento adicional para todo o período analisado, face a um cenário sem qualquer meta de redução, na ordem dos 2 mil a 12 mil milhões de euros, correspondendo a 1 a 7% do PIB registado em 2010, para o cenário baixo e alto respectivamente. Estima-se uma poupança em 2050 em termos de balança comercial de produtos energéticos na ordem dos 500 milhões a 1.3 mil milhões de euros, para os dois cenários, caracterizada por um recuo significativo no consumo de combustíveis fósseis compensado, em parte, pela importação de bioenergia. O custo médio de redução de emissões de CO₂ evolui ao longo do período em análise (36€/tCO₂ em 2030, para cerca de 99€/tCO₂ em 2040 e para 197€/tCO₂ em 2050 para o cenário alto onde é mais exigente a redução de 70%). O custo marginal pode atingir valores muito elevados, sobretudo no período final, para os quais será necessário acomodar instrumentos adequados de forma a não representarem um impacto negativo nas actividades económicas onde se verificam.

Num cenário de baixo carbono, é expectável uma redução progressiva da dependência energética até atingir os 50% em 2050, com um potencial custo-eficaz significativo de recursos endógenos (37% em 2050 vs. 15% em 2010 do total da energia primária. No entanto, o novo paradigma energético, menos intensivo em emissões de CO₂, obrigará ainda à importação de recursos de bioenergia, sobretudo para utilização na indústria e nos transportes. Todos os sectores consumidores têm um potencial de redução de emissões de GEE significativo, sendo os sectores da produção de eletricidade e calor, e os transportes os que mais transformações sofrerão, permitindo reduções de emissões superiores a 80%, comparativamente às emissões verificadas em 1990. Os edifícios encerram um potencial de redução da ordem dos 70% e a indústria na ordem dos 40%. A eletricidade é o vector de descarbonização por excelência, em que o seu consumo mais que duplica no período 2010 a 2050, com ênfase para a indústria e transportes. Estima-se que a capacidade instalada renovável atingirá 90% e a produção renovável fornecerá quase 90% do total em 2050, com as tecnologias de solar PV (microgeração) competitivas (sem qualquer subsídio) a partir de 2030, o potencial de hídrica a esgotar-se em 2030 e o de eólica *onshore* em 2020, e as ondas e eólica *offshore* tornam-se tecnologias competitivas no cenário Alto de elevada procura de energia. A competitividade destas tecnologias ao longo do tempo deriva, para além da expectável evolução decrescente dos seus custos, do facto de se estar a impor um tecto de emissões de GEE ao sistema energético, o que gera um preço sombra associado às tecnologias que geram emissões.

A mobilidade, sobretudo a de passageiros, muda de paradigma, sendo a mobilidade eléctrica competitiva, logo em 2020, para o

caso dos veículos comerciais ligeiros que necessitam sobretudo de serviços de mobilidade de curta-distância. Para o caso dos veículos de passageiros, a mobilidade eléctrica é custo-eficaz a partir de 2030, com os veículos híbridos plug-in a gasolina a surgirem como a tecnologia mais competitiva, devido à sua elevada eficiência e à possibilidade de assegurar na totalidade o transporte em longa distância. Os biocombustíveis são competitivos, a partir de 2025, atingindo 43% do consumo total de energia em 2050. Globalmente, e devido sobretudo à mobilidade eléctrica, o sector dos transportes terá o consumo de energia reduzido em 40 a 50% em 2050 face a 2010, para os cenários alto e baixo respectivamente, enquanto a componente renovável representará cerca de 60%. Estima-se uma alteração estrutural na mobilidade de mercadorias devido à impossibilidade deste modo de transporte consumir derivados de petróleo pelas emissões de GEE que geram, o que justifica a opção pelos veículos a hidrogénio (gerado sobretudo a partir de gaseificação de biomassa), e os biocombustíveis, admitindo-se no período após 2040 a existência de veículos de mercadorias 100% fornecidos por biocombustíveis. Neste quadro, o sector da refinação de crude sofrerá um impacto muito significativo, com a redução da sua atividade para um nível equivalente à atual refinaria de Matosinhos.

Numa economia de baixo carbono, os edifícios são uma componente muito importante, com um potencial de redução de 70% face a 1990. Apesar do aumento da procura de serviços de energia em 45% no cenário Alto (mais população e maior crescimento económico), estima-se que o consumo de energia final se reduzirá pela adopção de tecnologias com elevado nível de eficiência energética (e.g. bombas de calor, leds na iluminação e equipamentos de classe A+). O consumo de eletricidade aumenta para 70% em 2050, comparando com 54% em 2010. O conforto térmico é assegurado sobretudo por bombas de calor, medidas de isolamento e renováveis (e.g. biomassa e solar térmico), e mais de 60% das necessidades energéticas para aquecimento de água são satisfeitas com tecnologias que utilizam recursos renováveis, designadamente solar térmico.

Perspectiva-se uma evolução para a indústria no sentido de redução muito significativa (cerca de 70% em 2050 face a 1990) das emissões de combustão, contrariando o aumento das emissões de processo (+48%), decorrentes do aumento da atividade industrial, sobretudo no cenário Alto em que se preconiza um crescimento económico significativo a par de uma crescente contribuição dos sectores de produção de bens transacionáveis. A eletricidade é uma opção custo-eficaz, estimando-se um aumento para 40% na estrutura de consumo em 2050, comparando com 25% em 2010. Os recursos renováveis representam mais de 80% em 2050 (compara com 35% em 2010), sobretudo biomassa nos fornos de cimento e cerâmica e solar térmico para produção de calor (exemplo: indústria química e outras indústrias). Estima-se que o carvão venha a ser competitivo na indústria associado a tecnologias de

captura de CO₂ (caso do cimento), e o calor ganha protagonismo crescente, satisfazendo quase 30% das necessidades energéticas da indústria, fornecido por cogerações progressivamente mais eficientes e com recurso a renováveis (biomassa e licões negros) ou com captura e sequestro de carbono.

No sector dos resíduos estima-se um potencial de redução de emissões de GEE, entre 54% e 64% em 2050, com uma parte significativa desse potencial a ocorrer até 2025 (45% a 50% redução). O maior potencial de redução está associado ao subsector dos resíduos sólidos (RSU e RI), que atinge os 75% a 78%.

O impacto que a meta de redução de emissões de 70% em 2050 terá na trajetória cenarizada para o crescimento macroeconómico nacional, foi estimado através de um modelo económico de equilíbrio geral. A partir de 2025, verifica-se um decréscimo progressivo na taxa anual do PIB face a um cenário sem restrições, atingindo uma deterioração máxima no período de 2045-2050 de 0.4% e de 0.5% nos cenários baixo e alto respectivamente. Tendo em conta o crescimento previsto do PIB nacional para o período, tal impacto corresponde a uma diminuição ligeira do crescimento do PIB, de tal forma que se poderá dizer que o impacto corresponde no máximo ao sacrifício de um ano de crescimento nos quarenta anos do período. Ou, por outras palavras, atingir o PIB previsto para 2050 em 2051. Este impacto no PIB encontra-se associado ao facto dos sectores industriais necessitarem de apostar em tecnologias mais eficientes e que utilizem recursos energéticos de baixo carbono que podem ter como reflexo o aumento do seu custo produtivo e consequentemente redução da respectiva procura, sobretudo nos sectores mais intensivos em carbono.

O impacto de um cenário de baixo carbono no emprego direto foi estimado de modo muito aproximado no sector electroprodutor e na indústria, tendo em atenção a geração de emprego verde nas renováveis (mais que duplica) e a deterioração do emprego nas instalações energéticas convencionais e na indústria (-7%), quando comparado com um cenário sem meta de redução. No entanto, estes valores carecem de uma análise muito cautelosa porque se basearam em indicadores estáticos por sector de atividade, além de que não é considerado o sector dos serviços.

Finalmente, outro impacto adicional estimado diz respeito ao co-benefício esperado sobre a redução das emissões acidificantes, que se pauta por uma redução crescente ao longo do período nos custos anuais de danos associados, estimando-se em cerca de 72 e os 307 milhões de euros em 2030 e 2050, respectivamente devido à redução das emissões de NO_x, e de SO₂.

A1. ÂMBITO E OBJECTIVO

Entende-se o *Roadmap* como um instrumento que permite a análise de trajetórias alternativas, em função de um quadro de informação e de condições, determinados *a priori*, para atingir um determinado objectivo ou visão. A visão subjacente ao RNBC2050 é a que decorre da comunicação feita pela Comissão Europeia (CE) em Março de 2011, sob o título *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, e que apresenta a necessidade da União Europeia reduzir internamente as suas emissões domésticas de gases com efeito de estufa (GEE) em 80% em 2050, face a 1990, no sentido de se concretizar uma transição para uma economia de baixo carbono. As reduções sectoriais custo-eficazes apuradas ao nível da EU-27 são as constantes do Quadro 1.

A par desta ambição, recentemente reafirmada em Durban, há a considerar a expectativa generalizada da escassez progressiva de recursos energéticos fósseis e o respectivo aumento de preços, a elevada competitividade das tecnologias de produção de energia de fonte renovável, como o atestam os investimentos significativos em curso (fundos privados, Set-Plan na Europa, programas de parcerias tecnológicas EUA-China), bem como o mercado integrado de energia pan-Europeu, que ambiciona assegurar a integração em larga escala de electricidade de fonte renovável.

O RNBC 2050 perspectiva uma economia de baixo carbono para Portugal, através da análise das implicações dos objectivos de redução de emissões de GEE, em coerência com o objectivo Europeu e pretende responder às seguintes questões:

1. Existe viabilidade (tecnológica e económica) para um cenário de baixo carbono para a economia Portuguesa no longo prazo (2050), mantendo o crescimento económico e prosperidade?
2. Para cenários de baixo carbono, qual a configuração do sistema energético nacional mais custo-eficaz, tendo em conta a evolução tecnológica expectável, em termos de características técnicas e de custos?
3. Qual o papel reservado aos recursos energéticos endógenos na satisfação das necessidades do País?
4. Em que sectores de actividade económica é mais custo-eficaz a adopção de tecnologias de baixo carbono?

5. Quais os benefícios adicionais de um cenário de baixo carbono para Portugal, nomeadamente em matéria de emissões atmosféricas, e variáveis macro-económicas como PIB e emprego?

Foi elaborado um conjunto de exercícios de modelação e de prospectiva para o horizonte 2005 a 2050, abordando de forma distinta 2 períodos:

- Médio-prazo [2005 a 2020]: são tidos em conta os principais drivers de política climática Europeia, em particular os objectivos previstos de redução de emissões de GEE para Portugal, bem como investimentos nacionais, realizados ou em curso, com impacto directo naquelas emissões. Não se prevê a oportunidade para saltos qualitativos em termos tecnológicos, considerando-se uma evolução tendencial em matéria de tecnologias de uso final e de perfil de commodities energéticas no sistema energético Português.
- Longo-prazo [2020-2050]: Existe a possibilidade de saltos tecnológicos significativos na produção e no uso de energia nos vários sectores de actividade, e de alternativas energéticas, em função da respectiva competitividade em termos de custo-eficácia.

Os resultados obtidos a partir de um conjunto organizado e sequencial de exercícios de modelação do sistema energético Português identificam a exequibilidade de cenários de Baixo Carbono de longo-prazo, nomeadamente os seus drivers tecnológicos e formas de energia, tendo por base o critério de custo-eficácia. São avaliadas trajetórias de emissões de GEE para 2050 para diferentes objectivos de redução, suportadas por cenários socioeconómicos, e tendo por base cenários de evolução tecnológica e de preços de energia primária, contemplando o sector das indústrias da energia (produção de electricidade, refinação e co-geração), da indústria transformadora, o sector dos transportes, dos edifícios, residenciais e de serviços, o sector da agricultura, pecuária e florestas, no que se refere à componente de consumo de energia, as actividades da gestão e destino final de resíduos e águas residuais, bem como as actividades geradoras de gases fluorados.

Quadro 1: Níveis de redução de emissões de GEE a longo prazo na EU-27

Reduções GEE comparado com 1990 (%)	2005	2030	2050
TOTAL	-7	-40 a -44	-79 a -82
Geração de electricidade (CO2)	-7	-54 a -68	-93 a -99
Indústria (CO2)	-20	-34 a -40	-83 a -87
Transportes (CO2 c/ aviação)	30	+20 a -9	-54 a -67
Edifícios (CO2)	-12	-37 a -53	-88 a -91
Agricultura (não CO2)	-20	-36 a -37	-42 a -49
Outras emissões que não CO2	-30	-72 a -73	-70 a -78

Fonte: A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 (CE, 2011)

Dado o longo horizonte temporal considerado no trabalho, existe uma incerteza associada aos resultados, em parte porque a modelação se suporta em assumpções incertas, de que se destaca: o andamento do crescimento económico, a dimensão dos esforços globais na mitigação das alterações climáticas, desenvolvimentos geopolíticos, os preços da energia no mercado mundial, a disponibilidade de recursos naturais, alterações sociais e percepção pública. No entanto, podemos antever um nível de incerteza diferenciado, mais elevado para o período 2030 a 2050, em que não existe qualquer indicação de quadros de mitigação e controlo de emissões de GEE, e em que é possível contemplar saltos tecnológicos.

Há a explicitar um conjunto de aspectos que constituem limitações reconhecidas aos exercícios desenvolvidos, importantes pelo valor acrescentado que representam nas actividades económicas, e pela preocupação que despertam. Assim, no presente trabalho não se considera:

- O impacto da adopção de tecnologias *low carbon* nas respectivas cadeias de valor, nomeadamente em termos da pressão expectável na procura de recursos naturais (e.g. terras raras);
- O impacto de cenários de alterações climáticas nos recursos naturais e na actividade económica (p.ex., não é modelada a redução da disponibilidade hídrica expectável para a Europa do Sul com impacto na produção de electricidade, ou o aumento/redução das necessidades de frio/calor em matéria de conforto térmico devido a aumentos expectáveis de temperatura);
- As emissões de GEE embebidas nas importações Portuguesas não são tidas em linha de conta, sendo apenas consideradas as emissões geradas pelas actividades em território nacional.

A2. PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO RNBC

O Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC2050) foi abordado como um processo que envolveu agentes, públicos e privados, sobretudo na discussão e validação de vários pressupostos que o sustentam, nomeadamente na validação de projecções de actividade. A lista de agentes contactados nos diversos domínios pode ser consultada no Anexo 1. Os estudos técnicos que suportam o RNBC decorreram de Julho de 2011 a Fevereiro de 2012, envolvendo uma sequência de tarefas como ilustrado na Figura 1. A sequência metodológica que suportou o desenvolvimento do RNBC seguiu o esquema da Figura 2, que ilustra a *workflow* das várias componentes, salientando-se:

1. A definição dos cenários macro-económicos que enquadram as projecções de procura de serviços de energia e resíduos; de salientar várias reuniões havidas com entidades públicas da área da economia e finanças, no sentido de suportarem os pressupostos de base económica;
2. A definição do âmbito e objectivos dos cenários de baixo carbono, especificamente sobre os tetos máximos de emissões de GEE em 2050; importa referir que, numa primeira fase foram considerados 3 cenários de redução para o sector energético, nomeadamente a redução de 60%, de 70% e de 80% em 2050, face a valores de 1990. No entanto, não foi obtida solução óptima para uma redução de 80%, senão quando foram utilizadas elasticidades procura-preço, que deterioravam de forma significativa algumas actividades como a produção de cimento (redução de 23%), de cerâmicas (15%) e vidro (12%). Assim, este cenário não foi considerado para análise. É de salientar que o cenário de redução de 70% acompanha, de forma muito próxima, a trajectória do estudo da Comissão Europeia, *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, se se considerar apenas o sector energia e processos industriais;
3. A estimação da procura de serviços de energia, com uma atenção especial para os edifícios, com a colaboração do LNEG, e de resíduos, salientando-se a contribuição muito útil dos agentes do setor na discussão do novo paradigma de gestão de resíduos, em particular dos sólidos urbanos;
4. A modelação dos cenários de baixo carbono, com recurso à ferramenta TIMES_PT no que diz respeito às emissões do sistema energético (emissões fugitivas e gases fluorados não incluídos) e resíduos de acordo com a metodologia especificada no presente documento (Parte II);
5. A modelação das seguintes hipóteses alternativas: redução acentuada dos custos de investimento do veículo (100%) eléctrico, alteração de transferências modais na mobilidade de passageiros e mercadorias, e objectivos mais exigentes de redução de emissões de GEE em 2020, diferenciados para as actividades abrangidas e não abrangidas pelo CELE, face ao actualmente existente. Hipóteses inicialmente consideradas, como o desenvolvimento das redes transeuropeias permitindo maior capacidade trans-pirenaica de transmissão, não foram consideradas por não ser possível objectivá-las, como seja, por exemplo, no caso da capacidade de transmissão, não foi possível definir critérios que permitam desenhar cenários de exportação de electricidade nacional para a Europa;
6. A análise de impactos adicionais, nomeadamente sobre o PIB, e o emprego, com suporte, respectivamente, de um modelo de equilíbrio geral e de indicadores aproximados.

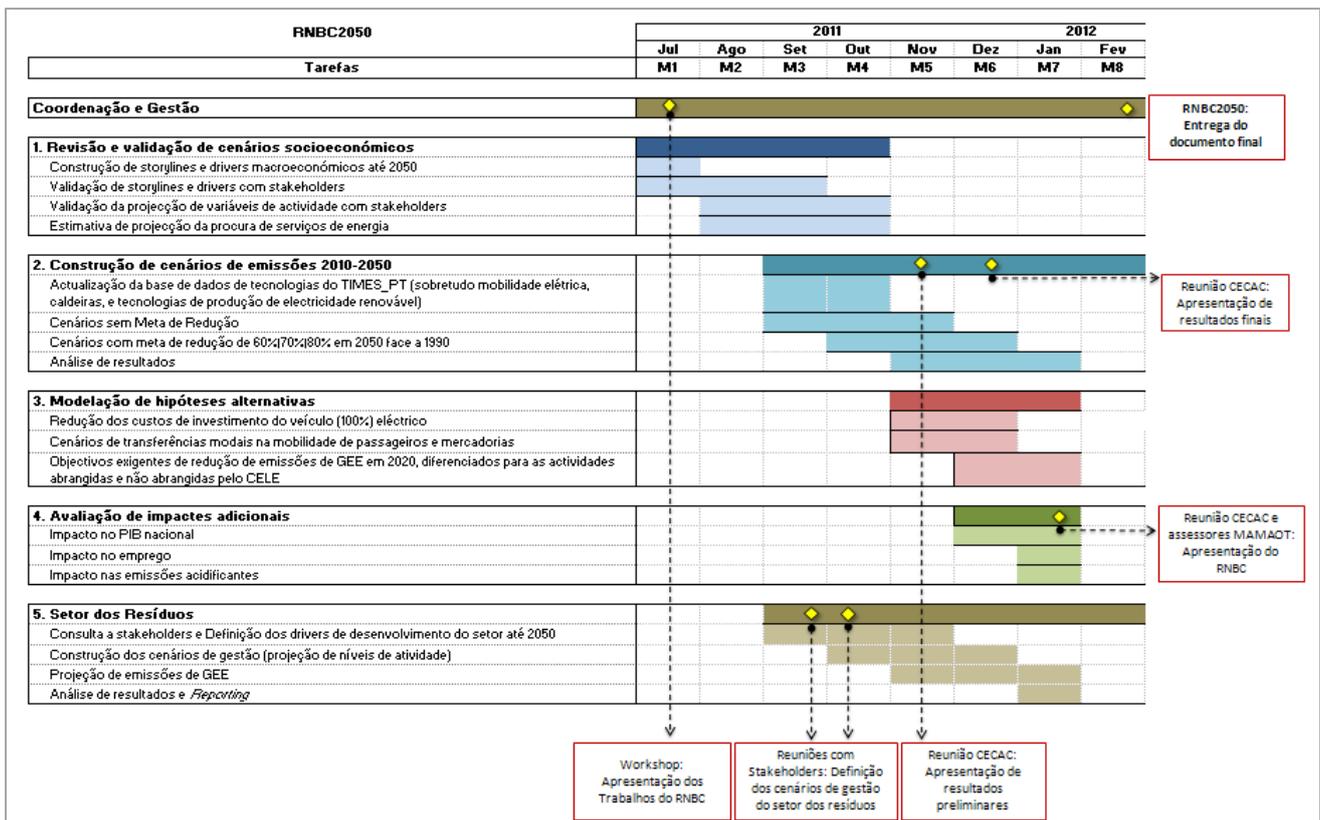


Figura 1: Cronograma e organização das tarefas de suporte ao RNBC

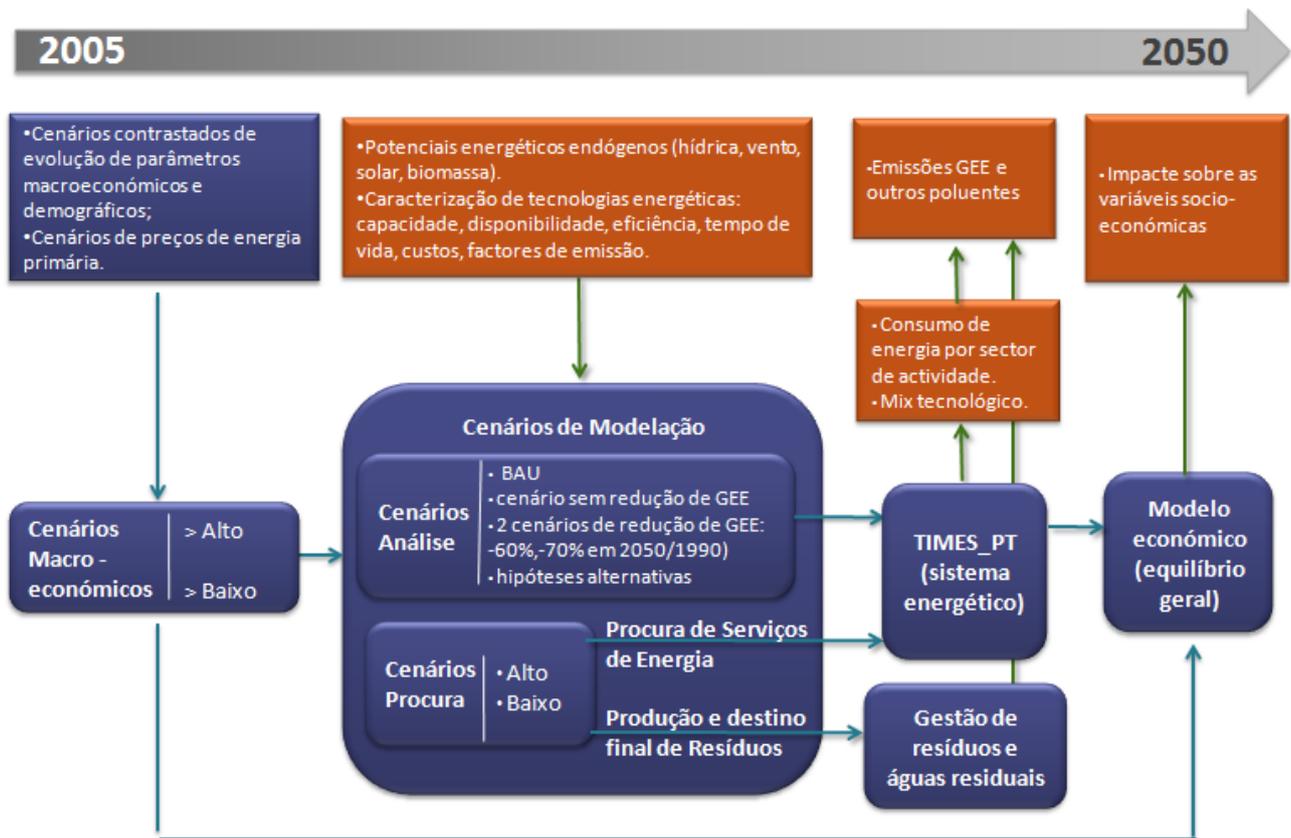


Figura 2: Workflow metodológico do Roadmap 2050

A.3. CENÁRIOS SOCIO-ECONÓMICOS PARA 2050

O *Roteiro Nacional de Baixo Carbono* assenta num conjunto de exercícios de modelação para um horizonte temporal até 2050 que, por sua vez, se suporta em cenários de evolução sócio-económica para Portugal, traduzindo-se em projecções demográficas e económicas coerentes. Em particular, estes cenários enquadram as projecções de procura de serviços de energia e de resíduos, que serviram de input, respectivamente à componente de modelação do sistema energético Português e dos sistemas de gestão de resíduos, que terão como resultado o apuramento do espaço de desenvolvimento e implementação de novas tecnologias e das respectivas emissões de gases com efeito de estufa. Os cenários sócio-económicos têm como ponto de partida o trabalho efectuado pelo DPP [1] para 2030 e o estudo *Novas Tecnologias Energéticas Portugal 2050* [2].

A abordagem para a construção de cenários prospectivos para a economia nacional não considera visões concretas, plausíveis de virem a ocorrer no futuro, mas antes trajetórias que delimitam, de forma aproximada (*i.e.* estabelecendo máximos e mínimos), o intervalo onde se situará, com razoável probabilidade, a trajetória futura do País. Não se consideram igualmente elementos de ruptura, política, social ou económica, que possam determinar uma alteração estrutural da economia Portuguesa. Assim, consideram-se dois cenários

socioeconómicos nacionais: Cenário Baixo (CB) e Cenário Alto (CA), que assumem dois modelos de desenvolvimento contrastantes a nível económico e social.

A crise financeira de 2008 que conduziu a uma recessão global em 2009 é um exemplo de um episódio conjuntural que não é antecipada em projecções de longo prazo, tal como o efeito de um desastre natural como um terramoto. Estes eventos podem afectar de forma significativa a actividade económica, e constituem uma das maiores incertezas em exercícios de projecção. Assim, as projecções aqui apresentadas embora acomodem, no muito curto prazo, a informação disponível decorrente da actual crise financeira e económica nacional, não acomodam ou antecipam episódios conjunturais no futuro, privilegiando a apresentação de tendências de longo prazo. Assume-se deste modo um certo grau de incerteza, diferenciado ao longo do horizonte de projecção, sendo inferior para o período 2010-2020 dada a disponibilidade de análises feitas por diversas entidades Europeias e internacionais, e superior para o período 2030-2050. As estimativas obtidas com a cenarização devem ser interpretadas como tendências de longo-prazo, devendo evitar-se interpretar aspectos particulares associados a anos específicos. A título ilustrativo, o Quadro 2 apresenta valores de PIB usados em diversos estudos prospectivos.

Quadro 2: Exemplos de PIB projectados para Portugal e Europa

Fonte	Região	2010-15	2015-30	2030-50
ENVIRONMENTAL OUTLOOK TO 2050: DRAFT SOCIOECONOMIC DEVELOPMENT CHAPTER, OECD, 2011	EU27 & EFTA ¹	2%	2%	1.7%
PRIMES (projecções 2009)	Portugal	2%	2%	

Notas: ¹ Assume que o PIB mundial (medido em 2010, USD PPP) crescerá em média 3.4% por ano de 2010 a 2050

Caracterização dos cenários sócio-económicos

O principal objectivo do *Roteiro Nacional de Baixo Carbono* é avaliar a possibilidade e o potencial de redução de gases de efeito de estufa em Portugal até ao horizonte de 2050, decorrentes da sua actividade económica, pelo que foram considerados vários aspectos na cenarização, que constituem incertezas com impacto no exercício prospectivo, salientando-se os seguintes:

- crescimento relativo e composição da economia;
- grau de confiança da população no governo e nos mercados, aliado a dívida pública e capacidade para atrair/retrair investimento;
- evolução da população residente;
- influência da opinião pública e indústria associados a valores culturais e comportamentais da população conducentes a sociedades sustentáveis;

- evolução do parque habitacional (número e área); e renovação do casco urbano das principais cidades vs. crescimento em torno das novas infra-estruturas viárias;
- investimentos em infra-estruturas de conectividade internacional, no segmento de passageiros e mercadorias.

Convém sublinhar que o grau de desenvolvimento e implementação tecnológica até 2050, sobretudo na componente energética, não foi considerado como elemento de incerteza, uma vez que este é um dos principais resultados a obter com o exercício de modelação. No entanto, a incerteza associada à evolução de algumas das características da tecnologia são considerados (*e.g.* cenários diferenciados da evolução do custo de investimento da tecnologia). As incertezas identificadas configuram duas *storylines* que traduzem os 2 cenários de evolução, com as seguintes características mais marcantes:

O **CENÁRIO BAIXO** baseia-se no modelo de desenvolvimento seguido nos últimos 15 anos, com incidência no investimento sobretudo em bens não transacionáveis, refletindo-se num ritmo de crescimento económico lento e fortemente dependente da conjuntura externa. Esta continuidade pressupõe a manutenção das estratégias e das características dominantes do comportamento dos agentes económicos. Caracteriza-se pela manutenção de valores elevados da dívida pública e pouca capacidade para atrair investimento, aliado ao reduzido grau de confiança da população no governo e nos mercados e à baixa capacidade de influência e intervenção na sociedade por parte da opinião pública. Estes factores traduzem-se numa elevada evasão fiscal e baixos níveis de motivação com consequente baixa produtividade da força laboral.

O **CENÁRIO ALTO** representa um desvio de rota e estratégia no desenvolvimento nacional, correspondendo ao renascimento da economia Portuguesa, traduzido por um aumento da competitividade e numa reestruturação económica do país. Privilegia-se assim o investimento em bens transacionáveis traduzidos numa re-industrialização nacional e uma aposta em serviços de valor acrescentado. Uma população altamente motivada e com elevadas taxas de confiança catalisa a

reestruturação do Estado e da economia nacional reduzindo os valores da economia paralela e da dívida pública. A maior capacidade para atrair investimento, aliado a uma população e indústria qualificadas e com grande capacidade de inovação permitem a renovação e modernização do tecido industrial nacional. Este cenário pressupõe portanto um crescimento económico mais acentuado e uma modernização da sociedade e do desenvolvimento humano superiores ao do Cenário Baixo.

Uma descrição mais detalhada das *storylines* dos 2 cenários é apresentada no Anexo 2. Os Cenários Alto e Baixo são caracterizados por um conjunto de parâmetros de natureza económica, demográfica e social, que traduzem evoluções contrastadas permitindo identificar diferentes paradigmas tecnológicos, constituindo-se como um intervalo em que o futuro verosímil se poderá vir a situar.

O andamento do PIB (Quadro 3 e Figura 3) resultou de uma convergência de visões de vários actores de política pública, da área da economia e finanças (identificados no Anexo I), enquanto o andamento da população (Quadro 4 e Figura 4) resultou de cenários do INE ajustado aos resultados dos CENSUS 2011. A Figura 5 ilustra a evolução do PIB per capita esperada para os 2 cenários.

Quadro 3: Taxa de Crescimento Anual do PIB (%)

	01/05	06/10	11/15 ¹	16/50
Cenário Baixo	0.8	0.5	0.4	1.0
Cenário Alto	0.8	0.5	0.4	3.0

¹ Ministério das Finanças, 31 Agosto 2011, Documento de Estratégia Orçamental 2011-2015

Quadro 4: Taxa de crescimento anual da População (%)

	'06/10	'11/15	'16/20	'21/25	'26/30	'31/35	'36/40	'41/45	'46/50
Cenário Baixo	-0.03	0.08	-0.05	-0.16	-0.22	-0.28	-0.36	-0.47	-0.59
Cenário Alto	-0.03	0.28	0.34	0.32	0.30	0.29	0.26	0.20	0.15

INE. 2009. Projeções de população residente em Portugal 2008-2060. Instituto Nacional de Estatística. Março de 2009. Lisboa

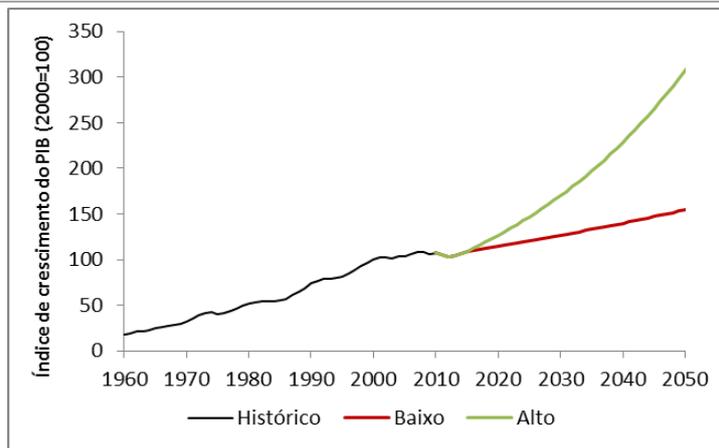


Figura 3: Índice de crescimento do PIB a preços constantes (2006) (2000=100)

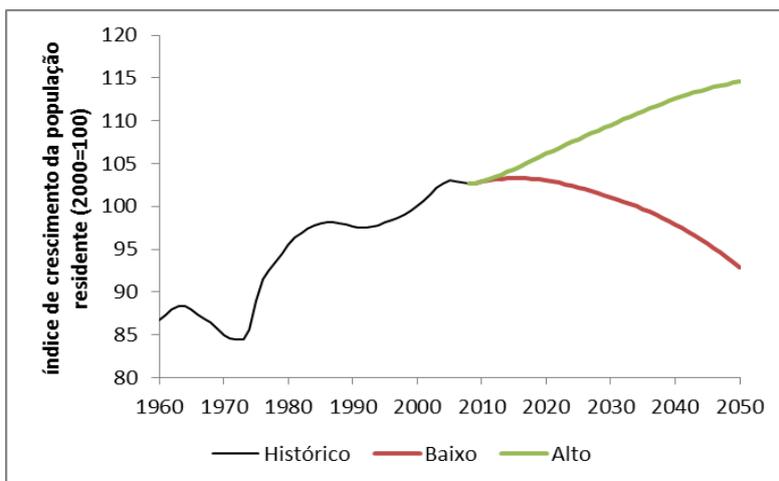


Figura 4: Índice de crescimento da população residente em Portugal (2000=100)

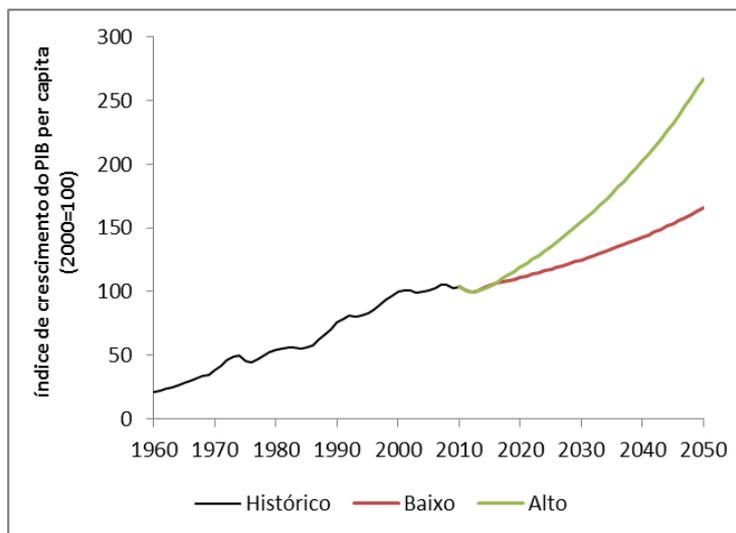


Figura 5: Índice de crescimento do indicador PIB per capita (2000=100)

Estrutura do VAB (% de cada um dos grupos sectoriais no VAB total)

Tendo em consideração os elementos contrastantes da storyline que suportam os cenários Alto e Baixo e relatados no Anexo 1, adoptou-se uma diferenciação da estrutura sectorial dos VABs, atribuindo-se um maior protagonismo do sector industrial no cenário Alto (26% em 2050 que compara com 19.8% em 2010), enquanto no Cenário Baixo os serviços continuam a crescer (76% em 2050 que compara com 70.9% em 2010). O cenário Alto configura, em termos de relevância da indústria na economia, um padrão similar à Alemanha, enquanto o cenário Baixo configura um padrão próximo do Luxemburgo em termos de peso dos serviços na economia. Mantém-se contudo a primazia do sector dos serviços em qualquer dos cenários, como ilustrado na Figura 6. O Quadro 5 apresenta a estrutura diferenciada por sectores de atividade para os dois cenários.

Taxa de Crescimento Anual do VAB

A evolução do VAB, em taxas anuais de crescimento, para os três principais sectores (primários, secundário e terciário), para o período em análise é apresentada na Figura 7 que ilustra as opções de cenarização tomada para esta variável. O Quadro 6 apresenta a desagregação desta variável por sectores de atividade para os dois cenários.

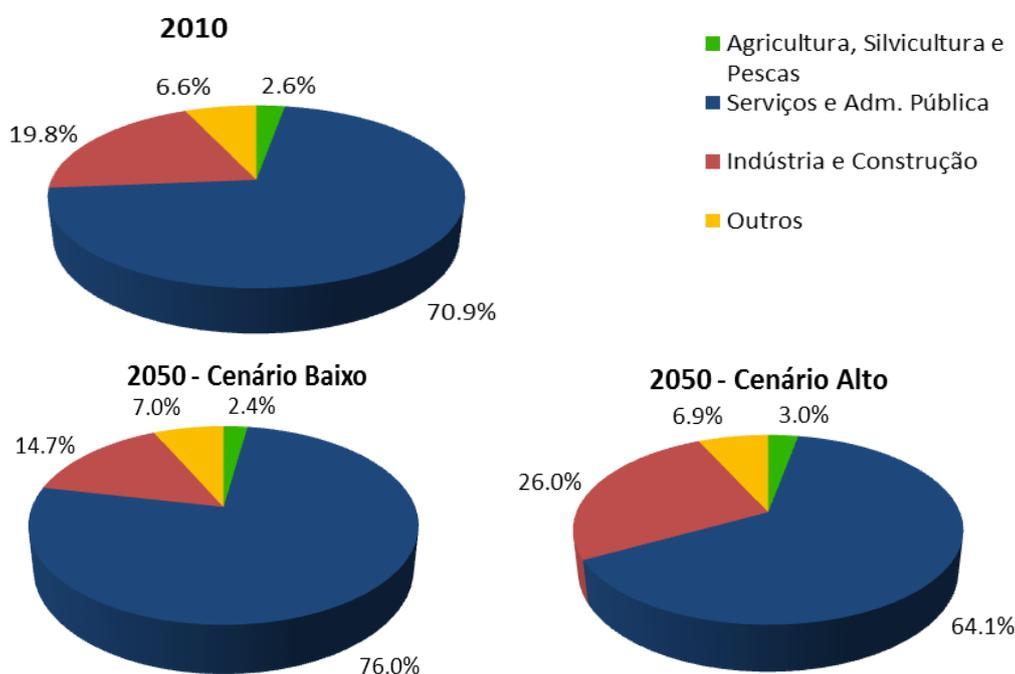
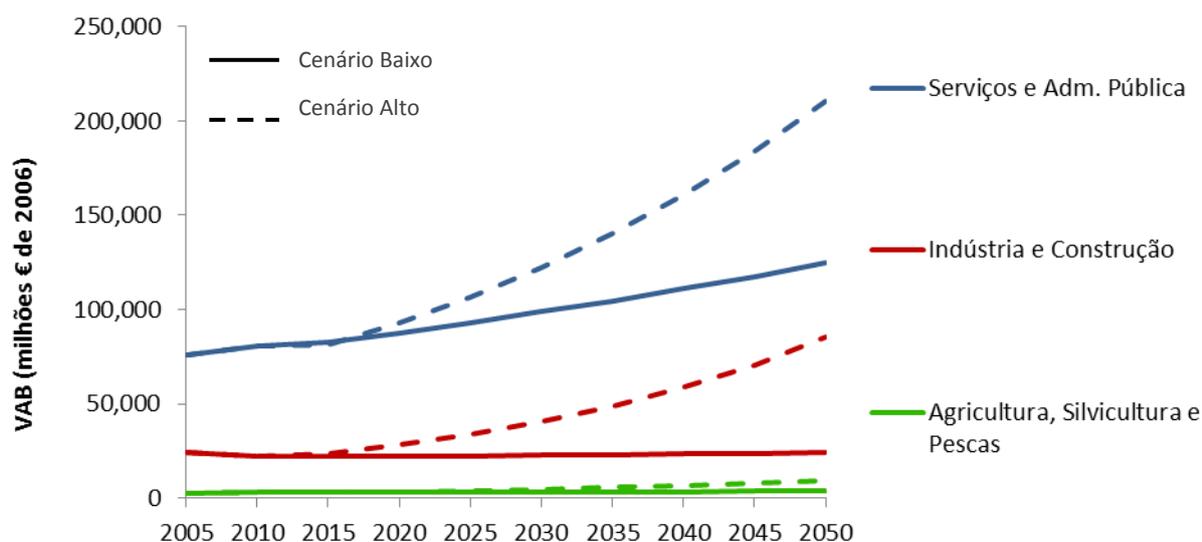


Figura 6: Estrutura sectorial dos VABs para 2010, e ilustrativa dos cenários Baixo e Alto para 2050

Quadro 5: Estrutura do VAB (% de cada um dos grupos sectoriais no VAB total)

Sector	Correspondência CAE versão 3	2010	2020	2030	2040	2050
Cenário Baixo						
Agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca	01-03	3%	3%	2%	2%	2%
Energia, água e saneamento	19, 35-40	4%	4%	4%	4%	4%
Construção	41-43	6%	5%	5%	4%	4%
Comércio e Serviços	45-47,52-53, 55-56,58-66,68-75,77-82,84-88,90-99	71%	72%	73%	75%	76%
Transportes	49-51	3%	3%	3%	3%	3%
Produtos químicos e de fibras sintéticas ou artificiais, excepto produtos farmacêuticos	20	1%	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%
Outros produtos minerais não metálicos	23	1%	1%	1%	1%	1%
Pasta, de papel, de cartão e seus artigos	17	1%	1%	1%	0.5%	0.5%
Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equip.	24-25	2%	2%	2%	1%	1%
Equipamentos, máquinas e automóveis	26-30	2%	2%	2%	2%	2%
Outras Indústrias	04-16,18,21-22,31-33	8%	7%	7%	6%	6%
Cenário Alto						
Agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca	01-03	3%	3%	3%	3%	3%
Energia, água e saneamento	19, 35-40	4%	4%	4%	4%	4%
Construção	41-43	6%	6%	6%	6%	6%
Comércio e Serviços	45-47,52-53, 55-56,58-66,68-75,77-82,84-88,90-99	71%	71%	69%	67%	65%
Transportes	49-51	3%	3%	3%	3%	3%
Produtos químicos e de fibras sintéticas ou artificiais, excepto produtos farmacêuticos	20	1%	0.5%	1%	1%	1%
Outros produtos minerais não metálicos	23	1%	1%	1%	1%	1%
Pasta, de papel, de cartão e seus artigos	17	1%	1%	1%	1%	1%
Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equip.	24-25	2%	2%	2%	2%	3%
Equipamentos, máquinas e automóveis	26-30	2%	2%	3%	3%	3%
Outras Indústrias	04-16,18,21-22,31-33	8%	8%	9%	10%	11%



Quadro 6: Taxa de Crescimento Anual do VAB

Sector	'10/'20	'21/'30	'31/'40	'41/'50
Cenário Baixo				
Agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca	0.3%	0.8%	0.8%	0.8%
Energia, água e saneamento	0.9%	1.2%	1.2%	1.2%
Construção	-0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
Comércio e Serviços	0.9%	1.2%	1.2%	1.2%
Transportes	0.7%	1.0%	1.0%	1.0%
Produtos químicos e de fibras sintéticas ou artificiais, excepto produtos farmacêuticos	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%
Outros produtos minerais não metálicos	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%
Pasta, de papel, de cartão e seus artigos	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%
Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equipamentos	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%
Equipamentos, máquinas e automóveis	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%
Outras Indústrias	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%
Cenário Alto				
Agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca	1.6%	3.3%	3.3%	3.7%
Energia, água e saneamento	1.8%	2.9%	2.9%	2.9%
Construção	1.2%	3.1%	3.1%	3.1%
Comércio e Serviços	1.6%	2.7%	2.7%	2.7%
Transportes	1.9%	3.4%	3.4%	3.4%
Produtos químicos e de fibras sintéticas ou artificiais, excepto produtos farmacêuticos	1.4%	3.6%	3.6%	3.6%
Outros produtos minerais não metálicos	1.4%	3.6%	3.6%	3.6%
Pasta, de papel, de cartão e seus artigos	1.4%	3.6%	3.6%	3.6%
Indústrias metalúrgicas de base e fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equipamentos	2.1%	4.3%	4.3%	4.3%
Equipamentos, máquinas e automóveis	2.0%	4.3%	4.3%	4.3%
Outras Indústrias	2.1%	4.3%	4.3%	4.3%

Dimensão média das famílias e primeiras habitações

Para o caso do sector residencial, o principal *driver* para a determinação da procura de serviços de energia é a evolução do número de primeiras habitações que é determinada com base em projeções da população e em perspectivas da evolução da dimensão média das famílias (Quadro 7). Em ambos os cenários foi assumida uma evolução semelhante para a dimensão média das famílias, embora devido a razões diferentes. No cenário Baixo, pautado por um crescimento económico reduzido, e conseqüentemente um baixo rendimento disponível das famílias, é expectável que nem todos os jovens saiam de casa dos pais para casa própria. No cenário Alto, um maior rendimento disponível das famílias,

embora possa induzir uma redução da dimensão média das famílias por agregado, pode igualmente suportar uma maior taxa de natalidade, o que justifica o andamento do indicador. Estes aspectos foram discutidos em convergência com peritos do DPP. Os valores do Quadro 8 foram obtidos considerando a população total do Cenário Baixo e Cenário Alto respectivamente e a evolução da dimensão média das famílias. Como será de esperar, o cenário Alto caracteriza-se por uma evolução do número de primeiras habitações que se vai distanciando do cenário Baixo, no período em análise (i.e. +8% em 2030, +13% em 2040, +23% em 2050).

Quadro 7: Dimensão média da família

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Cenário Baixo ¹	2.8	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Cenário Alto ²	2.8	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6

Nota: Valor de 2010 considera dados preliminares do CENSOS2011 (INE, 2011);

Quadro 8: Número de primeiras habitações (milhares)

	2005	2010	2020	2030	2040	2050
Cenário Baixo	3915	4080	4084	4007	3881	3680
Cenário Alto	3915	4080	4208	4341	4405	4543

RNBC 2050

Roteiro Nacional de Baixo Carbono

PARTE I:

ENERGIA e PROCESSOS INDUSTRIAIS

I.1. METODOLOGIA DE MODELAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA

A metodologia seguida para a análise do sistema energético Português no desenvolvimento do Roteiro Nacional de Baixo Carbono teve por base a utilização da ferramenta de modelação TIMES_PT, já usada anteriormente em contexto de estudos técnicos de apoio à política pública [2], [3]. O TIMES é um modelo tecnológico de optimização linear cujo objectivo principal é a satisfação da procura de serviços de energia, determinada exógenamente, ao menor custo possível. Para tal, são consideradas, em simultâneo, opções de investimento e operação/manutenção de determinadas tecnologias (de procura e oferta de energia), bem como importações e exportações de energia.

O modelo TIMES_PT representa o sistema energético Português, e tem vindo a ser validado para Portugal, por agentes das indústrias da energia e indústria transformadora, no que se refere a tecnologias de produção, e variáveis de projecção. O TIMES_PT está calibrado para o ano 2005. Mais informações sobre o modelo podem ser encontradas no capítulo I.1.2.

A modelação de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) suportou-se em 3 componentes principais:

- Estimativa da procura dos serviços de energia para o horizonte 2050: tarefa exógena ao modelo TIMES_PT que decorre de métodos *bottom-up* (para o sector residencial) e *top-down* (restantes sectores) a partir de dois cenários de evolução de parâmetros demográficos e macro-económicos (cenário Alto e cenário Baixo). As narrativas dos dois cenários sócio-económicos, (Anexo 2) pautam-se por uma caracterização muito contrastada da evolução

daqueles parâmetros tendo-se por objectivo construir uma gama (limite superior e limite inferior) de estimativas;

- Actualização da base de dados tecnológica, nomeadamente de parâmetros técnico e económicos de tecnologias energéticas e potenciais endógenos de energia, bem como de condições de fronteira, como preços internacionais de formas de energia primária, importações e exportações de energia;
- Desenho dos cenários de análise que constituem as condições a que o modelo deve responder, tendo sempre como objectivo a minimização dos custos do sistema energético, considerando todo o período de modelação e garantindo a satisfação plena da procura de serviços de energia.

Para além dos resultados obtidos com o modelo TIMES_PT e que servirão para avaliar as condições (tecnológicas e custos) que conduzam à exequibilidade de uma economia de baixo carbono em Portugal, foi avaliado o impacto destes cenários sobre variáveis como o PIB e o emprego, recorrendo a um modelo de equilíbrio geral. Foram ainda avaliados benefícios colaterais, nomeadamente sobre emissão de outros poluentes atmosféricos.

Uma vez que o modelo não considera as emissões fugitivas nem as decorrentes da produção e utilização de F-gases, estas foram determinadas exogenamente recorrendo todavia a informação resultante do modelo, como seja a quantidade de combustíveis fósseis produzidos e distribuídos ou o parque doméstico/terciário de refrigeração.

I.1.1. ESTIMATIVA DE PROCURA DE SERVIÇOS DE ENERGIA: CENÁRIOS ALTO E BAIXO

A estimativa de serviços de energia (energia útil por tipologia de serviço e para as condições nacionais) e materiais pelos vários sectores de actividade teve por base 2 cenários macro-económicos contrastantes – cenário ALTO e cenário BAIXO - que pretendem representar, respectivamente, o limite superior e inferior esperado em matéria de procura de energia.

A procura de serviços de energia e materiais (apresentada no Anexo 3, para os principais sectores modelados) foi apurada recorrendo a metodologias diferenciadas para os vários sectores de actividade, e expectativas distintas. Assim, para o período até 2020 foi tida em consideração as expectativas dos agentes económicos sobre o crescimento da actividade, quer para o mercado interno, quer para exportação, bem como o quadro de políticas, nomeadamente Europeias, que podem condicionar o tipo e a magnitude da evolução dos respectivos sectores económicos. Para o período 2020-2050, foi adoptada uma perspectiva menos condicionada, considerando-se que (i) não haverá uma ruptura drástica com o período anterior em termos da estrutura do modelo económico, e (ii) continuará a

verificar-se um modelo global para as trocas comerciais, assumindo-se a economia Portuguesa como uma economia aberta.

Naturalmente, a incerteza associada a este período 2020-2050 é superior ao anterior 2010-2020, embora, como se referiu anteriormente, a consideração de dois cenários (Alto e Baixo) contenha a incerteza num intervalo verosímil de análise. Neste exercício, como já referido, não é considerado qualquer cenário de ruptura suportado pelo aparecimento do que se costuma designar de uma *wild card* (e.g. saída de Portugal da União Europeia, ou descoberta de petróleo ou gás em território nacional).

Assim, a procura de serviços de energia para as diversas actividades económicas foi estimada a partir de metodologias *bottom-up* (sector residencial) e *top-down* (restantes sectores) suportadas pela evolução de parâmetros específicos de cada sector, nomeadamente:

- Indústria, Serviços e Agricultura, a partir de parâmetros como a taxa de crescimento do VAB, a elasticidade procura/rendimento, e a elasticidade procura/preço; para o caso da indústria foi tida em consideração um aumento autónomo de eficiência (entre 0%/ano para sectores como o cimento, vidro, cal, cloro, até 1%/ano para a cerâmica, ferro e aço, papel, valores utilizados para todos os países da EU27 no âmbito do projecto Europeu NEEDS: New Energy Externalities Developments for Sustainability <http://www.needs-project.org/nf2.asp>) bem como a expectativa dos agentes dos sectores para o período até 2020 (cimento, vidro, refinação, ferro e aço, amoníaco; para os demais sectores, na ausência de uma resposta dos sectores foi adoptada uma evolução conservadora suportada pelo conhecimento da realidade nacional);
- Residencial, a partir do número de habitações por período de construção, tipologia e localização, e da procura específica por habitação para os diversos usos, como aquecimento e arrefecimento de espaços, aquecimento de águas e equipamentos eléctricos;

- Transportes, a partir de informação publicada sobre tendências Europeias de evolução para a mobilidade, como o projecto Europeu iTREN-2030 [4] reference cenário until 2030, e os cenários Transvisions (Transport Scenarios with a 20 and 40 year Horizon, Funded by DG TREN, 2009 [5]), e tendências nacionais, como as explicitadas nas narrativas da mobilidade e conectividade internacional do Anexo 2, e discutidas por elementos do IMTT (Instituto de Mobilidade e dos Transportes Terrestres).

A Figura 8 e a Figura 9 mostram a evolução da procura de serviços de energia até 2050 apurada para os dois cenários. Note-se que a procura dos serviços de energia em 2005 se repartia em 26% para o sector residencial, 42% para os serviços, e 32% para a indústria, enquanto em 2050, se altera para 28% | 23% para o sector residencial, 44% | 35% para os serviços, e 28% | 42% para a indústria, para os cenários Baixo | Alto. De realçar que a procura de mobilidade de longa distância representava 67% do total de mobilidade rodoviária em 2005, aumentado para 74% | 79% em 2050 nos cenários Baixo | Alto.

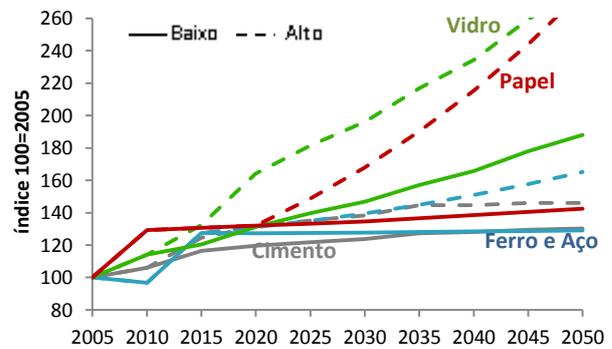
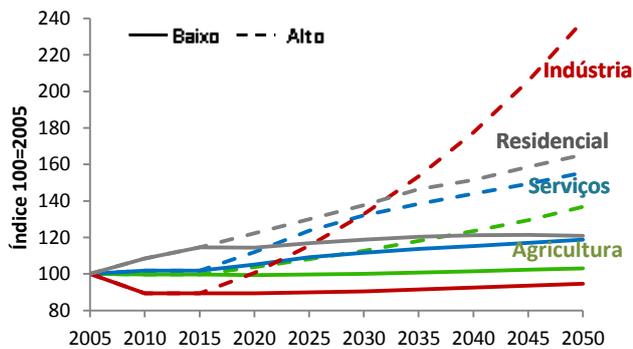


Figura 8: Evolução da procura global de serviços de energia para os diversos sectores (esq.) e procura de materiais na indústria (dir.).

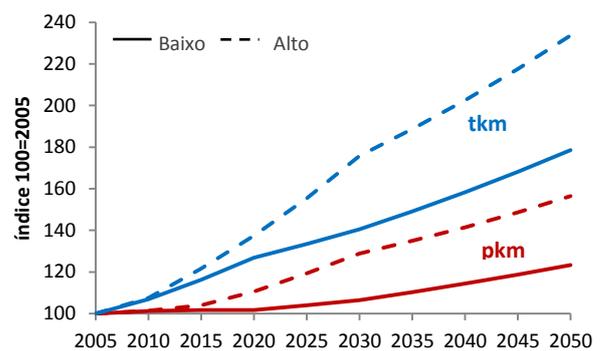
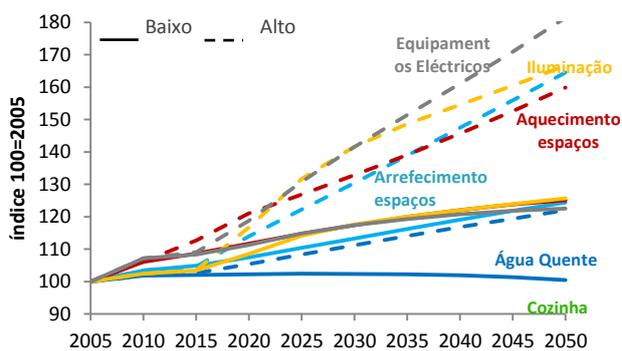


Figura 9: Evolução da procura de serviços de energia nos edifícios (Domésticos e Serviços) (esq.) e de mobilidade (dir.).

I.1.2. TIMES_PT

O TIMES_PT é um modelo tecnológico de optimização linear que resulta da implementação para Portugal do gerador de modelos de optimização de economia - energia - ambiente de base tecnológica TIMES¹ desenvolvido pelo ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Programme) da Agência Internacional para a Energia. A estrutura genérica do TIMES pode ser adaptada por cada utilizador para simular um sistema energético específico, à escala local, nacional ou multi-regional. O TIMES_PT foi inicialmente desenvolvido no âmbito do projecto europeu NEEDS, integrando um modelo TIMES pan-europeu utilizado para a estimativa dos custos totais europeus (incluindo externalidades) da produção e consumo de energia. O objectivo principal de um qualquer modelo TIMES é a satisfação da procura de serviços de energia ao menor custo possível. Para tal, são consideradas em simultâneo opções de investimento e operação de determinadas tecnologias, fontes de energia primária e importações e exportações de energia, de acordo com a seguinte equação [6]:

$$NPV = \sum_{r=1}^R \sum_{y \in YEARS} (1 + d_{r,y})^{REFYR-y} \cdot ANNCOST(r, y)$$

NPV: valor actualizado líquido dos custos totais

ANNCOST: custo anual total

d: taxa de actualização

r: região

y: anos

REFYR: ano de referência para actualização

YEARS: conjunto de anos para os quais existem custos (todos os do horizonte de modelação, mais anos passados se foram definidos custos para investimentos passados mais um número de anos após o tempo de vida da tecnologia caso se considerem custos de desmantelamento)

Para cada ano, os modelos TIMES calculam a soma actualizada dos custos totais menos os proveitos. No caso do modelo TIMES_PT são considerados os custos de investimento e de operação e manutenção (fixos e variáveis) das diversas tecnologias de produção e consumo de energia. Os proveitos normalmente considerados nos modelos TIMES incluem subsídios e recuperação de materiais, os quais não estão considerados no modelo TIMES_PT. Poderão ser obtidas mais informações sobre o desenvolvimento do TIMES e respectivas equações em [7].

O modelo TIMES_PT representa o sistema energético Português de 2000 a 2050, incluindo os seguintes sectores: oferta de energia primária (refinação e produção de combustíveis sintéticos, importação e recursos endógenos); geração de electricidade; indústria (cimento, vidro, cerâmica, aço, química, pasta de papel e papel, cal e outras industriais); residencial; terciário; agricultura, silvicultura e pescas (apenas a componente de consumo de energia) e transportes. A

correspondência entre os sectores TIMES_PT e a Classificação de Actividades Económicas pode ser consultada em [3]. Em cada sector são modelados em detalhe os fluxos monetários, de energia e de materiais associados às diversas tecnologias de produção e consumo de energia, incluindo balanços de massa para alguns sectores industriais. A estrutura simplificada do modelo TIMES_PT é apresentada na Figura 10, bem como os seus principais inputs e outputs.

A implementação do TIMES_PT requer a especificação de um conjunto de inputs exógenos (detalhados na secção seguinte): i) procura de serviços de energia (conforme apresentado no capítulo anterior; ii) características técnico-económicas das tecnologias existentes no ano base, assim como das tecnologias futuras (ex: eficiência, rácio input/output, factores de disponibilidade, custos de investimento, operação e manutenção e taxa de actualização); iii) fontes de energia primária disponíveis, actualmente e no futuro, em particular o potencial de utilização de recursos energéticos endógenos, e iv) restrições de política, tais como objectivos de produção de energia.

Para além dos custos associados ao sistema energético, é possível obter do modelo TIMES_PT, uma série de outputs como sejam: os fluxos de energia associados a cada sector, as suas opções tecnológicas, nomeadamente a capacidade instalada no sector electroprodutor, importações e exportações de energia, utilização dos recursos endógenos, e as emissões sectoriais. Actualmente as emissões consideradas pelo modelo incluem as emissões de GEE geradas na combustão e nos processos industriais, e não incluem as emissões fugitivas associadas à produção, armazenamento e distribuição de combustíveis fósseis e F-gases.

Refira-se que o TIMES não considera as interações económicas fora do sector energético, como as implicações na atividade de outros sectores da economia (p.ex. impacto da expansão da eólica no sector da metalomecânica), por ser um modelo de equilíbrio parcial. Para além disso, O modelo TIMES não considerada aspectos irracionais que condicionam o investimento em novas tecnologias mais eficientes, por exemplo preferências motivadas por estética ou estatuto social que se manifesta sobretudo na aquisição de tecnologias de uso final. Assim, o modelo assume que os agentes têm perfeito conhecimento do mercado, presente e futuro. Finalmente, importa sublinhar que os modelos de base tecnológica como o TIMES_PT não acomodam decisões de mercado baseadas no preço, mas tomam opções com base no custo, quer de tecnologias quer dos recursos energéticos. Por este motivo, as soluções encontradas traduzem as melhores opções em termos de custo-eficácia e portanto de competitividade, lato sensu.

¹ TIMES é um acrónimo para The Integrated Markal-EFOM System. Tanto o Markal - MARKet Allocation e o EFOM - Energy Flow Optimisation Model são modelos energéticos de base tecnológica desenvolvidos pela AIE nas décadas de 80 e 70, respectivamente.

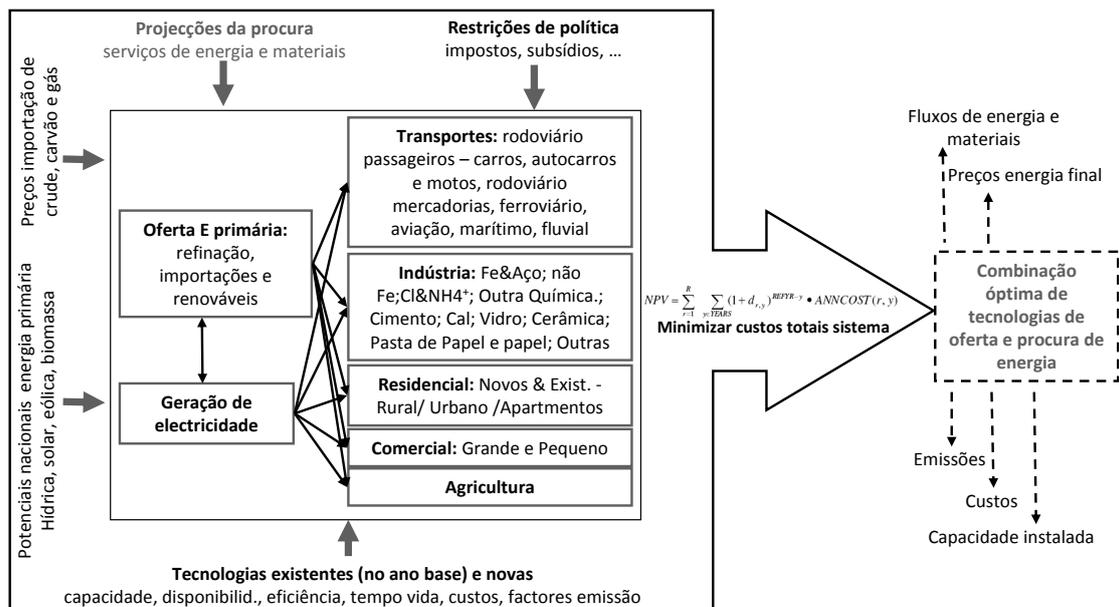


Figura 10: Representação esquemática do modelo TIMES_PT

I.1.2. CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E CONDIÇÕES DE FRONTEIRA

Como já referido, o RNBC2050 é suportado por exercícios de modelação com recurso ao modelo TIMES_PT. Sendo este um modelo de base tecnológica orientado por critérios de custo eficaz, a decisão do mix de tecnologias energéticas (de produção e de uso final) que devem satisfazer a procura de serviços de energia ao custo mínimo, é condicionado pela informação de natureza técnica e económica das várias opções tecnológicas contidas na sua base de dados.

O projecto Roadmap para as Novas Tecnologias Energéticas, suportado pelo Fundo de Apoio à Inovação, concluído em 2010, teve como um dos principais objectivos avaliar o estado da arte das tecnologias de produção de energia de base renovável. Foi reunido no documento *D1: Quadro internacional de novas tecnologias energéticas* [2] a melhor informação disponível, publicada e obtida directamente de agentes do mercado. Esta informação constitui a base de trabalho para o presente estudo, tendo sido no entanto efectuadas actualizações à informação (e.g. custos e eficiências) associada às seguintes tecnologias: produção fotovoltaica, captura de CO₂ em processos industriais e em centrais termoeléctricas, transporte individual de passageiros e ligeiros de mercadorias, e isolamento. O anexo 4 sistematiza os parâmetros de custo para as tecnologias mais representativas do presente estudo, designadamente tecnologias de fonte renovável para geração de electricidade, veiculos ligeiros de passageiros, sistemas de cogeração, entre outras.

As condições de fronteira assumidas no exercício de modelação do sistema energético nacional incluem:

- i) Cenários de preços de energia primária no mercado mundial (Figura), tendo sido considerado o cenário

Current Policies do *World Energy Outlook* de 2011 [8] até 2035; de 2035 até 2050 assumiu-se o crescimento tendencial destes valores. De sublinhar que o preço do barril de petróleo para 2050 encontra-se em linha com os valores do cenário Global Baseline do estudo *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050* da Comissão [9]. Todavia o andamento dos mesmos não segue a mesma tendência, apresentando o Roadmap Europeu valores mais reduzidos ao longo do tempo, contribuindo para que haja alguma prudência na comparação directa dos resultados dos dois exercicios.

No que se refere à evolução dos preços de importação de bioenergia foi considerado o seguinte:

- (a) Evolução do preço do biodiesel e óleo para produção de biocombustível indexado à evolução do preço do gasóleo;
- (b) Evolução do preço do bioetanol indexado ao preço da gasolina;
- (c) Evolução do preço da biomassa indexada à evolução do preço do gás natural,

por se considerar que as (várias) *commodities* energéticas são concorrentes entre si. Esta relação foi considerada pelo facto de não existir informação publicada convergente no que se refere à evolução de preços da biomassa. Alguns estudos apontam para uma clara abundância e consequentemente custos reduzidos. Contrariamente, outros afirmam que, face à competição entre os usos energia e alimentação, a biomassa será escassa e os preços elevados. O

Quadro 10 apresenta as diversas curvas de custos para a importação de biomassa consideradas no presente estudo.

- ii) Parametros financeiros, nomeadamente taxas de actualização e elasticidades procura-preço. No presente exercicio de modelação foram consideradas as seguintes taxas de actualização, diferenciadas para decisões de natureza privada ou pública: 17.5% para os sectores residencial e transporte individual de passageiros; 12% para os serviços, indústria, cogeração, produção descentralizada de electricidade e transporte de mercadorias; 8% na produção centralizada de electricidade e transporte colectivo de passageiros. Estes valores foram definidos de acordo com a literatura tendo como fonte principal os valores utilizados no modelo PRIMES [10] que suporta a Comissão Europeia no desenvolvimento de políticas energéticas e alterações climáticas.

Foram consideradas elasticidades procura-preço de modo a acomodar as alterações na procura associadas a um aumento dos preços de energia (resultante de uma meta de redução das emissões de GEE). Foi assim considerada uma elasticidade de -0.3 para a utilização de energia nos transportes, doméstico e terciário, e agricultura, com excepção dos usos para cozinha para os quais com valores de elasticidade procura-preço de -0.2 e -0.1, respectivamente para o terciário e doméstico. Refira-se que as elasticidades utilizadas são genericas para os países da UE tendo sido estimadas pela Universidade Católica de Leuven, no âmbito do projecto Europeu NEEDS².

Limite dos recursos energéticos endógenos, que representam uma condicionante muito importante para o nível de uso das respectivas tecnologias. O Quadro 11 apresenta os potenciais com viabilidade técnica e com expectativa de exequibilidade económica considerados neste exercicio e suportados por diversos peritos nacionais. Deve sublinhar-se o carácter de incerteza para alguns recursos nacionais, de que se salienta a biomassa. O potencial técnico-económico máximo de solar térmico em edificios teve como base a metodologia utilizada no documento Fórum Energias Renováveis em Portugal [11]

(pp. 37 Quadro 2) ajustado à realidade actual: por exemplo para o sector residencial, o potencial máximo considera um sistema com 3.8m² e 238l de armazenamento para cada habitação (de acordo com Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010 realizado pela DGEG e INE [12]), ao qual foram aplicados factores de exequibilidade de 8% das habitações em 2020, 21% em 2030 e 60% em 2050, considerando que em 2010 apenas 1.8% das habitações possuíam térmico. No caso da indústria, utilizou-se também a metodologia do Fórum Energias Renováveis em Portugal, tendo-se considerado que 1/3 da procura de serviços de energia na indústria é para calor e, destes, 25% (corresponde a calor de baixa temperatura, até 100°C) pode ser satisfeita com solar térmico. A este potencial técnico aplicou-se ainda um factor de exequibilidade de 15% em 2020, 30% em 2030 e 50% em 2050. Para o caso do potencial de armazenamento de CO₂, entendido como um recurso endógeno em matéria de opções de baixo carbono, o valor usado no exercicio é uma estimativa preliminar fornecida pela equipa do projecto Europeu COMET, não podendo ainda ser divulgado. No entanto, o valor é suficientemente alto e nunca é atingido nos exercicios de simulação realizados, pelo que não representa na prática qualquer restrição à adopção de tecnologias CCS (Captura e Sequestro de Carbono).

²New Energy Externalities Development for Sustainability (<http://www.needs-project.org/>)

Quadro 9: Preço do barril de petróleo utilizados no estudo *Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*

(\$2010/bbl)	Global baseline	Global Action	Fragmented Action
2010	77.7	77.7	77.7
2020	86.6	82.1	83.3
2030	106.6	85.5	97.7
2040	127.7	84.4	113.2
2050	153.2	76.6	129.9

Quadro 10: Curvas de custo para o recurso biomassa importada

	Custo de importação de biomassa (\$/t) Potencial máximo (PJ)			
2010	62.7	-	-	-
2015	82 20	90 22	120 24	196 27
2030	105 23	115 23	154 23	252 23
2050	119 54	131 54	175 54	285 54

Notas: A relação entre as diferentes curvas de custos foi estabelecida de acordo com o estudo *E4Tech_2009. Biomass Supply Curves for the UK. Study for DECC - Department of Energy and Climate, UK. March 2009*. Available at: http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/what_we_do/uk_supply/energy_mix/renewable/res/res.aspx

O potencial foi assumido considerando cerca de 20% do consumo de energia primária em Portugal em 2050 de acordo com estabelecido no estudo *Technological Perspectives IEA 2010* para o potencial de biomassa no consumo de energia.

	PETRÓLEO (USD\$2010/b bl)	GÁS NATURAL (USD\$2010/MTB U)	CARVÃO (USD\$2010/ t)
2010	96.2	7.5	102.0
2015	106.3	9.8	104.6
2020	118.1	11.0	109.0
2025	127.3	11.9	112.8
2030	134.5	12.6	115.9
2035	140.0	13.0	118.4
2040	145.7	13.4	121.0
2045	151.7	13.8	123.6
2050	157.9	14.3	126.2

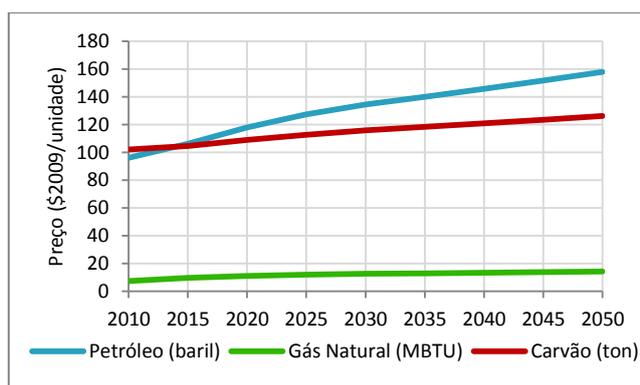


Figura 11: Cenário de preços de energia primária (Fonte: 2010 – DGGE; restantes anos – WEO2011, IEA)

Quadro 11: Potenciais de recursos endógenos para a produção de electricidade renovável

Recurso	Unidades	Utilização		Potencial técnico máximo		Fonte
		Actual		2020	2030	
		2010				
Hídrica	GW	4.821		9.834 ^a		Plano Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico. 2009.
Eólica onshore ^b	GW	3.566	6.50	7.00	7.50	Comunicação pessoal de Ana Estanqueiro. LNEG. 16 Junho 2010.
Eólica offshore	GW	0	0.075	4.00	10.00	LNEG. Ana Estanqueiro, Junho 2010.
Ondas/Marés	GW	0.004	5.00		7.70	Wave Energy Center. Alex Raventos. Abril 2010
Fotovoltaica descentralizada	GW	0.019	9.30			DGEG (MEID) - Montra Tecnológica Solar (Lisboa, 16 Março de 2010); REN (comunicação pessoal)
Fotovoltaica centralizada	GW	0.077				
Resíduos Sólidos Urbanos	PJ	0.088 GW	9.83	9.99	10.43	Extrapolação com base em indicador de RSU incinerado per capita e cenários de RSU elaborados no âmbito do PORTUGAL CLIMA2020.
Biogás	PJ	0.02 GW	17.46	6.9	5.89	Extrapolação PNAC 2006 e GPPAA- MADRP. 2005.
Geotérmica convencional	GW	0.023	0.045	0.077	0.23	Comunicação pessoal de Luís Neves. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. 12 Junho 2010.
Geotérmica (Hot Dry Rock)	GW	0	0.038	0.102	0.750	Comunicação pessoal de Luís Neves. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. 12 Junho 2010.
Biomassa Florestal	PJ	0.46 (GW)	17.67	30.87		Grupo de trabalho-Direcção Nacional das Fileiras Florestais, Junho, 2010. Comunicação pessoal de Armando Góis. CELPA.
Biomassa (resíduos agrícolas + indústria transf. da madeira)			5.93		INR, 2006.PERAGRI - Plano Estratégico dos Resíduos Agrícolas. Relatório Técnico, Vol 1 - Sumário Executivo. Abril de 2006. Universidade do Minho	
Bioetanol			19.50		GPPAA- MADRP. 2005. Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura Pescas e Florestas.	
Biodiesel	PJ	-	9.99			GPPAA- MADRP. 2005. Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura Pescas e Florestas.

^aIncluindo barragens com características de reversibilidade; ^bPotencial de microeólica não incluído.

Outras condições para o exercício de modelação incluem os seguintes aspectos:

- Por razões de funcionamento do sistema electroprodutor, e considerando a configuração e características actuais da rede de transmissão de electricidade, é assumida uma obrigatoriedade de produção eléctrica mínima de 15% global de base fóssil e hídrica, de acordo com a REN. Este pressuposto é definido de forma a garantir a estabilidade (inércia) da rede, que não seria garantida num cenário de electricidade 100% renovável face à intermitência das fontes renováveis;
- Devido a múltiplos factores, como a falta de conhecimento dos consumidores, a resistência à mudança, questões estéticas e conforto bem como de disponibilidade imediata de capital, não é expectável que os equipamentos existentes no sector residencial e comercial sejam totalmente substituídos num curto intervalo de tempo, mesmo que tal substituição seja custo-eficaz. O modelo TIMES assume um comportamento absolutamente racional dos consumidores, que na realidade não se

verifica. Assim, e para o período até 2020 inclusive, foram estabelecidos “factores de inércia” que configuram valores mínimos de manutenção da contribuição do vector de energia final para satisfação dos serviços de energia nos edifícios existentes, tendo em consideração os valores constantes no balanço energético de 2009, e o Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico [12], da DGGE; bem como o tempo de vida médio dos equipamentos existentes em 2005. Assim, para os sectores residencial e serviços foi considerado um valor máximo de substituição de equipamentos (cujo tempo de vida não foi atingido) de 1.3%/ano no período entre 2006 e 2020 sendo que os equipamentos eléctricos estão excluídos desta restrição. Este valor máximo de substituição também se aplicou à indústria, como a química, cerâmica, papel, ferro e aço e vidro, sendo que para a restante indústria se usou o valor de 1%/ano. Foi ainda considerado, para os vários sectores, a manutenção de utilização de produtos petrolíferos, como sejam GPL, coque petróleo, fuelóleo, bem como carvão, excepto para os sectores em que se verificou esse acréscimo entre 2005

e 2009 (exemplo utilização de carvão na siderurgia). Os factores de inércia foram aplicados aos edifícios, indústria, transporte ferroviário e rodoviário de pesados.

A partir de 2020 estes factores de inércia não são aplicados, pelo que o modelo tem liberdade para escolher (novas) tecnologias e (novas) formas de energia mais custo-eficazes, cumprindo o objectivo de identificar opções consentâneas com trajetórias de baixo carbono.

- Não são considerados instrumentos de política fiscal como o IVA e o ISP, por se ter como objectivo a identificação de soluções tecnológicas custo-eficazes, suportados em valores de custos das tecnologias.
- Não são modeladas as trocas de electricidade com Espanha, já que estas assentam sobretudo em decisões de mercado, não sendo o modelo TIMES_PT uma ferramenta

apropriada para acomodar decisões de mercado. É assumida, de acordo com expectativas da REN, uma exportação líquida de 8.3 e 4.4 TWh em 2015 e 2020 respectivamente, e a saldo nulo de 2025 até 2050.

- Considera-se a disponibilidade dos aproveitamentos hidroeléctricos em todo o período de modelação, equivalente a uma hidraulicidade média (ano médio, e.g. 2006, IPH=0.8);
- Considera-se um limite máximo de 85% relativo ao uso de gás natural nos sectores doméstico e terciário, por limitação de acesso à infra-estrutura de distribuição.
- Não é considerada a opção da tecnologia nuclear, uma vez que a mesma não representa actualmente uma opção de política energética nacional.

I.1.3. CENÁRIOS ROTEIRO NACIONAL DE BAIXO CARBONO

CONDIÇÕES BASE DE CENARIZAÇÃO

Para a modelação de cenários para o período 2010-2050, foram considerados pressupostos de política energética e climática relevantes para este estudo. Em matéria de política energética, e em particular para o período até 2020, foram tidos em conta os seguintes aspectos:

Considera-se a capacidade instalada no parque electroprodutor em Dezembro de 2010, e adicionalmente as instalações em construção e licenciadas, tal como explicitado no

- Quadro 12, de acordo com os dados fornecidos pela Direcção Geral de Energia e Geologia. Os aproveitamentos hidroeléctricos considerados como implementados em 2015 e 2020 correspondem às unidades consideradas pelos proponentes como estando em implementação. Não é “forçada” a implementação dos seguintes aproveitamentos: Daivões, Vidago, Almourol, Pinhosão, Girabolhos, Gouvães; Padroselos e Alvito. Para as barragens com características de reversibilidade e cuja produção líquida de electricidade é pouco significativa foi considerado um factor médio anual de disponibilidade de cerca de 2%. Não são considerados *a priori* os grupos de GN-CCGT de Sines e Lavos, com 0.392 GW cada, o que significa que a capacidade instalada respectiva não é tida como adquirida pelo modelo; no entanto, e caso haja necessidade e seja custo eficaz, o modelo é livre de optar por nova capacidade de produção eléctrica de GN-CCGT;
- É assumida a desactivação da central termoeléctrica de Sines em 2020;
- É assumida a entrada de novos grupos a carvão apenas com tecnologia de captura e armazenamento de carbono;
- Os objectivos de eficiência energética contemplados no PNAEE para 2015 no que respeita a edifícios, em particular para o isolamento (Medidas de Remodelação com Incentivo ao isolamento térmico) e para a melhoria de

eficiência de equipamentos eléctricos (Substituição de lâmpadas por CFL, substituição do parque de equipamentos ineficientes), são considerados como adquiridos, tendo em conta os instrumentos de informação e promoção de equipamentos mais eficientes. Sobre o solar térmico, não foi considerada como adquirida a meta definida (1.113.093 m² instalados em 2015), devido aos valores monitorizados e ao término dos benefícios fiscais associados em 2012, pelo que a decisão de opção desta tecnologia é tomada pelo modelo por critérios de custo-eficácia.

- Não é considerado um custo directo de emissão de CO₂ associado às actividades geradoras de emissões de GEE; no entanto, nos cenários em que se considera um tecto de GEE global para o País, é gerado um preço sombra pelo modelo que constitui um dos critérios para a decisão de custo-eficácia;
- Não são consideradas, *a priori*, metas de E-FRE, ou subsídios e *feed-ins* a tecnologias, pelo que a decisão do modelo com base em critérios de custo eficácia será feita com base nos custos das tecnologias.

Em termos de política climática, não são considerados limites às emissões de GEE até 2020 porque os objectivos de política climática em 2020, decorrentes da aplicação do pacote energia-clima da União Europeia a Portugal, não são ultrapassados. Para este último caso, as emissões geradas pelas actividades sujeitas ao effort-sharing ficam abaixo do objectivo para Portugal (+1% face às emissões verificadas em 2005), e as emissões geradas pelas actividades abrangidas pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão, não são sujeitas a qualquer teto por tal não fazer sentido tendo em conta as regras deste mecanismo a vigorar no período 2013-2020. Para o resto do período até 2050, não foi imposto qualquer objectivo de política climática, representando os tetos de emissão condições para análise de trajetórias.

Quadro 12: Capacidade total imposta com investimentos decididos em construção/projetados (GW)

Hídrica	2010: 4.8; 2015: 7.1; 2020: 7.9 2010: Mini-hídricas; 2015: Mini-hídricas, Picote II, Bemposta II, Alqueva II, Ribeiradio, Baixo Sabor, Venda Nova III, Foz Tua, Salamonde II; 2020: Mini-hídricas, Fridão, Paradela II
Gás Natural (não CHP)	2010. 2015: 3.83 [Tapada do Outeiro e Ribatejo (2.166) + 2 grupos de Lares (0.860)]+2 grupos Pego (0.784)];
Eólica on-shore	2010: 3.9; 2015: 5.4;
Eólica off-shore	2010: 0; 2015: 0;
Biogás	2010: 0.028;
Solar PV Roof Panel	2010: 0.029
Solar PV Centralizado	2010: 0.096
Solar termoeléctrico de concentração	2015: 0.016
Ondas	2010: 0.0042; 2015: 0.0042;
Biomassa não CHP	2010: 0.1; 2015: 0.1;
Resíduos	2010: 0.09; 2015: 0.09;
Carvão	2010: 2015: 1.78; 2020: 0.58

CENÁRIOS BAIXO CARBONO 2050

São considerados como cenários de baixo carbono os que cumprem com os objectivos de descarbonização das economias e que consideram uma redução doméstica das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) a nível Europeu, de 80% em 2050 face às emissões registadas em 1990 [13]. Este objectivo de redução foi adoptado na cimeira G8 de L'Aquila, em Julho 2009, tendo o Conselho Europeu adoptado objectivos de redução de 80-95% em 2050, em Outubro 2009. Tomando como base os resultados do Roteiro de Baixo Carbono para a Europa, constata-se que o sector da energia e processos industriais é passível de sofrer uma redução de emissões de CO₂ de cerca de 70% no período 1990 a 2050. Assim, considerando as emissões abrangidas pelo modelo TIMES_PT, foram definidos dois objectivos de redução de emissões de GEE em 2050, que incidem sobre os dois cenários de evolução ALTO (CA) e BAIXO (CB):

- **CB70:** cenário **Baixo** de evolução socio-economica com uma **redução de 70%** de emissões de GEE em 2050 face a 1990, alinhado com a expectativa Europeia;
- **CA70:** cenário **Alto** de evolução socio-economica com uma redução de **redução de 70%** de emissões de GEE em 2050 face a 1990, alinhado com a expectativa Europeia;
- **CB60:** cenário **Baixo** de evolução socio-economica com uma redução de **redução de 60%** de emissões de GEE em 2050 face a 1990, mais conservador do que a expectativa Europeia;
- **CA60:** cenário **Alto** de evolução socio-economica com uma redução de **redução de 60%** de emissões de GEE em 2050 face a 1990, mais conservador do que a expectativa Europeia;

Para efeitos de comparação, são ainda considerados:

- **CBSM:** cenário **Baixo** de evolução socio-economica **sem** qualquer **limite de emissões** até 2050;
- **CASM:** cenário **Alto** de evolução socio-economica **sem** qualquer **limite de emissões** até 2050;

Para as emissões não abrangidas pelo modelo TIMES_PT, como as emissões fugitivas e os gases fluorados, não foi imposto qualquer objectivo de redução de emissões. No entanto, a sua estimativa considerou os resultados obtidos pelo modelo, designadamente ao nível da actividade da refinação e distribuição de produtos petrolíferos e gás natural com o objectivo de estimar as emissões fugitivas, e o nível de refrigeração nos vários sectores de actividade para estimar as emissões de gases fluorados.

Foram ainda conduzidos exercícios de modelação considerando hipóteses alternativas com vista a avaliar objectivos específicos, nomeadamente:

- Redução dos custos de investimento do veículo (100%) eléctrico, com o objectivo de avaliar a taxa de penetração desta tecnologia;
- Transferências modais na mobilidade de passageiros e mercadorias, com o objectivo de avaliar o impacto no consumo de energia e de emissões de GEE;
- Objectivos de redução de emissões de GEE em 2020, diferenciados para as actividades abrangidas e não abrangidas pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), mais exigentes do que os atualmente contemplados no Pacote Energia-Clima da Comissão Europeia.

I.2. ROTEIRO NACIONAL DE BAIXO CARBONO

I.2.1. VIABILIDADE TECNOLÓGICA PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO EM PORTUGAL

Como referido anteriormente, a ferramenta de modelação TIMES_PT, foi utilizada para avaliar a viabilidade tecnológica do sistema energético nacional em cenários de baixo carbono. O facto de se obter uma configuração para o sistema energético, que permite simultaneamente satisfazer a procura de energia e cumprir os objectivos de restrição definidos, permite-nos afirmar que existe viabilidade tecnológica para Portugal atingir reduções em 2050 da ordem dos 60% e 70% face a 1990 (relativamente às emissões do sistema energético). Refira-se que o conjunto de resultados obtidos, nomeadamente, balanços de energia primária e final, perfil tecnológico de produção e consumo de energia e desagregação sectorial de emissões, traduzem a solução óptima da perspectiva do custo mínimo do sistema.

A evolução das emissões de GEE para os vários cenários analisados é ilustrada na Figura 13, que engloba: i) as emissões do sector energético (combustão e processos industriais) contabilizadas directamente pelo modelo TIMES_PT, ii) as emissões fugitivas de combustíveis, e iii) as emissões decorrentes das actividades de produção e uso de gases fluorados.

A economia Portuguesa no período 1990 a 2005 sofreu um aumento significativo das suas emissões de GEE por via da melhoria das condições de conforto e poder de compra da população, facto suportado pelo andamento do consumo de combustíveis (+10%), de eletricidade (+96%) que recorria sobretudo a combustíveis fósseis. Quando não é imposta qualquer meta de redução, observa-se em 2050 um andamento entre +39% e -21% face a 1990, para os cenários Alto e Baixo respectivamente. O andamento dos cenários analisados pode ser igualmente avaliado através dos indicadores emissões *per capita* e intensidade carbónica do PIB (Figura 13 e Figura 14).

Para efeitos de comparação com o Roteiro Europeu foram examinadas as percentagens de redução das emissões de GEE para os sectores mais importantes (Figura 15 e Quadro 13: Emissões sectoriais de GEE). O Anexo 6 apresenta um maior detalhe sectorial das emissões de GEE, seguindo desagregação do NIR e permitindo apoiar algumas das observação apresentadas no corrente capítulo.

Em 2020, e sem a implementação do Pacote Energia-Clima, não é expectável que ocorram reduções nas emissões de GEE face a 1990, verificando-se um aumento entre 21-31% (Cenário Baixo-Alto). De facto, com exceção das emissões de combustão da agricultura e da indústria num cenário Baixo, que resultam de uma redução de atividade e não de medidas de mitigação, não se verificam quaisquer reduções sectoriais face a 1990.

No longo prazo, nos cenários com metas de redução, verifica-se que a geração de eletricidade terá um papel fundamental numa economia de baixo carbono, em linha com os resultados apresentados no Roteiro Europeu. A análise efectuada para Portugal, e ilustrada na Figura 15, mostra que, em termos absolutos, será o sector da geração de eletricidade e calor o

responsável por uma maior redução das emissões totais, resultante de do aumento de competitividade das tecnologias de base renovável. A eletricidade pode igualmente substituir parcialmente a utilização de combustíveis fósseis nos transportes, contribuindo para reduções neste sector, como se mostra na Figura 15. De facto, apesar de, tal como constatado no Roteiro Europeu, as emissões dos transportes sofrerem um aumento das suas emissões até 2030, a partir desse período verifica-se um decréscimo atingindo em 2050 reduções totais na ordem dos 64% a 71% (CB60-CA60) e de 84% a 85% (CB70-CA70). Esta substituição de combustíveis contribui igualmente para a redução das emissões da refinação decorrente da diminuição da sua atividade por falta de procura.

Perspectiva-se também para a indústria uma redução das suas emissões em 2050, apesar do acréscimo espectacular entre 2020 e 2040. Desagregando as emissões da indústria em combustão e processo, verifica-se que a redução acentuada das primeiras (mais de 76%, ver Anexo 6) é contrariada pelo aumento das emissões de processo (4 a 72%), decorrentes da contabilização do F-gases inexistente em 1990 e do aumento da actividade industrial, sobretudo no cenário Alto em que se preconiza um crescimento económico significativo, a par de uma crescente contribuição dos sectores de produção de bens transaccionáveis. De facto, no longo prazo, o sector industrial passa a ser o sector com maior peso das emissões nacionais.

No caso dos edifícios (onde se inclui o sector residencial e comercial), e apesar de se verificar até 2030 um aumento significativo das suas emissões, resultantes sobretudo do sector dos serviços (ver Anexo 6), observa-se uma redução de emissões em 2050 entre 54 a 71% (CB60 a CA70). Apesar de estas reduções ficarem aquém das obtidas pelo Roteiro Europeu, importa referir que as emissões tiveram um acréscimo muito significativo entre 1990 e 2009, especialmente no sector dos serviços que sofreu um aumento de +149% neste período.

Para efeitos de análise foram ainda considerados dois universos, as emissões abrangidas pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), e as atividades fora do CELE, sobre os quais incidem compromissos diferentes para Portugal. Refira-se ainda que a análise das emissões tem como base a comparação com o ano 2005. O anexo 5 apresenta a definição de âmbito do CELE utilizada no presente exercício de modelação, sublinhando-se deste já que, para os sectores cujas emissões não se encontram totalmente abrangida pelo CELE, foi considerada a proporção verificada em 2009 por todo o horizonte de análise. Naturalmente esta abordagem tem limitações uma vez que se assume que a estrutura do tecido industrial (com excepção da cogeração) se mantém até 2050, ou seja, assume-se que as novas instalações terão dimensões e emissões que não deverão alterar o perfil de abrangência em 2009, pelo que análise desta diferenciação entre emissões CELE e emissões fora do CELE a longo prazo deverá ser cuidadosa.

De acordo com as emissões apresentadas no Quadro 14 verifica-se, para as atividades não abrangidas pelo CELE, uma redução das emissões em todos os anos e cenários de mitigação. De facto, em 2020, mesmo sem considerar qualquer meta de redução observa-se ser custo eficaz diminuir as emissões das atividades não abrangidas pelo CELE entre -12% a -17%, estando em linha com o cenário Baseline da Comissão para Portugal (-11%) no âmbito do *working paper: Analysis of options beyond 20% GHG emission reductions: Member State results* [14]. De notar, no entanto, que o presente exercício de modelação não considera todas as emissões não abrangidas pelo CELE. No que respeita aos sectores em CELE, estima-se, comparativamente a 2005, igualmente uma redução em todos os cenários e anos, atingindo em 2020 reduções da ordem dos -19% a -27%, sobre as quais não é possível aferir qualquer comparação na medida em que ainda não do conhecimento público o esforço que as empresas nacionais estarão sujeitas.

No longo prazo as emissões em CELE aumentarão o seu peso nas emissões totais (42% em 2005 para 62 a 67% nos cenários Baixo e Alto respectivamente, em 2050), dado que a maior redução ocorre nas emissões (do sistema energético) fora do CELE. Aqui, estima-se uma redução em 2050, face a 2005, em 77% no cenário de redução de 60%, e em 82 a 84% no cenário de redução de 70%, contrariamente ao máximo de 73% de

redução das emissões do CELE. Esta redução acentuada das emissões fora do CELE prende-se sobretudo com o sector dos transportes, e com o sector da cogeração. No entanto, no caso da cogeração, a redução justifica-se pela alteração do âmbito: em 2008, cerca de 70% das emissões da cogeração encontravam-se fora do CELE enquanto em 2050 apenas 5-6% das emissões não estão abrangidas (ver no Anexo 5 a definição do âmbito do CELE para a cogeração).

A descarbonização da economia como a preconizada no presente estudo pode ser visualizada pela trajetória esperada de indicadores como as emissões per capita (Figura 13) ou a intensidade carbónica do PIB (Figura 14). A consideração de metas de redução induz uma diminuição significativa das emissões per capita até 60% em 2050, passando de 5.6 tCO₂ eq. per capita em 2010 para valores inferiores a 2 tCO₂ eq. per capita no cenário mais restritivo (C70) em 2050. Na ausência de metas de redução, a solução custo-eficaz desenhada pelo modelo TIMES_PT conduz a uma redução ligeira em 2050 para 3.7 a 5.3 tCO₂ eq. per capita nos cenários Baixo e Alto respectivamente. No anexo 6 é apresentada a série completa deste indicador para os vários cenários. No caso da intensidade carbónica observa-se igualmente uma redução em todos os cenários podendo atingir cerca dos 90% em 2050 no CB70.

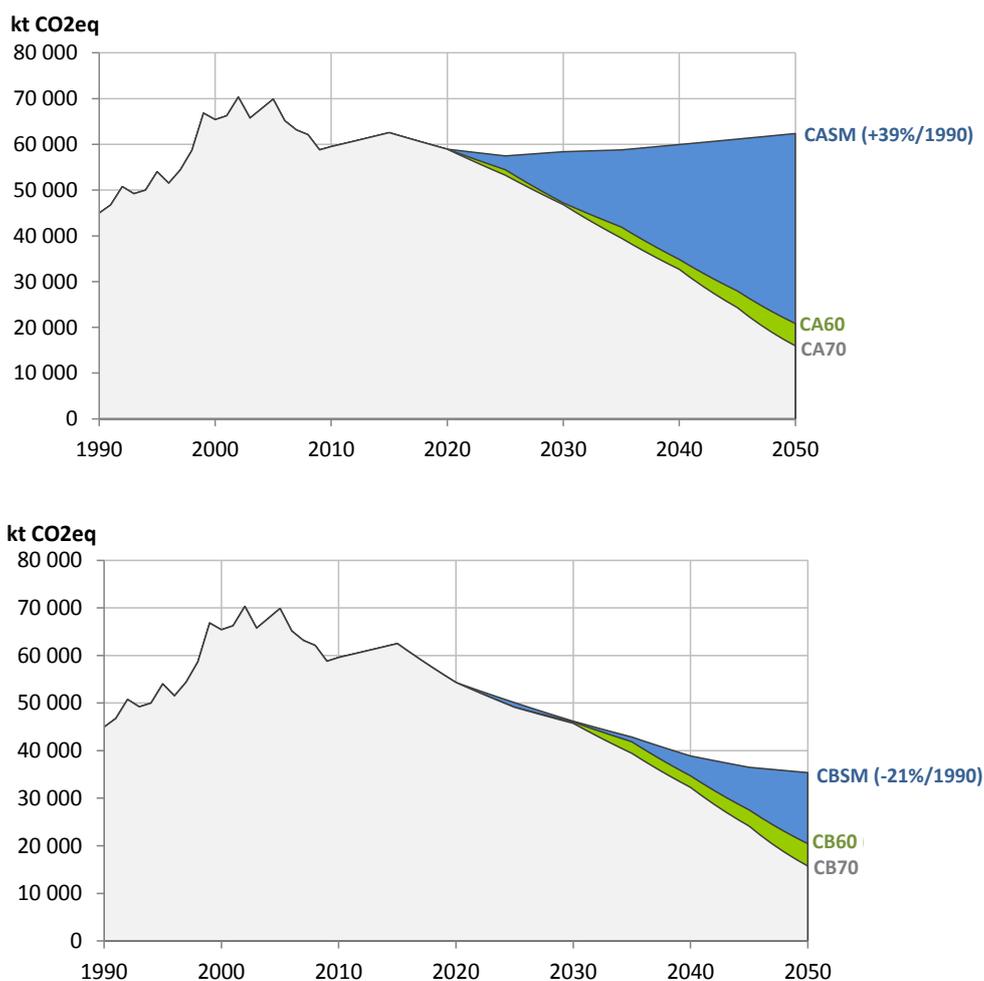


Figura 12: Trajetória das emissões de GEE para os cenários de baixo carbono, e para um cenário sem metas de redução. (Percentagem das emissões de GEE em 2050 face às emissões de 1990)

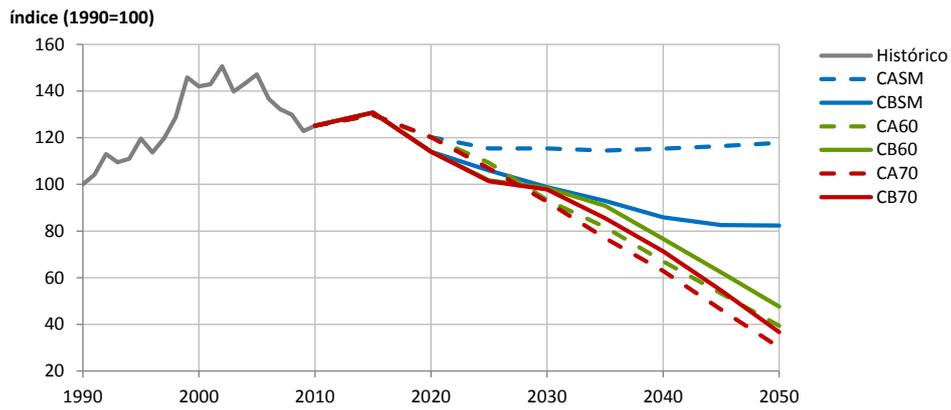


Figura 13: Evolução das emissões de GEE per capita no período 1990 a 2050

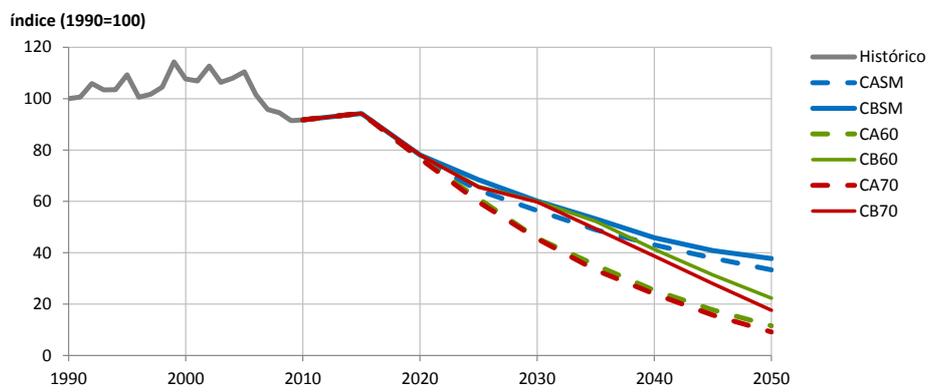


Figura 14: Evolução da intensidade carbônica do PIB no período 1990 a 2050

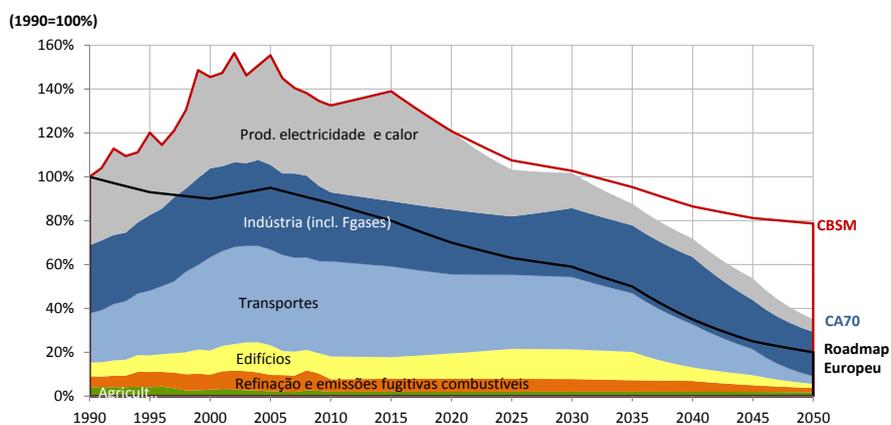
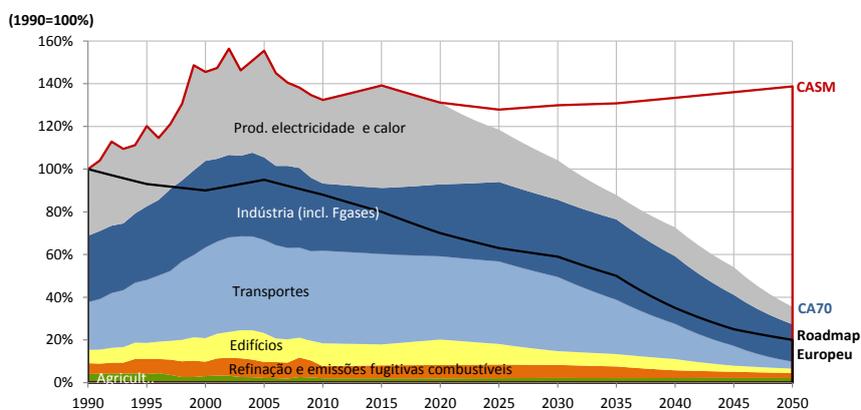
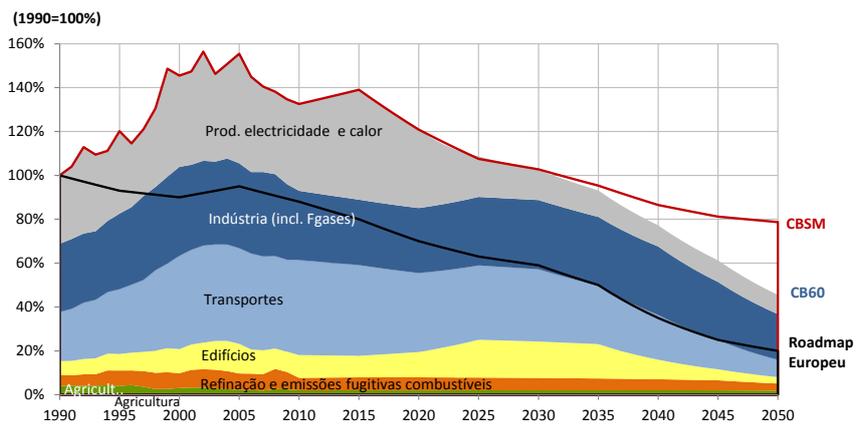
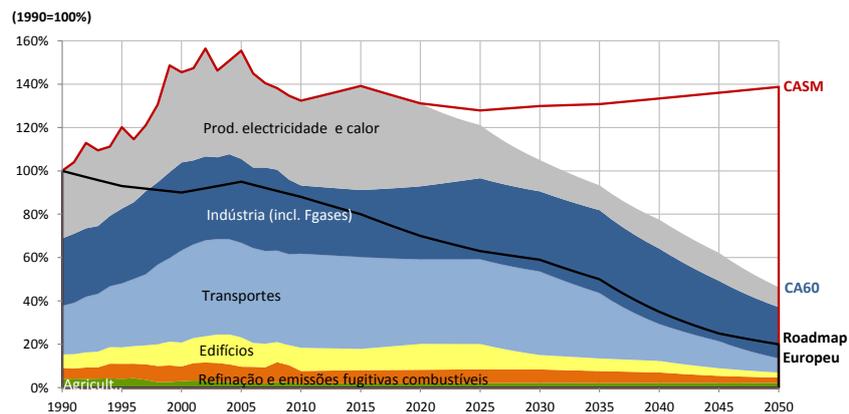


Figura 15: Evolução sectorial das emissões de GEE (1990=100%), em cenários de redução de 60% e de 70%, e comparação com o cenário sem meta de redução.

Quadro 13: Emissões sectoriais de GEE

			kt CO2eq.							Δ(./1990) (%)				Perfil sectorial (%)						
			1990	2005	2009	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	1990	2005	2009	2020	2030	2040	2050
Cenário 60	Total	Baixo	44 954	69 873	58 790	54 346	46 012	34 694	20 428	21	2	-23	-55	n.a.						
		Alto				59 003	47 174	34 860	20 827	31	5	-22	-54							
	Produção de Electricidade e Calor	Baixo	14 018	22 451	17 398	16 074	6 113	4 321	3 927	15	-56	-69	-72	31	32	30	30	13	12	19
		Alto				17 196	6 511	6 013	4 134	23	-54	-57	-71				29	14	17	20
	Indústria (incl. process. Ind.)	Baixo	13 971	17 370	13 713	13 294	14 165	14 027	9 342	-5	1	0	-33	31	25	23	24	31	40	46
		Alto				15 139	16 598	15 620	10 606	8	19	12	-24				26	35	45	51
	Transportes	Baixo	10 075	19 610	18 862	16 197	14 823	9 173	3 577	61	47	-9	-64	22	28	32	30	32	26	17
		Alto				17 501	17 322	7 660	2 965	74	72	-24	-71				30	37	22	14
	Edifícios (residencial e serviços)	Baixo	2 796	6 089	4 162	5 188	7 461	4 011	1 296	86	167	43	-54	6	9	7	10	16	12	6
		Alto				5 398	2 990	2 382	1 023	93	7	-15	-63				9	6	7	5
	Agricultura	Baixo	1 814	986	1 096	905	910	901	821	-50	-50	-50	-55	4	1	2	2	2	3	4
		Alto				945	949	984	997	-48	-48	-46	-45				2	2	3	5
	Refinação e emissões fugitivas	Baixo	2 280	3 366	3 559	2 689	2 539	2 260	1 466	18	11	-1	-36	5	5	6	5	6	7	7
		Alto				2 824	2 804	2 201	1 103	24	23	-3	-52				5	6	6	5
Cenário 70	Total	Baixo	44 954	69 873	58 790	54 346	45 749	32 267	15 705	21	2	-28	-65	n.a.						
		Alto				59 003	46 792	32 693	15 975	31	4	-27	-65							
	Produção de Electricidade e Calor	Baixo	14 018	22 451	17 398	16 074	7 201	3 752	2 575	15	-49	-73	-82	31	32	30	30	16	12	16
		Alto				17 196	8 320	6 057	3 657	23	-41	-57	-74				29	18	19	23
	Indústria (incl. process. Ind.)	Baixo	13 971	17 370	13 713	13 294	14 131	13 802	9 076	-5	1	-1	-35	31	25	23	24	31	43	58
		Alto				15 139	16 242	14 235	7 869	8	16	2	-44				26	35	44	49
	Transportes	Baixo	10 075	19 610	18 862	16 197	14 823	8 839	1 591	61	47	-12	-84	22	28	32	30	32	27	10
		Alto				17 501	15 634	7 421	1 486	74	55	-26	-85				30	33	23	9
	Edifícios (residencial e serviços)	Baixo	2 796	6 089	4 162	5 188	6 074	2 772	823	86	117	-1	-71	6	9	7	10	13	9	5
		Alto				5 398	2 904	2 370	914	93	4	-15	-67				9	6	7	6
	Agricultura	Baixo	1 814	986	1 096	905	910	878	774	-50	-50	-52	-57	4	1	2	2	2	3	5
		Alto				945	949	984	997	-48	-48	-46	-45				2	2	3	6
	Refinação e emissões fugitivas	Baixo	2 280	3 366	3 559	2 689	2 608	2 224	866	18	14	-2	-62	5	5	6	5	6	7	5
		Alto				2 824	2 743	1 625	1 052	24	20	-29	-54				5	6	5	7

Quadro 14: Emissões de GEE abrangida e não abrangidas pelo Comércio de Licenças de Emissão

			kt CO2eq.						Δ(.../2005) (%)					Perfil sectorial (%)					
			2005	2009	2020	2030	2040	2050	2009	2020	2030	2040	2050	2005	2009	2020	2030	2040	2050
Cenário 60	CELE	Baixo	36 426	28 261	26 714	18 297	16 534	12 671	-22	-27	-50	-55	-65	52	48	49	40	48	62
		Alto			29 573	22 938	19 197	13 121		-19	-37	-47	-64			50	49	55	63
	Não CELE	Baixo	33 447	30 529	27 631	27 715	18 160	7 757	-9	-17	-17	-46	-77	48	52	51	60	52	38
		Alto			29 429	24 235	15 663	7 706		-12	-28	-53	-77			50	51	45	37
Cenário 70	CELE	Baixo	36 426	28 261	26 714	19 644	15 825	10 491	-22	-27	-46	-57	-71	52	48	49	43	49	67
		Alto			29 573	22 386	17 358	9 864		-19	-39	-52	-73			50	48	53	62
	Não CELE	Baixo	33 447	30 529	27 611	26 105	16 442	5 214	-9	-17	-22	-51	-84	48	52	51	57	51	33
		Alto			29 370	24 406	15 335	6 110		-12	-27	-54	-82			50	52	47	38

I.2.2. VIABILIDADE ECONÓMICA PARA CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO EM PORTUGAL

A viabilidade tecnológica para atingir uma economia de baixo carbono tem subjacente a substituição tecnológica nos vários sectores da economia, facto que é suportado por uma dinâmica económica pautada por investimentos diversos, tendo como uma das principais consequências, a alteração na balança comercial dos produtos energéticos. Os quadros seguintes apresentam indicadores de custos, que são entendidos como adicionais aos custos de cenários sem qualquer objectivo de redução de emissões. Salientam-se os seguintes aspectos:

- O custo total adicional para todo o período analisado, face a um cenário sem qualquer meta de redução, varia entre os 5 e os 20 mil milhões de euros, que corresponde entre 3% a 12% do PIB registado em 2010 para uma meta de redução de 70%. Para uma meta de redução de 60% verificam-se custos adicionais entre os 2.7 e os 15 mil milhões, o equivalente a cerca de 2 a 9% do PIB de 2010. Designa-se por custo total o somatório de todos os custos associados ao sistema energético, designadamente, custos de Investimento, operação e manutenção das tecnologias e custos dos recursos energéticos (nacionais e saldo importador). Não estão considerados neste somatório os custos de desmantelamento das instalações de tecnologias no fim do seu tempo de vida.
- Os custos de investimento representam uma das maiores fatias do custo total do sistema, observando valores entre aproximadamente 2 e 12 mil milhões de euros, e entre 1 mil milhão e 10 mil milhões, para os cenários de redução de 70 e 60% respectivamente.
- A poupança em termos de balança comercial de produtos energéticos, no ano 2050, pode atingir os 1.3 mil milhões de euros num cenário Alto para as duas metas de redução (Quadro 16), sendo as maiores poupanças registadas a nível da redução da importação de crude (Quadro 17). No entanto, para alguns anos e *commodities* verifica-se um aumento dos custos associados à sua importação a 2010. Este aumento dos custos não significa necessariamente um aumento da importação de energia primária (ver capítulo I.2.4), mas um aumento do seu custo ao longo do horizonte de análise, tal como apresentado na Figura 11.
- O custo médio de redução de emissões de CO₂ varia em 2050 entre os 140 e os 197 €/2010/t, para os cenários ensaiados (
- Quadro 18) embora o custo marginal possa atingir valores bastante mais elevados (2 a 6 vezes mais elevado dependendo do cenário), para os quais será necessário acomodar instrumentos adequados de forma a não representarem um impacto negativo nas atividades económicas onde se verificam. Sublinhe-se o facto destes custos se reportarem somente às emissões modeladas pela ferramenta TIMES_PT, i.e. energia e processos industriais excluindo emissões fugitivas e F-gases, pela que a sua comparação directa com os valores apresentados pelo Roteiro Europeu deverá ser feita com algumas ressalvas. Todavia, os custos médios de redução de GEE verificados em 2050 (174 e os 197 €/2010/t) encontram-se em linha com os apresentados pelo Roteiro Europeu [9] que se situam entre os 100 e os 370€/t CO₂eq.

Quadro 15: Custos adicionais para os cenários de redução, face a cenários sem qualquer objectivo de redução

	Cenário com meta de redução de 60				Cenário com meta de redução de 70			
	Custos Totais		Custos Investimento		Custos Totais		Custos Investimento	
	M€ ₂₀₁₀	% PIB2010	M€ ₂₀₁₀	% PIB2010	M€ ₂₀₁₀	% PIB2010	M€ ₂₀₁₀	% PIB2010
Baixo	2 744	2	1 134	<1	5 154	3	2 263	1
Alto	15 277	9	10 126	6	20 488	12	12 242	7

Nota: Os custos totais e de investimento reportam-se ao total período de simulação, pelo que são custos descontados, considerando a taxa de desconto referida anteriormente (discounted costs).

Quadro 16: Custos adicionais (M€2010) de importação de energia primária face aos cenários sem meta de redução

Cenário Macroeconómico	2020	Cenário de redução de 60			Cenário de redução de 70		
		2030	2040	2050	2030	2040	2050
Baixo	-11	-50	-141	-109	-78	-347	-542
Alto	-17	-421	-1 032	-1 429	-275	-358	-1 279

Quadro 17: Custos de importação adicionais (M€2010) face aos registados em 2010 para as principais commodities importadas

Commodity	Cenário Macroecómico	2010	Δ(.../2010)						
			2020	Cenário de redução de 60			Cenário de redução de 70		
				2030	2040	2050	2030	2040	2050
Crude	Baixo	4 946	2 324	3 563	3 907	1 046	3 563	3 907	-2 658
	Alto		2 324	3 563	2 810	-3 393	3 563	-1 666	-3 393
Gás Natural	Baixo	1 150	797	854	645	159	1 381	562	-160
	Alto		1 060	1 466	1 061	778	1 029	1 145	697
Carvão	Baixo	193	-57	-209	-209	-209	-210	-209	-118
	Alto		-51	-201	-201	-209	-202	-209	-207
Biomassa ^a	Baixo	3	-3	-3	-3	256	-3	-3	704
	Alto	3	285	178	378	1 144	224	349	1 710

^aBiocombustíveis não incluídos

Quadro 18: Custos de redução de CO2 (€2010/t CO2eq. mitigado)

Custos	Cenário Macroecómico	Cenário de redução de 60%			Cenário de redução de 70%		
		2030	2040	2050	2030	2040	2050
Médios	Baixo	9	11	140	29	20	174
	Alto	24	85	160	36	99	197
Marginais	Baixo	81	17	277	106	55	424
	Alto		218	515		238	1 117

I.2.3. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA ENERGÉTICO NACIONAL EM CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO

Reduções significativas de GEE implicam necessariamente transformações relevantes no sistema energético nacional. A Figura 16 apresenta a configuração actual (2010) do sistema energético Português e as Figuras 17 a 20, as configurações obtidas para os Cenário Alto e Baixo para as duas metas de redução, tendo em conta a evolução tecnológica expectável, em termos de características técnicas e de custos. Em 2050, em todos os cenários comparativamente a 2010, verifica-se em termos gerais:

- Um claro aumento da componente renovável, sendo mesmo a fonte predominante sobretudo para o sector electroprodutor;
- Uma diminuição significativa dos produtos petrolíferos e carvão, denotando-se no entanto uma redução

menos acentuada no cenário CA70 resultante da utilização do carvão no sector do cimento em tecnologias de captura e sequestro de carbono;

- Um aumento da produção de electricidade, quer de forma dedicada, quer através de cogeração;
- Com excepção do cenário CB60, a entrada de um novo vector energético - o hidrogénio, que é utilizado no sector dos transportes, mais especificamente para o transporte de mercadorias e pesados de passageiros.

Nos capítulos seguintes é apresentada uma descrição detalhada da configuração do sistema energético considerando o balanço de energia primária, consumo sectorial de energia final e sector electroprodutor, que suportam as configurações apresentadas.

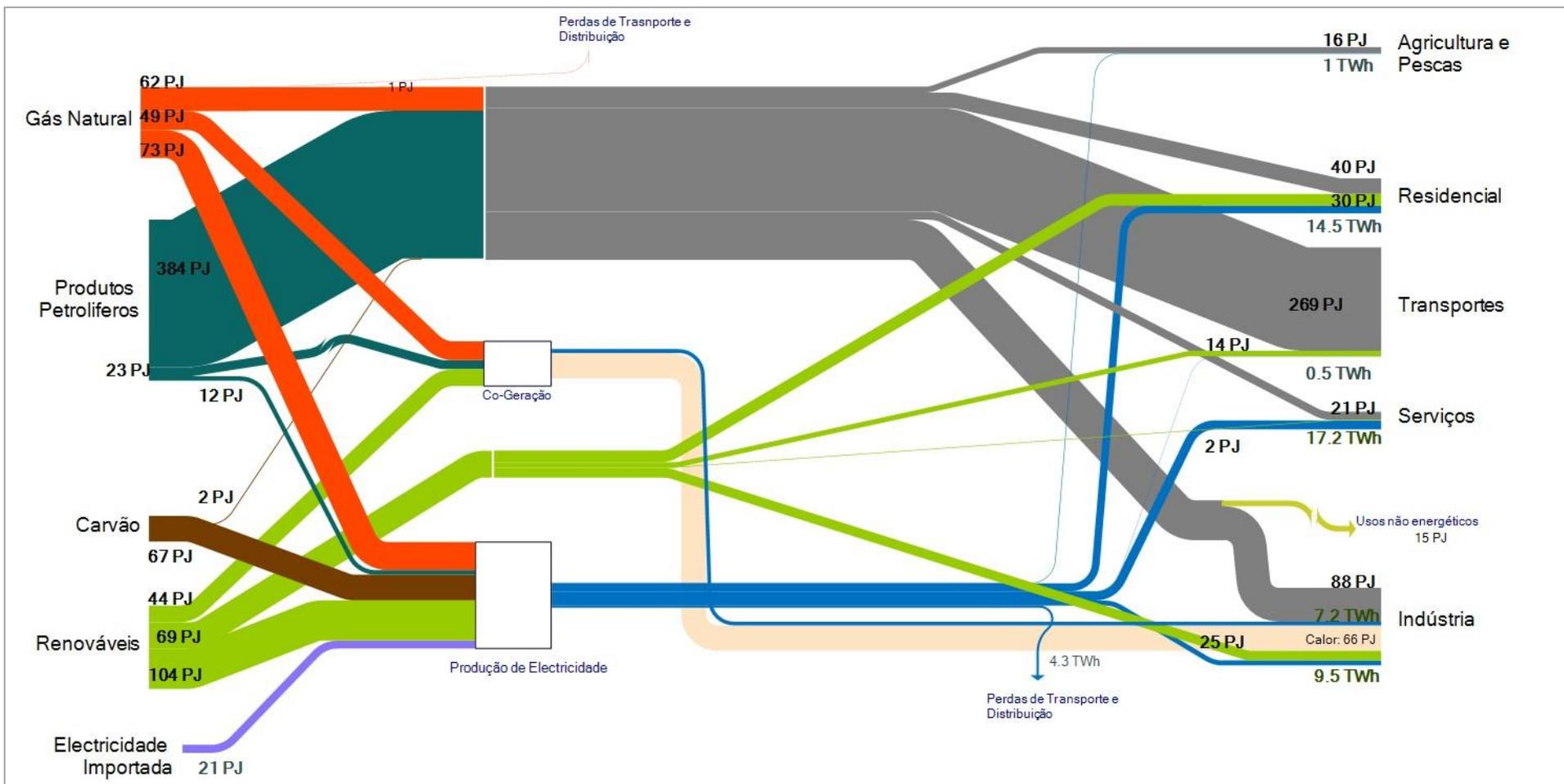


Figura 16: Diagrama do balanço energético em 2010

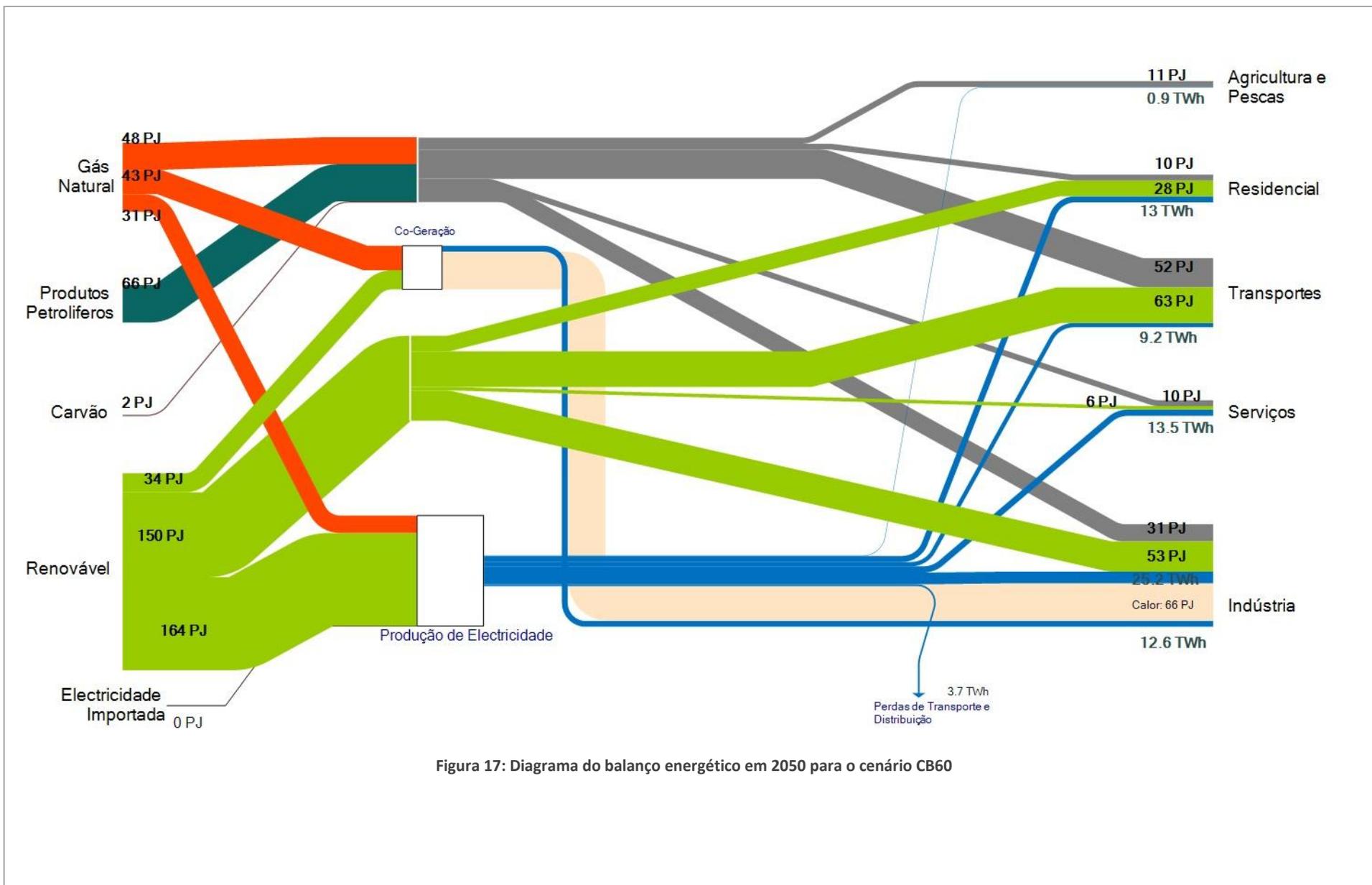


Figura 17: Diagrama do balanço energético em 2050 para o cenário CB60

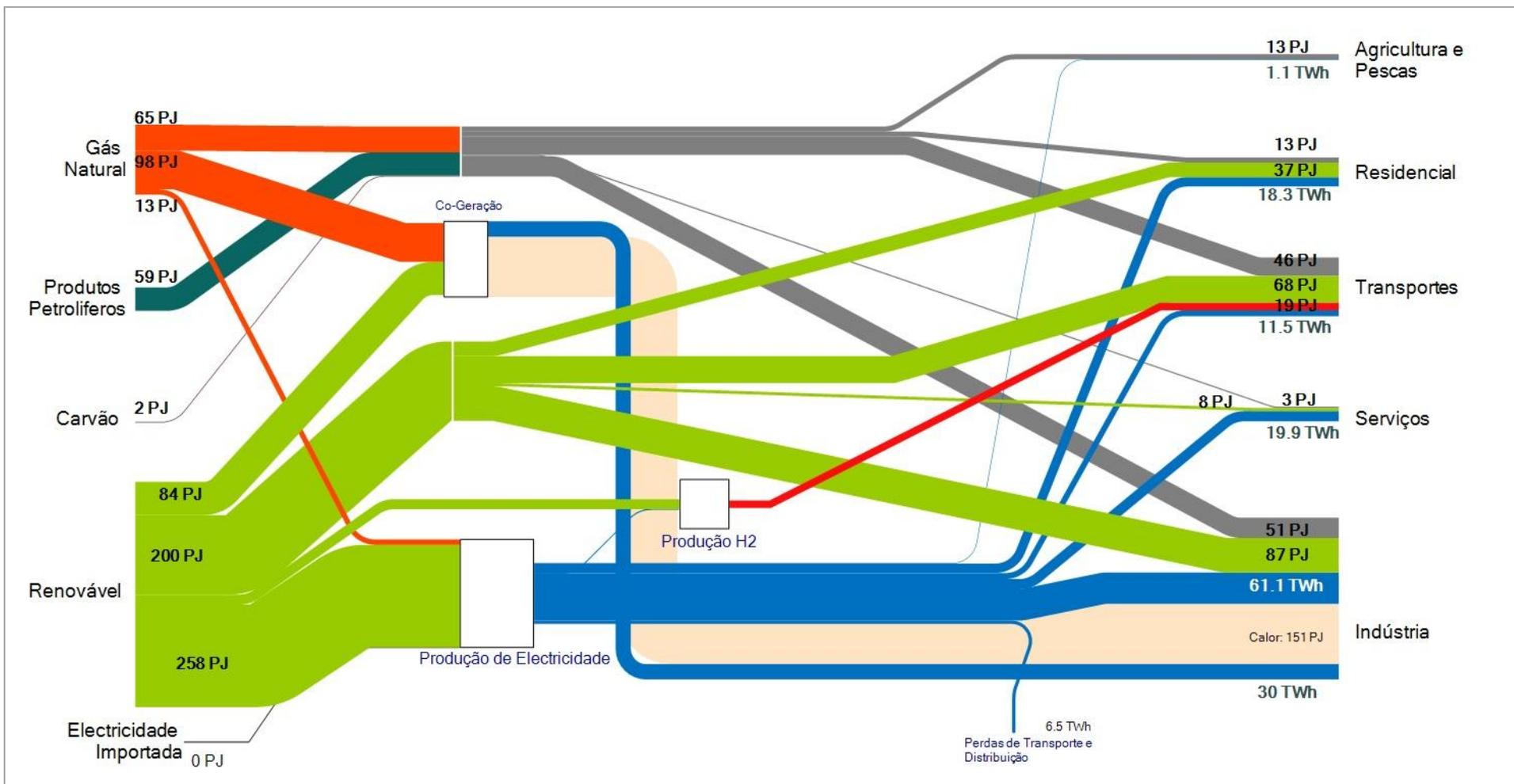


Figura 18: Diagrama do balanço energético em 2050 para o cenário CA60

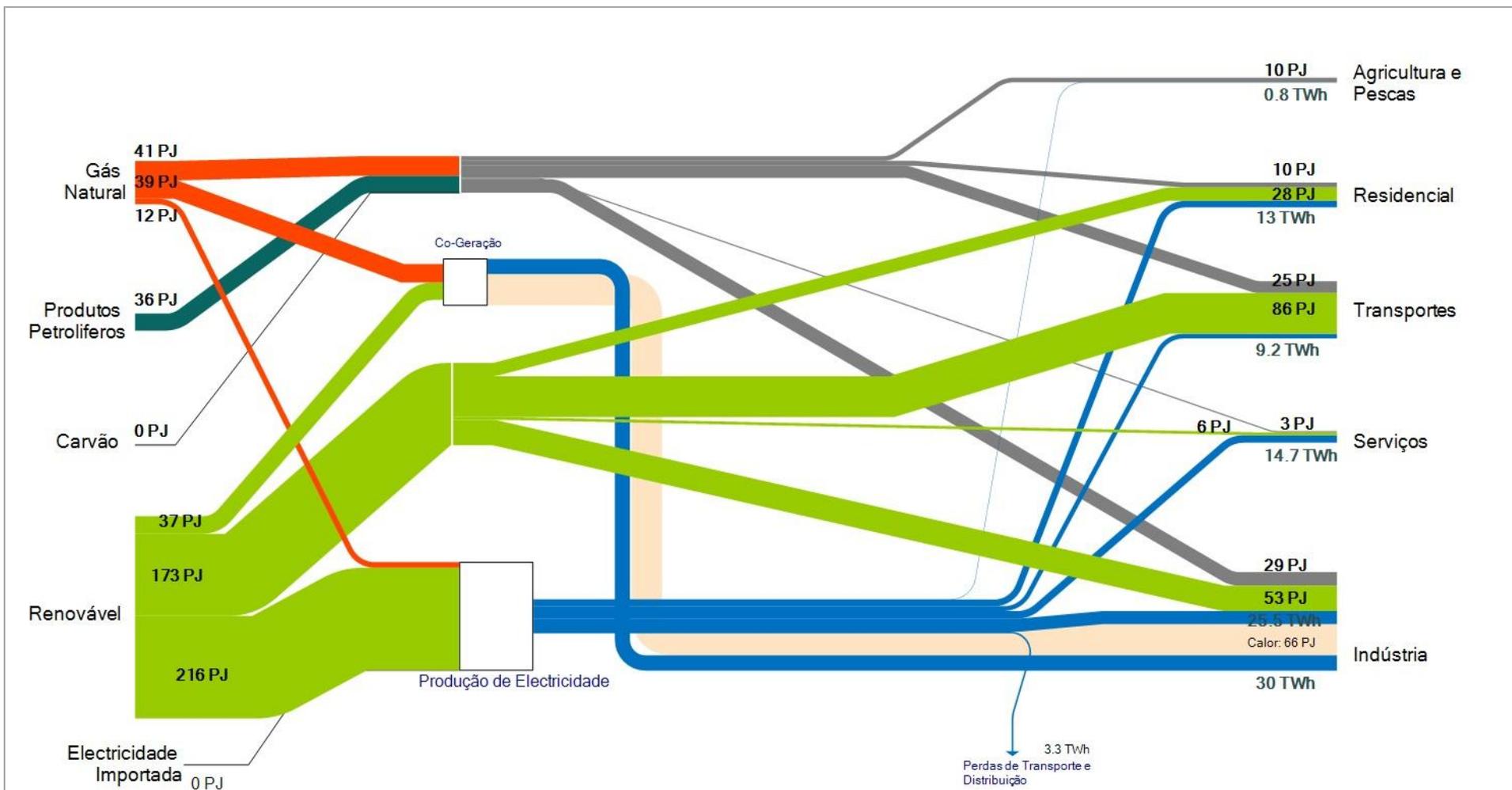


Figura 19: Diagrama do balanço energético em 2050 para o cenário CB70

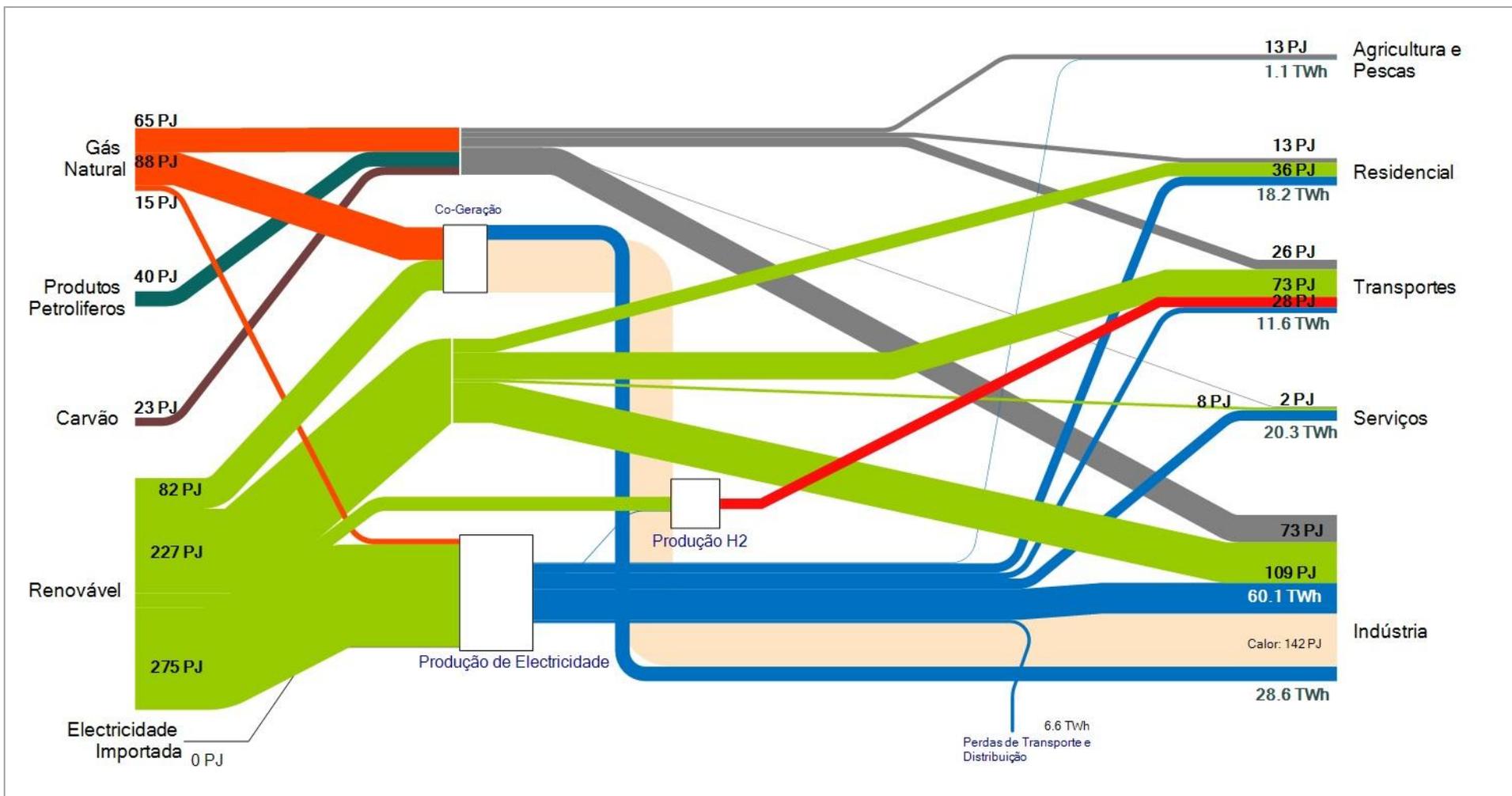


Figura 20: Diagrama do balanço energético em 2050 para o cenário CA70

I.2.4. O PAPEL DOS RECURSOS ENERGÉTICOS ENDÓGENOS E DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA

Portugal é o país da UE27 com a sexta (2009) maior taxa de dependência energética. Sucessivos governos têm feito da redução desta dependência um objectivo de política energética tendo-se conseguido reduzir de 88.5% em 2005 (um ano excessivamente seco e portanto mais dependente de recursos importados para a produção de electricidade) para valores da ordem dos 74% em 2010 (ano húmido), muito longe ainda da média Europeia (53.9% em 2009).

A dependência energética Portuguesa do exterior está fortemente sujeita à hidraulicidade anual, a qual é estrutural para a produção de electricidade. O consumo de energia primária (Figura 21), pautada por uma hidraulicidade média, sugere no longo prazo (2050) uma ligeira redução desta dependência para cerca de 50% a 69%, para os cenários CBSM e CASM respectivamente, ou seja em cenários sem qualquer meta de redução de emissões de GEE. Num cenário de baixo carbono, é expectável uma redução progressiva da dependência energética até atingir os 45% - 50% (CB70-CA70) e 44% - 49% (CB60/CA60).

De facto, em todos os cenários se destaca a perda da importância relativa das ramas e produtos refinados que em 2010 representavam 50% do consumo caindo em 2020 para 35% e em 2050 para o intervalo entre 20-22% nos cenários sem restrição das emissões (CBSM e CASM) e 7% a 15% nos cenários com redução das emissões de GEE. Esta redução significativa da importância dos produtos petrolíferos é fortemente explicada pela mudança tecnológica que se verifica sobretudo no parque automóvel, a qual é explicada em maior detalhe no capítulo I.2.5. Simultaneamente, verifica-se um aumento da importância das renováveis, que cresce de 23% no balanço em 2010 (valor sobredimensionado por se tratar de um ano húmido) para 27%-29% em 2020 e progressivamente para 31% a 50% nos cenários CBSM e CASM e para 67% a 75% nos cenários com meta de redução (CB60 a CA70).

Para além do sector dos transportes, estas variações são determinadas, em grande medida, pela alteração do perfil do sector electroprodutor face a 2010, salientando-se o encerramento das centrais a fuel e a carvão (após 2020), a instalação de novas centrais de gás natural a ciclo combinado e o aumento significativo de electricidade renovável, conforme descritos no capítulo I2.5.

Salienta-se que apesar de se verificar um aumento significativo da utilização dos recursos endógenos (23% em 2010 para 22%-24% em 2020 e 51%-56%/50%-55% [CB60/CA60-CB70/CA70] em 2050) observa-se um novo paradigma energético nacional, menos intensivo em emissões de CO₂, mas que ainda assim obrigará a importação de recursos de bioenergia, sobretudo para utilização na indústria e nos transportes (indirectamente através da produção de biocombustíveis de 2ª geração e hidrogénio).

A evolução do consumo de energia primária nacional de 2010 a 2020 (exibida na Figura 21 através do eixo secundário das ordenadas) pauta-se por uma redução para todos os cenários socioeconómicos Baixo justificada por uma redução de procura associada igualmente a um aumento de eficiência energética. De facto, mesmo nos cenários Alto e até 2040 é possível observar uma redução do consumo de energia, resultante da substituição das tecnologias de oferta e consumo de energia por outras mais eficientes, como detalhado adiante. Em 2050, e face a uma procura tão elevada relativamente a 2010, entre +22% (CA70) e +69% (CASM), mesmo considerando um aumento da eficiência energética verifica-se aumentos no consumo de energia primária superiores a 2010, designadamente entre +2% (CASM/CA60) e +6% (CA70).

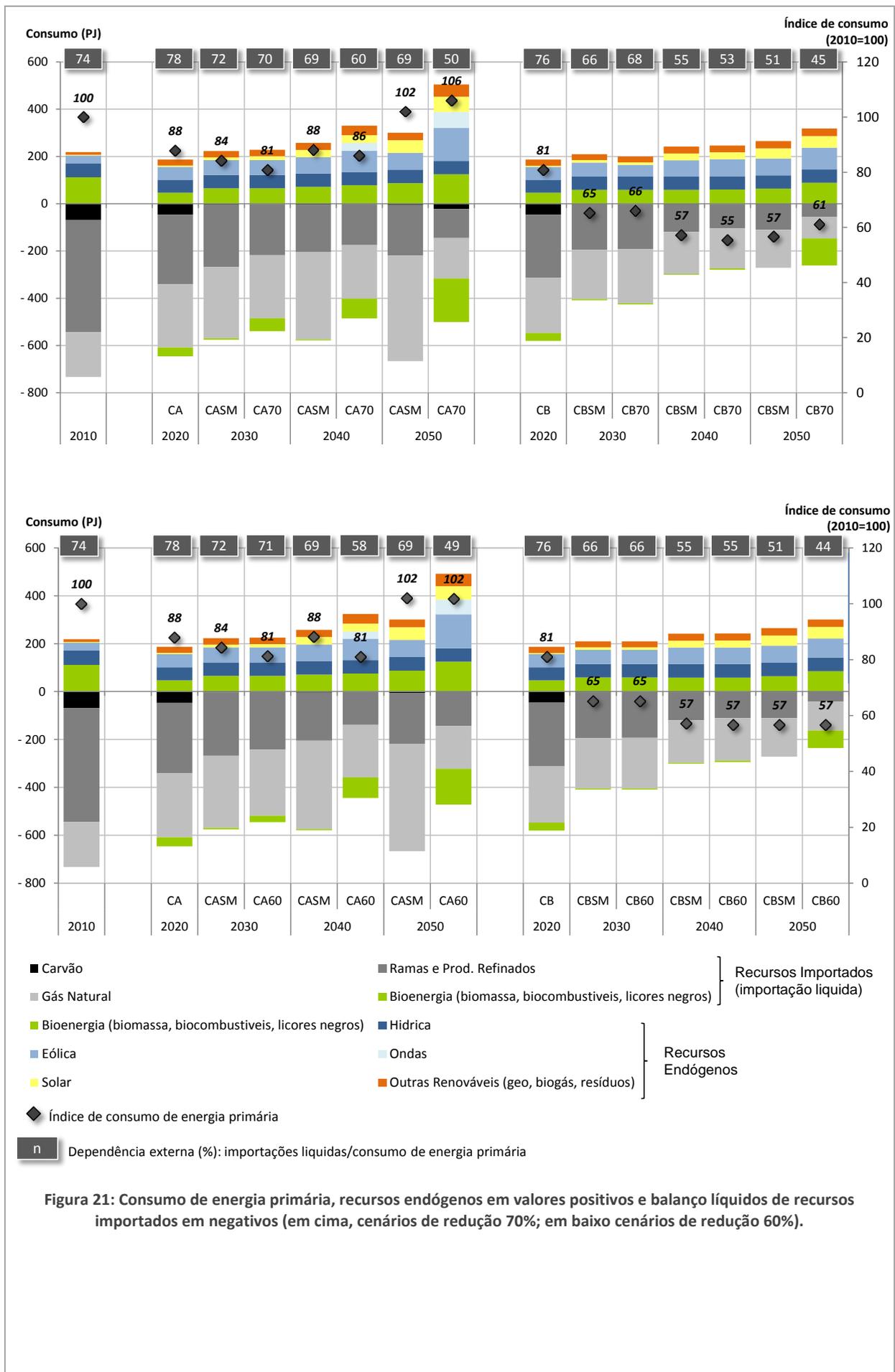


Figura 21: Consumo de energia primária, recursos endógenos em valores positivos e balanço líquidos de recursos importados em negativos (em cima, cenários de redução 70%; em baixo cenários de redução 60%).

I.2.5. REDUÇÃO CUSTO-EFICAZ NOS SECTORES DE ACTIVIDADE ECONÓMICA

Um cenário de baixo carbono, como uma redução de 60 a 70% das emissões de GEE em 2050 face aos valores de 1990, exige alterações relevantes nos vários sectores de actividade económica, sobretudo se tivermos em conta que, durante aquele período, as emissões de GEE atingiram um pico significativo em 2005 (+53% face a 1990 nas emissões associadas à energia e processos industriais).

A Figura 15 dá nota do caminho bastante acentuado de redução de emissões, antevendo alterações significativas na estrutura tecnológica dos sectores produtores e consumidores de energia. As alterações expectáveis serão mais pronunciadas num cenário de crescimento Alto, quando comparadas com a ausência de qualquer meta de redução de emissões em que o patamar de emissões de GEE se manterá perto dos +39% face a 1990.

As secções seguintes descrevem em detalhe o comportamento dos principais sectores face à presença de cenários de redução, designadamente capacidade instalada e produção do sector electroprodutor e consumo de energia final nos edifícios (residencial e comercial), indústria e transportes, sendo ainda focado o balanço o papel da refinação.

Sector Electroprodutor

O sector electroprodutor, que inclui a produção dedicada e a cogeração, é um dos vectores principais na redução das emissões nacionais face ao elevado potencial de energia renovável em Portugal. A Figura 22 apresenta a evolução da potência instalada do sector, sendo notório o aumento significativo da capacidade instalada de base renovável, de 51% em 2010 para cerca de 68-69% em 2020, e posteriormente entre 74-86% em 2050 num cenário sem qualquer restrição das emissões GEE. Nos cenários com meta de redução esta proporção toma-se ainda mais significativa, atingindo em 2050 valores da ordem dos 85-88% nos cenários CB60-CA60 e 89-91% nos cenários CB70-CA70. Estes resultados traduzem assim o elevado potencial custo-eficácia deste tipo de tecnologias.

De acordo com os investimentos efectuados e previstos estima-se que, entre 2010 e 2020, o parque electroprodutor cresça entre 19-22% para um cenário Baixo e Alto, respectivamente. Este crescimento é efectuado sobretudo devido a:

- i) Eólica on-shore, cuja capacidade instalada é 1.7 vezes superior à existente em 2010, atingindo o potencial máximo estabelecido para esse ano Quadro 11);
- ii) Hídrica, com a implementação parcial do PNBEPH, incluindo ampliações de algumas barragens existentes nomeadamente Salamonde, Picote, Venda Nova, Bemposta, Paradela, Alqueva (Quadro 12), com aumentos da capacidade instalada de 63%;

Para além destes investimentos, prevê-se ainda o crescimento em tecnologias de cogeração a gás e de electricidade renovável com menor expressão, nomeadamente cogerações a biogás e solar fotovoltaico. Informação mais detalhada sobre a evolução esperada da capacidade instalada do sector electroprodutor, pode ser encontrada no Anexo 6.

No que se refere ao período de análise entre 2020 e 2050 observa-se um crescimento na capacidade instalada entre os 30-62% num cenário sem restrição (CBSM, CASM) e entre 51%-121% e 50%-120% para os cenários 60 e 70, respectivamente.

Mesmo sem qualquer meta de redução, os recursos endógenos são custo-eficazes para geração de electricidade, nomeadamente:

- iii) O vento onshore e a hídrica (com factor de disponibilidade superior a 10%), atingem o seu potencial máximo (conforme Quadro 11) independentemente do cenário socioeconómico. Sublinhe-se que uma vez que o modelo TIMES_PT não considera distribuição horária de procura de energia este não assume mecanismos de gestão da rede tão finos temporalmente, pelo que barragens com carácter de reversibilidade e cujo objectivo se prende apenas com a gestão da rede (disponibilidade inferior a 10%) não são escolhidas pelo modelo;
- iv) Solar fotovoltaico, que surge com representatividade em 2040, atingindo igualmente o potencial máximo em 2050 num cenário Alto.

Em termos de capacidade instalada as principais diferenças entre os cenários 60 e 70, prendem-se com uma maior capacidade instalada de tecnologias a gás (dedicado e cogeração) nos cenários 60 as quais são compensadas por mais eólica onshore no CB70 e ondas no CA70, facto explicado por uma meta mais restritiva. Em ambos os cenários verifica-se que:

- i) As tecnologias de solar PV (microgeração) são competitivas (sem qualquer subsídio) a partir de 2030 (cenário Alto), atingindo em 2050 o potencial máximo independentemente do cenário socioeconómico;
- ii) Surgem as ondas como uma tecnologia competitiva em 2040 e a eólica offshore em 2050 para um cenário Alto, apesar do seu potencial máximo não ser atingindo;
- iii) Surge a cogeração (associada ao sector da refinação) a gás com CCS em 2030 nos cenários altos, sendo retardado o seu aparecimento para 2040 e 2045 nos cenários CB70 e CB60. Todavia, a capacidade desta tecnologia não possui qualquer expressão 0.11 GW.
- iv) Surge a produção dedicada a gás com CCS em 2050 nos cenários Alto, no entanto, tal como na CHP a sua capacidade é bastante diminuta (menos de 0.3 GW).

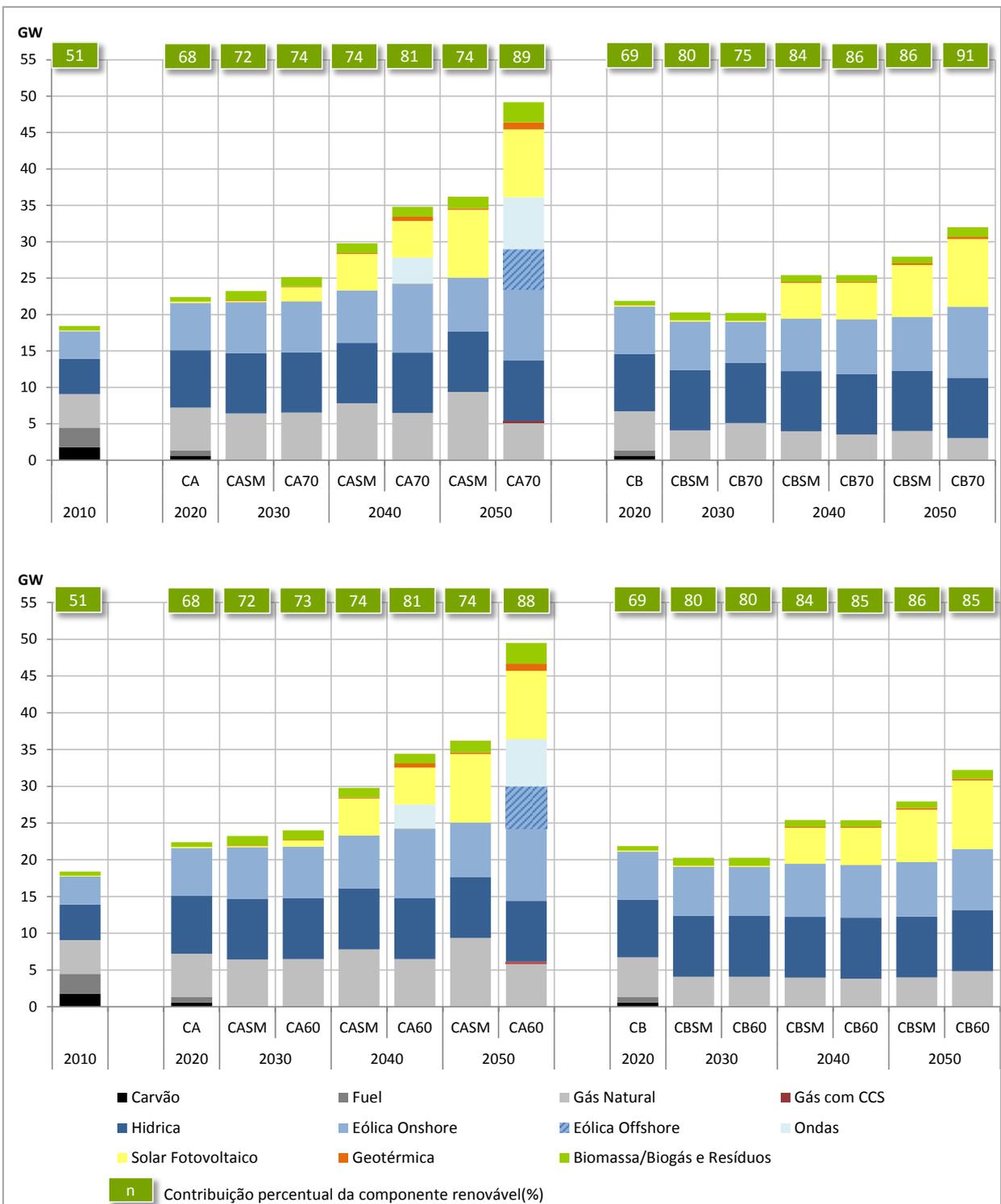


Figura 22: Capacidade instalada para produção de electricidade (dedicada + cogeração) (em cima, cenários de redução 70%; em baixo cenários de redução 60%).

Reflectindo as alterações supramencionadas no parque electroprodutor e na procura de serviços de energia, verifica-se diferenças relevantes na geração de electricidade face a 2010, como se mostra na Figura 23. Salienta-se em 2020 o aumento significativo da produção de electricidade, a qual sofre um acréscimo de 16-23% face

a 2010. Apesar de se verificar um decréscimo/estagnação da electricidade gerada por fontes renováveis: 51-54% em 2020 relativamente a 54% em 2010 é necessário voltar a sublinhar que 2010 foi um ano húmido e portanto a comparação entre estes anos não deverá ser efectuada linearmente.

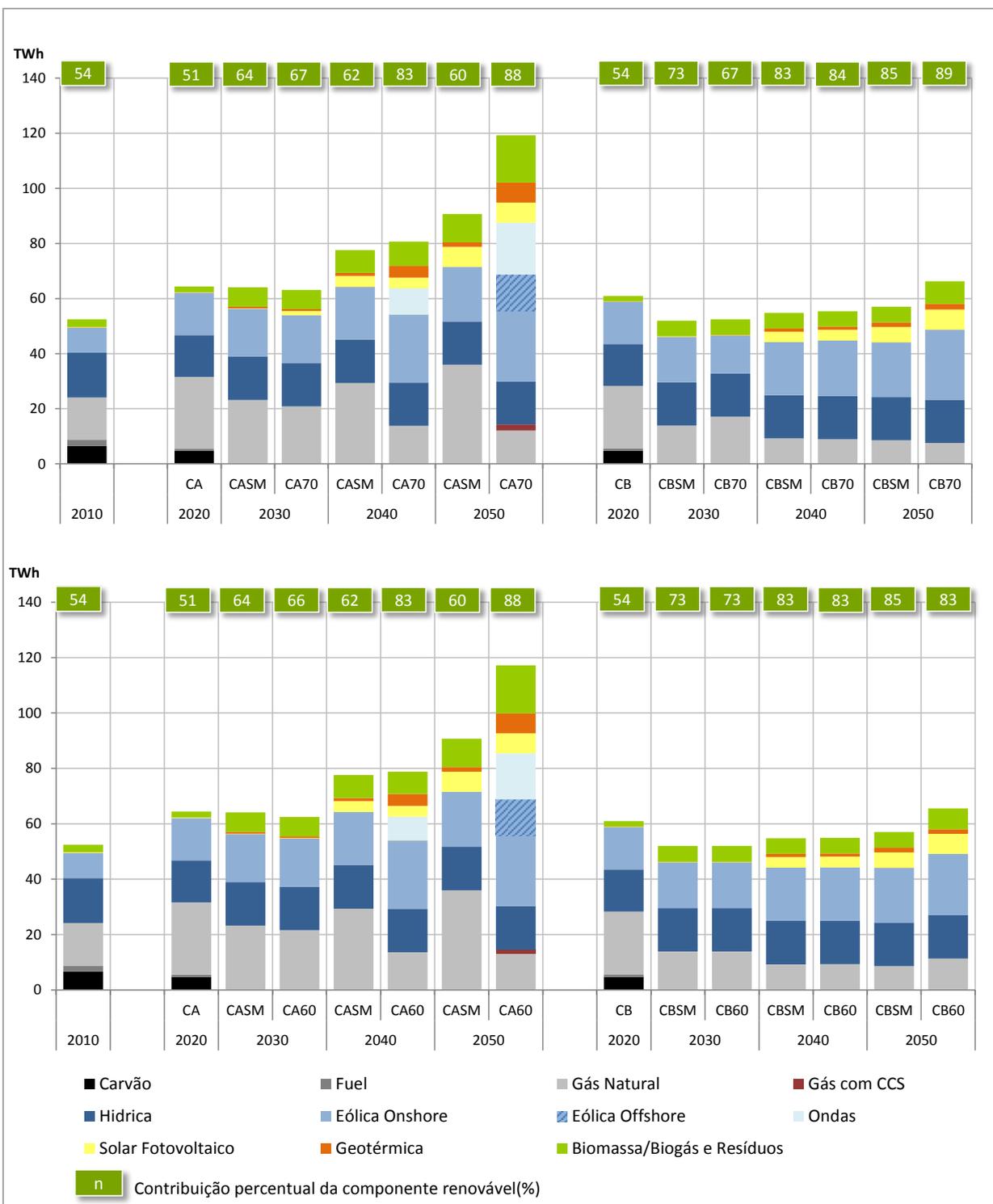


Figura 23: Produção Líquida de eletricidade (dedicada + cogeração)
(em cima, cenários de redução 70%; em baixo cenários de redução 60%).

Entre 2020 e 2050 verifica-se um aumento da electricidade gerada, apesar de em 2030 ocorrer uma estabilização (Cenário Alto) ou um decréscimo (Cenário Baixo) comparativamente a 2020. Este facto é explicado por:

- i) Ocorrer uma alteração da posição de Portugal no que respeita a trocas de electricidade com Espanha que, em 2010 se pautava por um saldo importador positivo, passando a negativo em 2020 e posteriormente nulo a partir de 2030. Assim, e atendendo aos pressupostos assumidos no presente exercício de modelação, prevê-se que em 2020 que as exportações sejam superiores às importações (17PJ), o que contribui para uma produção de electricidade superior às necessidades nacionais. Esta evolução tem uma enorme incerteza associada uma vez que, conforme referido na I.1.2., não é modelado o MIBEL e assim, trocas com Espanha não estão aqui consideradas em função de variações de preços de electricidade fora de Portugal.
- ii) A partir de 2020 são libertados os factores de inércia introduzidos no exercício de modelação (I.1.2.), pelo que ocorre um aumento significativo da eficiência energética que compensa o aumento da procura de energia.

No período posterior a 2020, a electricidade renovável aumenta o seu peso na geração total atingindo em 2050 os 85-60% nos cenários sem meta de redução e os 83-88% e 89-88% nos cenários de meta de redução 60 e 70% (Baixo e Alto), respectivamente. Apesar da elevada representatividade da geração de electricidade renovável a

produção por via hídrica (hidraulicidade média) conjuntamente por combustíveis fósseis asseguram pelo garantias de estabilidade na rede de transporte, em qualquer cenário. Este aumento significativo de electricidade renovável é facilmente visível na Figura 24, onde se apresenta a evolução do factor de emissão do kWh, o qual passa dos 0.61 kg CO₂eq/kwh em 1990 para 0.28 kg CO₂eq/kwh em 2010 (ano húmido) e posteriormente para 0.27/0.26 kg CO₂eq/kwh em 2020 (-1.9% face a 2010). Em 2050 estes valores sofrem um decréscimo muito relevante atingindo gamas entre os 0.08-0.15 (-4 a -2% face a 2010) nos cenários sem meta de redução e entre os 0.05 e os 0.08 (-4 a 5% face a 2020) nos cenários de mitigação.

Adicionalmente, a electricidade é o vector de descarbonização por excelência nos sectores de uso final. Entre 2010 e 2020 num cenário Alto o seu consumo aumenta em todos os sectores (Figura 25), com ênfase para os transportes, cujo peso no total do consumo de electricidade sofre um aumento de 6 p.p. (não considerando as exportações). Entre 2020 e 2050 as alterações mais significativas no consumo de electricidade estão associadas à indústria. Em 2020 a indústria representava cerca de 30-32% do total do consumo de electricidade aumentando para os 40 a 54% em 2050, contribuindo para que outros sectores reduzam o seu peso no total de consumo (exemplo os edifícios que representam 59% a 61% em 2020 diminuem para os 34-44% em 2050 apesar de aumentarem o consumo de electricidade).

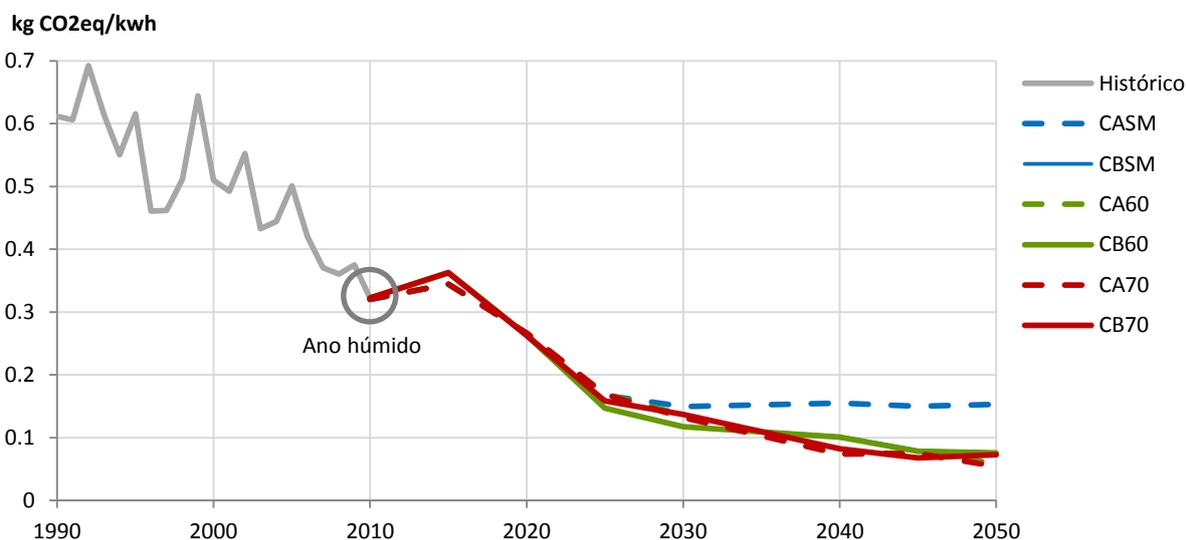


Figura 24: Evolução do factor de emissão do kWh

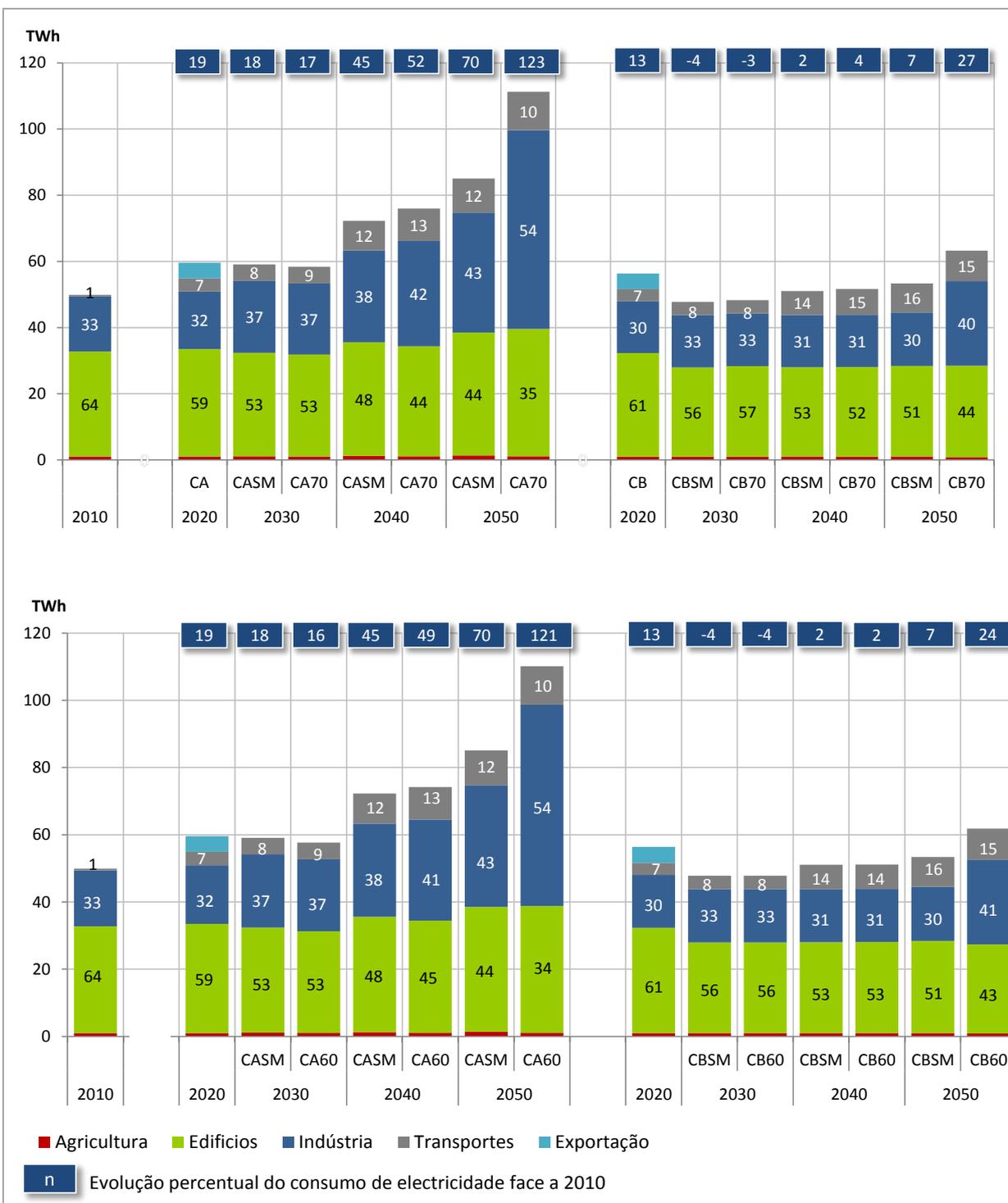


Figura 25: Consumo sectorial de electricidade mais exportações, com indicação do peso dos sectores no consumo total (exportações não incluídas na determinação do peso)

Edifícios

O exercício de modelação não sugere alterações significativas, em termos de substituição de perfil energético entre 2010 e 2020 no sector dos edifícios, com excepção da duplicação do calor proveniente de solar térmico (Figura 26). Este aumento, aliado ao aumento do consumo de electricidade renovável induz a um acréscimo, ainda que ligeiro do consumo de renováveis (46% em 2010 para 48-49% em 2020, contabilizando o calor e electricidade renovável). Sublinhe-se que, na determinação da energia final neste e nos próximos sectores, é contabilizada a electricidade renovável considerando a percentagem total nacional constante na Figura 23.

Dependendo do cenário socioeconómico em causa, projecta-se um aumento de 4% ou um decréscimo de 2% do consumo de energia final para este sector comparativamente a 2010, ainda que ocorra um aumento da procura de serviços de energia (i.e. procura de aquecimento, arrefecimento, iluminação, equipamentos eléctricos, entre outros) entre 12 a 5%. Esta relação entre valores traduz a eficiência energética associada ao sector.

No período entre 2020 e 2050 por sua vez já se observam transformações significativas no sector, salientando-se a redução da importância da biomassa e produtos petrolíferos (predominados pelo GPL) e o aumento da contribuição da electricidade, do isolamento e do calor proveniente de solar térmico e de geotermia. De facto, mesmo sem qualquer meta de redução, observa-se o aumento do consumo de electricidade, o uso de solar térmico (competitivo após 2025) para aquecimento de águas, e a adopção de medidas de isolamento, o que traduz o custo-eficácia destas soluções.

O gás natural por sua vez, até 2040 também vê o peso no sector ser sujeito a um acréscimo, todavia em 2050 e nos cenários associados a uma restrição de GEE sofre uma redução. Estas transformações resultam num aumento muito significativo do papel das renováveis, as quais atingem em 2050 cerca de 99% no cenário de redução de 70.

Em 2050 estima-se uma variação do consumo de energia para este sector que varia nos diversos cenários entre: -3 e 28% (CBSM, CASM), -8 a 21% (CB70, CA70) e -9% a 21% (CB60, CA60) face a 2010, apesar do aumento da procura variar entre os +8% (cenário baixo) e os 44% a 45% (cenário alto) nos cenários com restrições. Esta redução é justificada pela adopção de tecnologias com elevado nível de eficiência energética (e.g. bombas de calor, LEDs na iluminação e equipamentos de classe A+) tal como explicitado seguidamente:

No **aquecimento de espaços** em 2050 a principal alteração face a 2010-2020 é a substituição da biomassa, que em 2010 era responsável por 16% do calor para aquecimento (existente apenas no residencial) e passa a ter uma contribuição máxima de 4% (cenário CB60) e o gásóleo de

aquecimento (24% em 2010 para 13-14% nos cenários sem meta de redução e 0% nos cenários com meta de redução, com excepção do CB60 com 4%). Estas tecnologias são substituídas essencialmente por: i) isolamento (poupanças entre 18% no CASM a 25%/27% nos cenários com meta de redução), (ii) bombas de calor (geram cerca de 45% do calor) e (iii) solar térmico (11% a 20% do calor).

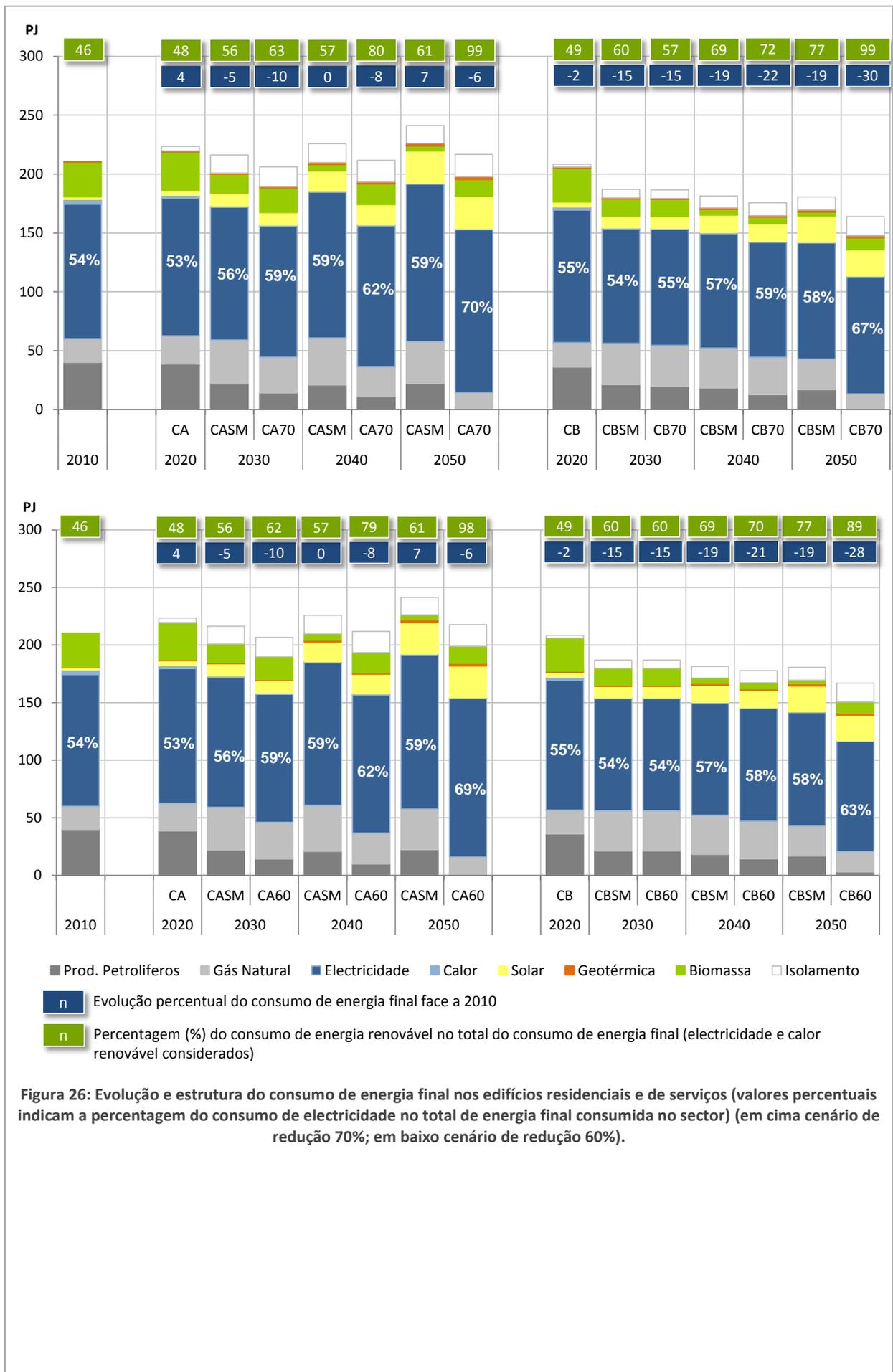
A electricidade que em 2020 contribuía para a satisfação de 36% das necessidades de calor aumenta a sua contribuição para 45%-49% em 2050 nos cenários com meta de redução. Nestes cenários as caldeiras e fornalhas a GPL e gásóleo de aquecimento deixam totalmente de existir sendo substituídas pelas tecnologias supramencionadas.

Entre 2010 e 2050 a principal diferença em termos de **aquecimento de água** diz respeito à importância do solar térmico. Esta tecnologia, que em 2010 satisfazia cerca de 4% das necessidades de aquecimento de água, aumenta para 16%/17% em 2020 e posteriormente entre 54%/55% em 2050, mesmo sem qualquer meta de restrição confirmando o seu custo-eficácia. Também a contribuição da electricidade aumenta durante o período passando dos 25% em 2010, para 31% em 2020 e posteriormente 36% em 2050 nos cenários com meta de redução. Os permutadores de calor geotérmicos passam a ter um papel significativo representando entre 7%-8% da água quente em 2050, versus os 3% em 2020 e a quase inexpressividade de 2010. As caldeiras a gásóleo e GPL existentes em 2010 e 2020 (cobrindo 44% e 39% das necessidades de águas, respectivamente) deixam de existir em 2050 nos cenários de restrição e mesmo nos cenários sem meta de redução vêm o seu papel ser reduzido para 13%.

No que respeita ao **arrefecimento** ocorre um aumento progressivo da eficiência dos equipamentos eléctricos utilizados, ocorrendo um aumento das bombas de calor reversíveis que em 2010 geraram cerca de 5% das necessidades de arrefecimento e em 2050 nos cenários Alto atingem os 11%.

Na utilização de energia para **cozinha** prevê-se a completa substituição de fogões e fornos a GPL em 2050, independentemente do cenário, sendo substituídos por tecnologias a gás e electricidade.

Para os restantes usos de energia neste sector estima-se um aumento da eficiência ao longo do tempo, sendo que em 2050 tal como expectável todo o parque de electrodoméstico esteja completamente renovado. A título de exemplo refira-se a contribuição dos LEDs para iluminação, que em 2010 satisfaziam cerca de 9% das necessidades para iluminação, em 2020 aumentam para cerca de 17%/18% e em 2050 mesmo num cenário sem meta de redução são responsáveis por 86-87% da iluminação.



Indústria

Entre 2010 e 2020 não são expectáveis alterações significativas no perfil de consumo energético do tecido industrial Português ainda que se verifique um acréscimo da utilização de resíduos industriais e CDRs face ao cumprimento das metas do Plano Nacional de Gestão de Resíduos (Figura 27). De facto, mesmo até 2050 as alterações no global do sector são muito ténues, com excepção dos cenários Alto com metas de restrição, cuja elevada procura aliada a uma meta ambiental obriga a algumas modificações, nomeadamente: o aumento significativo do consumo de electricidade (26% do total do consumo em 2010 para mais de 40% nos cenários CA60 e CA70), biomassa (sobretudo para os fornos de cimento e cerâmica), compensando o decréscimo de produtos petrolíferos. O calor de CHP ganha também algum protagonismo, satisfazendo entre 25-29% e 26% das necessidades energéticas da indústria, nos cenários com meta de redução de 60 e 70% respectivamente. Esta opção prende-se com as características intrínsecas ao sector e pelo facto do mesmo ser fornecido através de cogerações progressivamente mais eficientes (maior produção vs consumo) e com recurso a renováveis (biomassa e licores negros).

No que concerne ao gás natural, tal como verificado para o sector dos edifícios até 2040 vê o seu peso no sector ser sujeito a um acréscimo, todavia em 2050 e nos cenários associados a uma restrição de GEE sofre uma redução, passando para valores inferiores ao registado actualmente.

Face às alterações supramencionadas e do sector de produção de energia e calor, verifica-se um acréscimo progressivo da utilização de energia renovável na indústria, passando dos 35% de 2010, para 38% em 2020 e posteriormente em 2050, 44-51% num cenário sem meta de redução e 79 a 84% nos cenários com tecto de emissões.

Sublinhe-se ainda o facto do sector industrial no cenário Alto estar associado a um aumento muito significativo da procura, facto este, que aliado a um maior consumo de biomassa e RIP's (menos eficientes termicamente) contribui para ocorra em 2050 um acréscimo do consumo de energia entre 120 e 137% face a 2010.

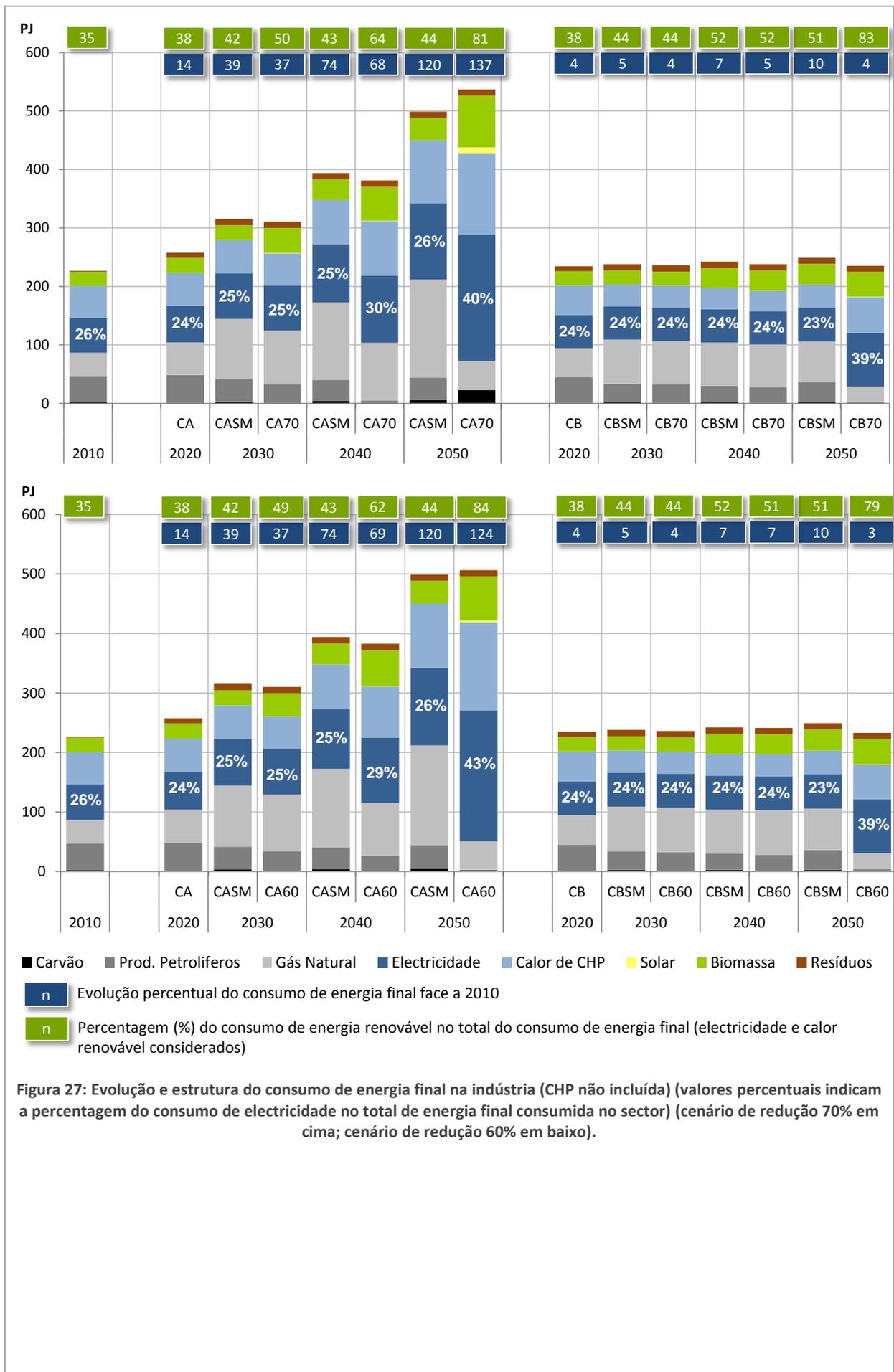
Seguidamente apresenta-se uma descrição detalhada das principais alterações inerentes aos diversos sectores industriais, com excepção da refinação que será analisada no sector dos transportes justificada pela elevada correlação das respectivas atividades. Apesar da cogeração estar referenciada no sector electroprodutor optou-se por comentar aqui alguns aspectos associados à mesma, na medida que em se encontra intimamente associada ao sector industrial:

- Na produção de **ferro e aço** não se verificam alterações relevantes entre 2010 e 2020, em virtude da remodelação deste sub-sector ter ocorrido antes de 2005. De facto, mesmo até 2050 não são expectáveis quaisquer modificações significativas. A única

diferença no sector prende-se com o calor consumido, que até 2040 é totalmente proveniente de cogerações a gás e que a partir desse período nos cenários CA60, e CB70, passa a derivar também de cogerações a biomassa (80% do calor produzido).

- Também no sector **cerâmico** não são expectáveis alterações significativas no perfil de consumo energético entre 2010 e 2020 mantendo-se os fornos a gás e biomassa. Todavia, a partir de 2040 nos cenários com meta de redução surgem fornos eléctricos e novos fornos a biomassa substituindo os fornos a gás natural. Surge igualmente o solar térmico para produção de calor satisfazendo no entanto menos de 2% do total das necessidades energéticas do sector.
- No sector **químico**, entre 2010 e 2020 prevê-se a substituição parcial de caldeiras a fuel e GPL por gás natural, que desaparecem em 2050 para dar lugar a caldeiras a biomassa responsáveis por emissões mais reduzidas de GEE. Também as cogerações do sector sofrem alterações, ocorrendo em 2020 uma diminuição da cogerações a fuel, que desaparecem em 2025, para dar lugar a cogerações a gás. Em 2050 nos cenários com meta de redução surgem igualmente cogerações a biomassa (as quais produzem entre 9% (CB60) a 29% (CA70) do calor do sector) e calor produzido por solar térmico. Sublinhe-se que, para o sector químico, foi assumido o regresso da produção nacional de amoníaco em 2020 no cenário Alto.
- Na produção de **cimento** verifica-se o aumento do uso da biomassa e RIP's nos fornos de clínquer em detrimento do uso de outros combustíveis face a restrições legislativas nacionais. Esta transformação resulta numa diminuição da eficiência térmica do sector dado o PCI inferior destes combustíveis alternativos comparativamente aos fósseis. O sector do cimento é o único sector industrial onde se verifica a introdução de tecnologias com captura e sequestro de carbono, por ser a alternativa disponível para a redução das emissões do sector, sobretudo as de processo. Em 2050, esta tecnologia é aplicada em 68% da produção de clínquer no CA70 e negligenciável no CA60.
- Não se prevêem alterações significativas no perfil de consumo de energia no sector do **papel** entre 2010 e 2020. Após esse período e até 2050 a única alteração prendem-se com o desaparecimento do consumo de fuel independentemente do cenário considerado. Observa-se também a redução da contribuição das cogerações a fuel que dão lugar a novas cogerações com recurso a licores negros (provenientes do próprio sector), sendo esta a única fonte de energia em 2050 das cogerações do sector.

- Na produção de **vidro** não se verifica alterações relevantes para todo o período de análise, na medida em que o sector continuará a utilizar fornos a gás, ainda que ocorram aumentos de eficiência energética entre -0.1 e -0.4%/ano (entre 2020 e 2050) nos cenários sujeitos a metas de redução de GEE. Sublinhe-se que para o sector do vidro, foi assumido o ressurgimento em 2020 da produção de vidro plano para o cenário Alto.
- Nas **outras indústrias** e em 2020 o calor de processo e vapor gerado com fuel e biomassa reduz-se em detrimento do gás natural. Todavia após este período e nos cenários com meta de redução observa-se um crescimento da utilização de biomassa (em 2050) que, conjuntamente com electricidade e calor de cogeração, satisfaz as necessidades energéticas do sector. Também neste sector mas apenas no cenário CA70 se verifica a produção de calor através de solar térmico, ainda que tenha uma participação muito reduzida (4% do total do consumo).



Transportes

O sector dos transportes que, no presente exercício, representa transporte rodoviário, ferroviário e aviação e navegação entre destinos do território nacional, é sujeito a um aumento de procura entre 2010 e 2020 entre 5 a 14% (cenário baixo – cenário alto), sofrendo todavia reduções no consumo de energia final entre -16 e -9% (Figura 28). De facto, a procura aumenta entre 1 a 10% e 19 a 29% para o transporte de passageiros e mercadorias (aviação e navegação não incluídas), respectivamente, apesar de, no período em causa, registarem reduções no consumo de energia entre os -14 e -8% para passageiros e a estabilização para mercadorias. Verificam-se algumas alterações no perfil energético entre 2010 e 2020, sendo as mais significativas a continuação da dieselização (65% do consumo do gasóleo em 2010 versus 71 a 72% em 2020), o aumento da utilização de electricidade (1% em 2010 para 6% em 2020) e a diminuição do peso dos biocombustíveis no sector (3.7% em 2009, 5,2% em 2010 para 3 a 3.6% em 2020 no transporte rodoviário). Face a este último aspecto, importa voltar a sublinhar que não foram impostas quaisquer metas renováveis no exercício de modelação pelo que a escolha em tecnologias que utilizam biocombustíveis apenas resulta das opções de custo eficácia do modelo, o qual foi validado para os valores de 2009 face à inexistência de balanço energético para 2010 no decorrer do presente estudo. Verifica-se no entanto o aumento de 1% no consumo de energia renovável no sector, a qual é resultante do aumento do consumo de electricidade renovável.

Após 2020 verifica-se a continuidade decrescente do consumo de energia no sector, atingindo em 2050 valores entre os -49 e os -39% nos cenários com meta de redução (Baixo e Alto) e entre os -48 e os -33% nos cenários sem qualquer meta, face aos valores de 2010, ainda que os valores da procura aumentem até 2050 (ver Figura 28). Adicionalmente verificam-se alterações profundas no perfil tecnológico dos transportes, de onde se destacam: i) o aumento considerável do papel da electricidade (representatividade superior a 21% em 2050); ii) o acréscimo muito significativo dos biocombustíveis (mais de 39% de representatividade em 2050) nos cenários com meta de redução e iii) o surgimento do hidrogénio nos cenários CA60 e CA70.

A nível do **transporte ligeiro de passageiros** verifica-se uma mudança clara na mobilidade, mesmo num futuro sem qualquer limite às emissões de GEE, justificando a redução drástica de energia resultante de um aumento significativo da eficiência dos transportes, designadamente os híbridos plug-in (ver valores utilizados no presente estudo no Anexo 4). Em 2020 todo o parque rodoviário de ligeiros já quase totalmente renovado (não existem quantidades relevantes de veículos anteriores a 2005), apesar de recorrer a tecnologias convencionais (essencialmente gasolina e gasóleo). No entanto, logo após 2030 a mobilidade eléctrica torna-se custo-eficaz, na forma de veículos híbridos plug-in a gasolina. Esta surge como a tecnologia mais competitiva, devido à sua elevada eficiência e à possibilidade de

assegurar na totalidade o transporte em longa distância. Os resultados da modelação mostram que em 2050 todo o parque será composto por veículos híbrido-plug in ainda que existam também alguns veículos a biodiesel (1%).

No que diz respeito ao **transporte rodoviário de mercadorias**, importa diferenciar os veículos ligeiros dos pesados. A mobilidade dos últimos até 2045 continua a ser assegurada exclusivamente com recurso ao gasóleo (ainda que com mistura de biodiesel), assinalando-se o aumento de eficiência decorrente da renovação dos stocks e do surgimento de tecnologias híbridas tradicionais (com consumo de gasóleo) após 2020 as quais atingem em 2050, 100% da frota nos cenários sem meta de restrição. Nos cenários com redução de GEE, para além dessas tecnologias surgem em 2045 tecnologias 100% a biodiesel e nos cenários Alto, cuja procura apresenta valores superiores surge um novo vector energético no sistema nacional: o hidrogénio. Sob forma de células de combustível e gerado a partir de gasificações de biomassa, o hidrogénio é responsável por 29% (CA60) e 43% (CA70) da mobilidade pesada de mercadorias em 2050. No que diz respeito aos veículos comerciais ligeiros, e considerando o pressuposto de modelação que os mesmos circulam quase na totalidade em curtas distâncias, já em 2020 se observa a penetração do veículo 100% eléctrico, verificando-se que em 2050 esta tecnologia assegura a totalidade da mobilidade dos ligeiros de mercadorias na curta distância.

Em 2020 o **transporte rodoviário pesado de passageiros**, continua a ser sobretudo assegurado por autocarros convencionais a diesel, ainda que os veículos a gás natural (6% a 12% do total do parque em 2020) e 100% a biodiesel (1% de representatividade) assumam um ligeiro aumento face a 2010, devido ao seu uso em circuitos urbanos. Em 2050 nos cenários com meta de restrição verifica-se que os veículos 100% a biodiesel atingem um papel preponderante, representando mais 85% da mobilidade no sub-sector, e chegando a atingir mesmo os 100% no cenário CB60. Adicionalmente, surgem ainda autocarros a hidrogénio atingindo uma representatividade máxima de 15% no cenário de meta de redução de 70%.

Após 2030, o sector da refinação sofrerá um impacto muito significativo nos cenários de Baixo Carbono, devido à diminuição de procura nacional de produtos refinados (gasolina e gasóleo) nos transportes e à restrição nas emissões de GEE, conduzindo à redução da sua actividade para um nível equivalente a uma das refinarias actualmente existentes em Portugal (Matosinhos), com a dinâmica que se ilustra na Figura 29.

A modelação de hipóteses ensaiadas sobre o cenário CA70 traduz cenários, apurados conjuntamente com *stakeholders* públicos do sector dos transportes nomeadamente com o IMTT:

- alteração de transferências modais constituía uma utilização (+5%) de transportes públicos de passageiros em decréscimo do transporte individual; maior

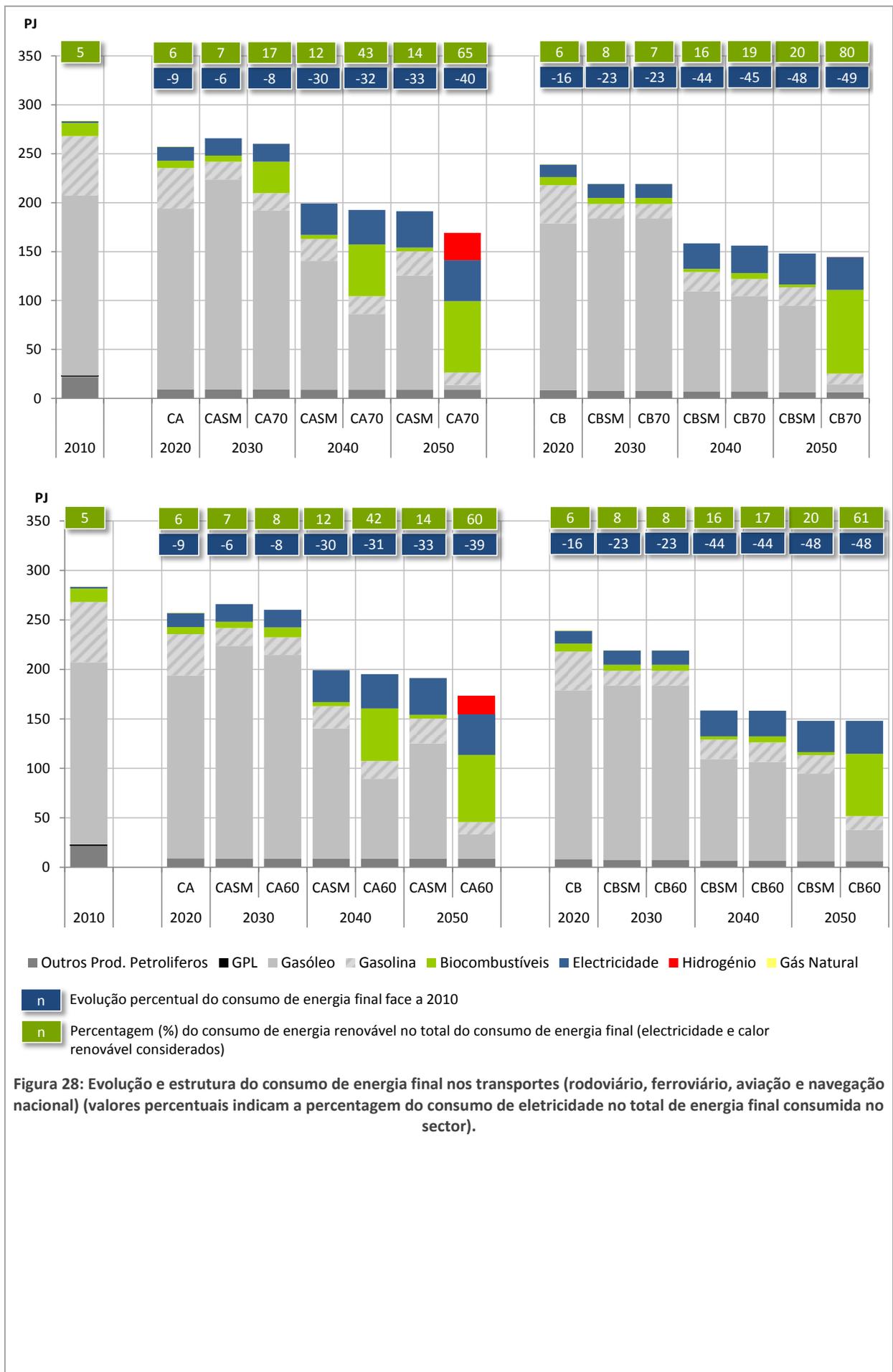
utilização (+3%) de transporte de mercadorias por meio ferroviário e navegação em decréscimo do transporte rodoviário;

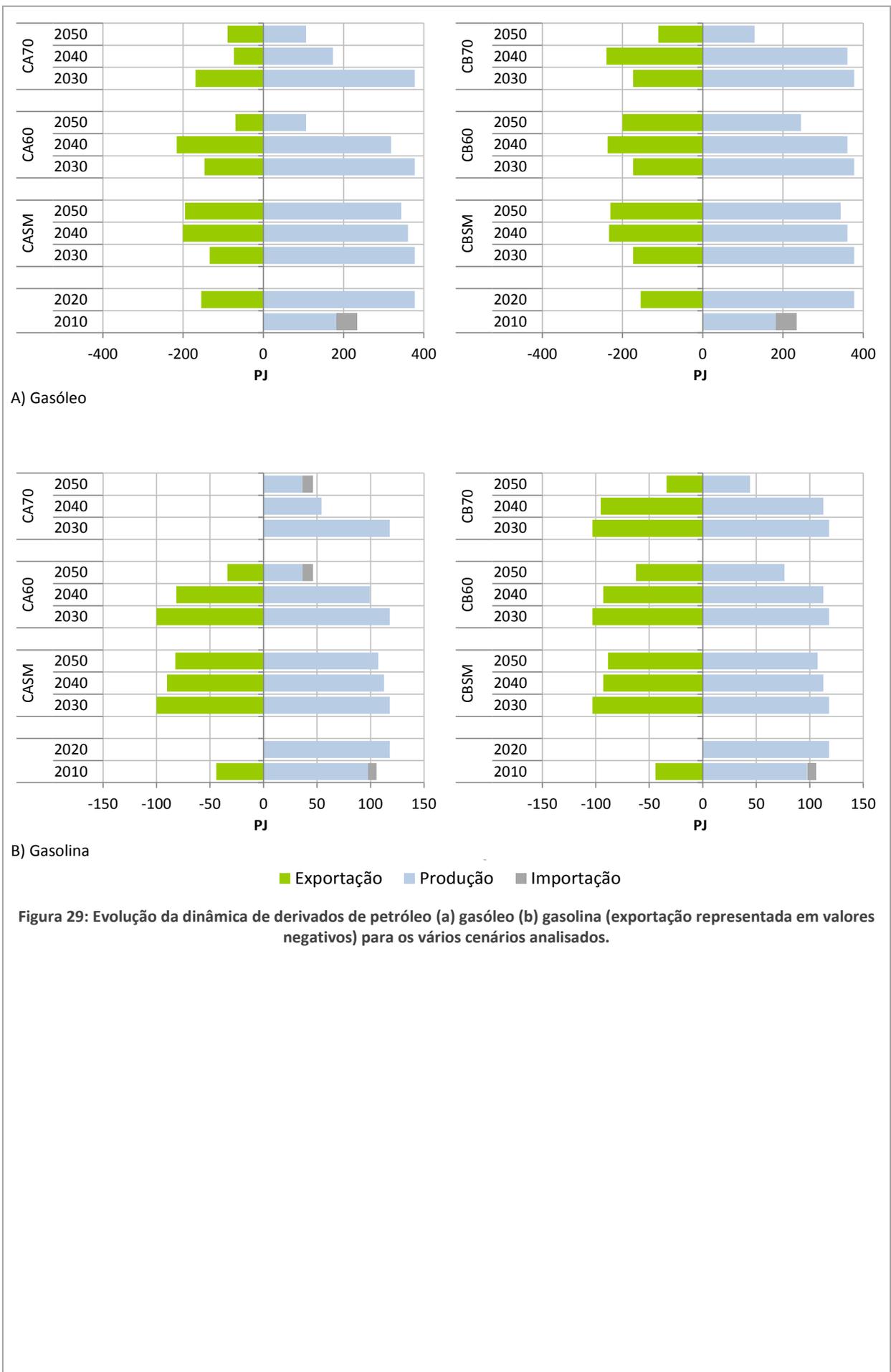
- redução de custo de investimento até -30% para os veículos rodoviários de passageiros 100% eléctricos

A primeira revela um impacto muito incipiente quer no total de energia consumida no sector dos transportes em 2050 (-2%), quer nas emissões de GEE em 2050 (-4%). A aposta em transferências modais ensaiada demonstra que para existir um impacto mais significativo as alterações consideradas deverão ser mais exigentes, na medida em que num cenário de baixo carbono os modos de transportes são mais eficientes e limpos. A redução de custos de investimento do veículo 100% eléctrico não veio alterar a sua posição de competitividade face a outras alternativas no mercado como o híbrido Plug-in a gasolina. Mesmo para o caso dos veículos 100% eléctricos de baixa potência que se tornam competitivos, a sua utilização aparece limitada pela incapacidade de satisfazer toda a procura de longa distância.

O transporte ferroviário aumenta no período de 2010 a 2050, como resposta ao aumento estimado de procura deste modo para passageiros e mercadorias, que mais que duplica no cenário Baixo e quase triplica no cenário Alto (Cf. Anexo 3). Ao aumento deste serviço de mobilidade corresponde um aumento de consumo de electricidade de 1.1 PJ em 2010 para 3.2 PJ em 2050 num cenário Alto sem meta de redução. Com a imposição de metas de redução de 60% e 70%, verifica-se o desaparecimento do diesel neste modo de transporte a partir de 2035, aumentando o consumo de electricidade para 4PJ. No caso do cenário Baixo, não se estimam aumentos significativos do consumo de electricidade, passando para cerca de 2 PJ em qualquer dos cenários de restrição.

Para o caso do modo aviação e navegação, o aumento dos consumos de energia são proporcionais ao aumento da procura, já que o modelo TIMES não integra novas tecnologias para estes modos.





I.2.6. IMPACTOS ADICIONAIS DOS CENÁRIOS DE BAIXO CARBONO PARA PORTUGAL

A configuração de um sistema energético consentâneo com uma economia de baixo carbono tem impactos múltiplos em diversas dimensões, uns de carácter positivo e outros de carácter negativo, quando comparados com cenários em que não é imposta qualquer meta de redução de emissões. Foram estimados os impactos decorrentes do cenário com meta de redução de 70% em 2050, por configurar o cenário mais agressivo embora alinhado com o objectivo preconizado no estudo da CE, relativamente aos indicadores que a seguir se detalha. Todavia, relativamente aos impactos no PIB nacional optou-se por apresentar igualmente os resultados associados ao cenário de redução de 60% devido à relevância do indicador em questão.

Impacto no PIB nacional

O impacto que as metas de redução de emissões terão no crescimento macroeconómico nacional foi estimado através de um modelo económico de equilíbrio geral, cujo princípio é a optimização do sistema económico maximizando o lucro dos sectores produtivos e o bem-estar económico das famílias. Através desta ferramenta é possível quantificar não apenas os impactos directos associados à produção e consumo de energia, mas também os efeitos indirectos inerentes às interligações entre os vários sectores da economia. O modelo utilizado representa o sector económico Português entre 2005 e 2050, estando calibrado de acordo com a matriz de inputs e outputs nacional de 2005 e considerando 18 sectores produtivos e 13 categorias de consumo para as famílias.

O Quadro 19 apresenta a taxa de crescimento anual do PIB num cenário sem qualquer meta de redução e o crescimento preconizado com metas de redução analisados no presente exercício.

A partir de 2025, verifica-se um decréscimo progressivo na taxa anual do PIB face a um cenário sem restrições, atingindo uma deterioração máxima no período de 2045-2050 de 0.4% e de 0.5% nos cenários CB70 e CA70 respectivamente. O impacto que a meta de redução de emissões de 70% em 2050 terá na trajetória cenarizada para o crescimento macroeconómico nacional situa-se, em termos de volume global, entre -0.1% e -0.2% em 2030 e entre -1.4% e -2.3% em 2050 para os cenários Baixo e Alto, respectivamente. Este impacto no PIB decorre do facto dos sectores industriais necessitarem de apostar em tecnologias mais eficientes e que utilizem recursos energéticos de baixo carbono que podem ter como reflexo o aumento do seu custo produtivo e, conseqüentemente, redução da respectiva procura, sobretudo nos sectores mais intensivos em carbono.

No presente exercício de modelação, e tal como explicitado na secção I.1.2, foram acomodadas no modelo TIMES_PT elasticidades procura- preço por forma a simular este efeito de redução da procura/produção. O Quadro 20 apresenta as reduções associadas ao presente exercício de modelação comparativamente aos cenários sem qualquer restrição ambiental obtidas através do modelo tecnológico.

Quadro 19: Taxa de crescimento anual do PIB (%)

Cenários	'05-'10	'10-'15	'15-'25	'25-'40	'40-'50
CBSM	0.5	0.4	1.0	1.0	1.0
CASM			3.0	3.0	3.0
CB60	0.5	0.4	1.0	0.9	0.6
CA60			3.0	2.9	2.8
CB70	0.5	0.4	1.0	0.9	0.6
CA70			3.0	2.9	2.5

Quadro 20: Reduções na procura de serviços de energia e materiais para os cenários com meta de redução face aos cenários sem meta (total entre 2030 e 2050) [Baixo a Alto] obtidas através do modelo TIMES_PT

Cenário com meta de redução de 70%	Cenário com meta de redução de 60%
Edifícios: 3% a 5%	Edifícios: 2% a 5%
Transporte Passageiros: < 1%	Transporte Passageiros: < 1%
Transporte Mercadorias: 3% a 6%	Transporte Mercadorias: 2% a 6%
Indústria: < 9%	Indústria: < 7%

Impacto no emprego

Uma economia de baixo carbono configura, como temos vindo a constatar, alterações na dinâmica tecnológica das actividades económicas que, por sua vez, promovem alterações em aspectos sócio-económicos, nomeadamente no emprego. Se por um lado, o aumento de tecnologias de base renovável no sistema energético nacional pode promover a geração de emprego, denominado “emprego verde”, por outro, a redução de tecnologias de base fóssil concorre para a sua deterioração.

A quantificação do impacto de um cenário de baixo carbono na geração de emprego verde teve em consideração o emprego gerado no sector electroprodutor associado à implementação de instalações energéticas de energia renovável, a perda de emprego por via do fecho parcial ou completo de instalações energéticas com base em combustíveis fósseis, e variação da produção industrial. Os valores de emprego no sector electroprodutor renovável referem-se apenas a emprego directo, não considerando o emprego indirecto associado à actividade deste tipo de tecnologias.

A contabilização do emprego criado pela instalação de tecnologias de produção de electricidade renováveis teve como base a aplicação de indicadores específicos por tipo de tecnologia, em empregos/MW (potência instalada). Os indicadores utilizados resultaram da sistematização de dados existentes em literatura internacional e nacional [15, 16]. Embora sempre que possível, tenha sido dada prioridade a indicadores específicos para Portugal, para parte das tecnologias energéticas os indicadores utilizados provêm de fontes internacionais (estudos Europeus e Americanos) pelo que poderão não reflectir convenientemente a realidade Portuguesa.

A estimativa do impacto negativo na perda de emprego devido ao encerramento de centrais a energia fóssil e também pela redução da actividade das refinarias no cenário de baixo carbono, determinou-se utilizando o número de colaboradores existentes no presente ano nestas instalações, em relação com a actividade dessas instalações.

A análise do potencial de geração de emprego na indústria suportou-se num indicador específico que traduz o número de empregos por unidade de produto produzido em cada sub sector da indústria (empregos/Mt_{produto}) verificado no ano de 2005. A utilização deste indicador para o futuro traduz uma perspectiva conservadora, não variando em função de possíveis melhorias de produtividade ou aumento de mecanização de processos. As indústrias incluídas na análise são (cimento, vidro, cerâmica, aço, química, pasta de papel e papel, cal e outras industriais). Convém lembrar que no cenário de redução 70% a procura sofre uma deterioração por via das elasticidades procura-preço, o que tem impacto directo na geração do emprego pela metodologia adoptada.

Os valores apresentados no Quadro 21 representam estimativas grosseiras do emprego directo, não devendo ser considerados os valores absolutos mas principalmente a magnitude do impacto de um cenário de baixo carbono.

O impacto de um cenário de baixo carbono no emprego directo foi estimado de modo muito aproximado no sector electroprodutor e na indústria, tendo em atenção a geração de emprego verde nas renováveis (mais que duplica) e a deterioração do emprego nas instalações energéticas convencionais e na indústria (-7%), quando comparado com um cenário sem meta de redução. No entanto, estes valores carecem de uma análise muito cautelosa porque se basearam em indicadores estáticos por sector de actividade, além de que não é considerado o sector dos serviços.

Quadro 21: Valores de emprego gerado por sector (Cenário Baixo a Cenário Alto)

(milhares)	Sector	2010 ¹	2020	2030	2040	2050
Sem meta de redução	Indústria	1278	1281 a 1481	1295 a 2010	1322 a 2763	1349 a 3810
	Electroprodutor (renovável) ²	16	18	17 a 19	57 a 58	74 a 89
Meta de redução de 70%	Indústria	1278	1281 a 1481	1295 a 1960	1294 a 2636	1282 a 3540
	Electroprodutor (renovável) ²	16	18	15 a 31	59 a 67	96 a 273

¹Valor 2010 relativo à indústria, construção e energia e água (Estatísticas do Emprego-2010, INE, 2010); ²Valores referentes a nova capacidade instalada, não somando com os valores de 2005;

Impacto nas emissões acidificantes

A transição para uma economia de baixo carbono poderá induzir benefícios adicionais sobre as emissões de poluentes atmosféricos (NO_x e SO₂) e consequentemente a minimização dos seus impactos (exemplo: impactos na saúde humana devido a poluição do ar). Os poluentes atmosféricos (SO₂ e NO_x) e os GEE encontram-se interligados de diversos modos, principalmente em fontes de emissões comuns (como a combustão de combustíveis fósseis em aplicações estacionárias e móveis). Os efeitos que um sistema energético descarbonizado provocará em termos da redução de emissões de poluentes atmosféricos são apresentados nos Quadro 22 e Quadro 23, relativo ao cenário com meta de redução de 70%.

As emissões de dióxido de enxofre (SO₂) e de óxidos de azoto (NO_x) foram estimadas através de (i) factores de emissão adequados às expectativas para médio e longo prazo, tendo como base o *Informative Inventory Report* (IIR) [17] e (ii) projecção de variáveis de actividade dos cenários analisados. Os factores de emissão utilizados consideram as alterações estruturais nos sectores relativamente a tecnologias de controlo de emissões até 2020, tal como apurado em [18] que considerou a expectativa dos *stakeholders* até 2020.

Para o caso particular do sector dos transportes, a estimativa de emissões de NO_x e SO₂ foi efectuada utilizando uma metodologia conservativa *Tier1* (EMEP CORINAIR emission inventory guidebook). Deste modo, os

factores emissão utilizados estão associados ao consumo de combustível por tipo de tecnologia, não detalhando as categorias de veículos e as suas normas de emissão (pré-euro, euro I, II...) ou dados de actividade (km percorridos por classe e categoria de veículo). Contudo, foi considerada uma progressiva melhoria dos factores de emissão ao longo do tempo.

A contabilização do custo marginal de dano (*Damage cost*) associado a cada poluente (NO_x e SO₂) foi obtida através da utilização de indicadores específicos para Portugal, elaborados no estudo da análise de custo-eficácia de acções futuras para a melhoria da qualidade do ar na Europa, no âmbito do Programa CAFE (*Clean Air for Europe*) [19]. Os impactos quantificados neste estudo incluem os danos em infra-estruturas, culturas agrícolas e ecossistemas devido a acidificação e eutrofização, bem como a mortalidade, morbilidade e número de anos de vida perdidos pela exposição a poluentes secundários (O₃ e PM_{2.5}) formados a partir de NO_x e SO₂. A contabilização destes danos apenas foi possível efectuar de modo agregado e conservativo, uma vez que usualmente estes impactos são apurados através de valores de concentrações na atmosfera. Deste modo, os danos quantificados incluem custo associados a impactos no ambiente (acidificação e eutrofização) e na saúde humana (custo de anos de vida perdidos) relacionado com estes poluentes.

Quadro 22: Redução de emissões de SO₂ de um cenário de baixo carbono face a um cenário sem meta de redução, e respectiva redução do custo de dano

SO ₂ (kt)	Código NFR	2020		2030		2040		2050	
		Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto
Oferta de Energia ^a	1.A.1.(a - b)	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-16.8	-18.7	-21.3
Industria e Construção ^b	1.A.2 (a - f)	0.0	-0.5	-0.7	-2.8	-1.1	-4.1	-2.5	-2.8
	2.(A - D)								
Transportes ^c	1.A.3.(b)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1
Outros sectores ^d	1.A.4.(a - c)	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.4	-0.9	-1.1
Total		0.0	-0.5	-0.7	-3.1	-1.2	-21.3	-22.2	-25.3
Custo de Dano (M€ ₂₀₁₀)		0.0	-4.2	-5.5	-25.7	-10.2	-174.5	-182.6	-207.6

^aSector electroprodutor e refinação; ^bInclui emissões de combustão, de processo e de co-geração; ^cApenas transportes rodoviários;

^dSectores terciário, doméstico e agricultura.

Quadro 23: Redução de emissões de NOx de um cenário de baixo carbono face a um cenário sem meta de redução, e respectiva redução do custo de dano

NO _x (kt)	Código NFR	2020		2030		2040		2050	
		Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto
Oferta de Energia ^a	1.A.1.(a - b)	-0.1	-3.3	-0.3	-8.0	-5.0	-5.4	-10.5	-3.6
Indústria e Construção ^b	1.A.2 (a - f) 2.(A - D)	0.0	-0.2	0.0	-1.7	-0.9	-3.5	-2.1	0.3
Transportes ^c	1.A.3.(b)	0.0	0.0	0.0	-1.9	-1.2	-3.2	-2.1	-21.1
Outros sectores ^d	1.A.4.(a - c)	0.2	-0.1	0.0	-5.2	-1.9	-4.4	-9.4	-12.1
Total		0.1	-3.6	-0.4	-16.8	-9.0	-16.4	-24.0	-36.5
Custo de dano (M€ ₂₀₁₀)		0.4	-9.8	-1.1	-45.9	-24.7	-44.9	-65.8	-99.9

I.2.7. INDICADORES SÍNTESE PARA 2020

O ano 2020 merece uma atenção específica dada a existência de um quadro de política energética e climática, nomeadamente Europeia, actualmente em processo de reformulação. Sintetizam-se três indicadores chave que caracterizam a situação expectável do sistema energético nacional, resultante dos exercícios de modelação apresentados neste documento. Convém lembrar que para o ano 2020 não foi imposta qualquer meta de redução, já que se tem por objectivo identificar o potencial de redução de emissões de GEE, por adopção de opções tecnológicas custo-eficazes.

Assim, identifica-se um potencial de eficiência energética muito significativo, sempre superior a 20% (Quadro 24) quando comparado com um cenário BAU (*Business as Usual*), que assume uma estrutura de consumos no futuro exactamente similar à de 2005. Este valor está em linha com os objectivos estabelecidos pela Comissão Europeia para o ano 2020. De notar que, o facto de se obter este nível de eficiência energética através de soluções custo-eficazes, tal não significa que não sejam necessários instrumentos para a sua concretização efetiva. De facto, o modelo TIMES funciona como um consumidor absolutamente racional e com acesso a informação perfeita na decisão em substituir equipamentos, o que não acontece na realidade.

Quadro 24: Indicador de eficiência energética

Consumo de Energia (PJ)	Alto	Baixo
BAU 2020	1 049	985
Cenários 2020	834	767
% Eficiência Energética	-21	-22

Em matéria de recursos renováveis, consoante se considere o cenário Baixo ou Alto de evolução macro-económica, prevê-se atingir cerca de 31 a 29%, respectivamente, no consumo total de energia final, como se apresenta no Quadro 25, cumprindo o cenário Baixo o objectivo estipulado para Portugal de 31%. Convém lembrar que, neste exercício não está a ser imposto qualquer objectivo

de política, como o teor de 10% de energia renovável nos transportes preconizado em recentes documentos de política energética (verificando-se em 2020 apenas 6% em ambos os cenários, o que corresponde a apenas 4% e 3% de biocombustíveis para os cenários Alto e Baixo respectivamente), nem objectivos de electricidade renovável como os previstos no PNAER, já que se tem por objectivo, identificar o potencial custo-eficaz de renováveis sem recurso a qualquer instrumento de política. Assim, caso se implemente instrumentos de apoio ao desenvolvimento de renováveis a meta de renováveis na energia final será decerto atingida para ambos os cenários.

Quadro 25: Indicadores de energia renovável

Consumo de Energia (PJ)	Alto	Baixo
Electricidade	118	118
Calor e frio Edifícios e Indústria	84	79
Agricultura	0	0
Transportes	7	8
Energia Final renovável (a)	209	205
Energia Final Total (b)	716	664
% Energia Renovável (a/b)	29	31
% Electricidade renovável	51	54
% Energia renovável nos transportes	6	6

No que respeita a emissões de gases com efeito de estufa, a análise é feita considerando os dois universos distintos no quadro da política climática Europeia: emissões geradas por atividades abrangidas pelo CELE (Comércio Europeu de Licenças de Emissão) e emissões geradas fora deste instrumento, e enquadradas pelo designado regime de effort-sharing (Quadro 26) (ver capítulo I.2.1). Enquanto o CELE tem como objectivo a nível Europeu a redução de 21% das emissões face a 2005, o regime de effort-sharing permite a Portugal um aumento de 1% das emissões dos sectores não CELE em 2020 face a 2005, estando todavia assumido no cenário Baseline do working paper: Analysis of options beyond 20% GHG emission reductions: Member State results [14] uma redução de 11% para Portugal.

Nenhum destes objectivos foi imposto nos exercícios de modelação, nem é possível uma comparação directa dos valores do não CELE com os definidos a nível Europeu na medida em que o presente exercício de modelação não contempla todos os sectores.

Constata-se no entanto, a capacidade custo-eficaz para reduções significativas de emissões de GEE em ambos os tipos de actividade, com maior magnitude nas actividades abrangidas pelo CELE. Globalmente, podemos afirmar que existe um potencial custo-eficaz de redução de emissões de GEE em 2020 em torno dos 20% face a 2005 (16% no cenário Alto e 22% no cenário Baixo).

Para uma análise de sensibilidade foi ensaiado um exercício de modelação em se impôs, conjuntamente, um tecto de emissões de -25%, face a 2005, nas actividades fora do CELE, e de -30% nas actividades abrangidas pelo CELE. O Quadro 27 apresenta os valores resultantes da análise de sensibilidade e dos cenários de referência. Uma vez que não foi efectuada uma análise de sensibilidades às

emissões fugitivas e de gases fluorados, optou-se no não incluir os mesmos nos dados referentes aos cenários de referência.

Quadro 26: Indicadores de emissões de GEE (*Energia e Processo industriais incluindo emissões fugitivas e Fgases)

Emissões (Gg)	2005	Alto	Baixo
CELE	36 426	29 573	26 714
Não CELE*	33 447	29 429	27 671
Total	69 873	59 003	54 346
% de redução face a 2005	CELE	-19%	-27%
	Não CELE*	-12%	-17%
	Total	-16%	-23%
	2005	Alto	Baixo
Emissões per capita (tCOeq/hab)	6.4	5.3	5.0

Quadro 27: Indicadores de emissões de GEE (Cenários de Referência e Análise de sensibilidade)

	2005	Cenários de Referência				Análise de Sensibilidade			
		Alto		Baixo		Alto		Baixo	
		2020	Δ 20-05	2020	Δ 20-05	2020	Δ 20-05	2020	Δ 20-05
Total (CELE e NÃO CELE)									
Total^A	69 076	56 959	-18%	52 464	-24%	49 980	-30%	49 981	-30%
CELE									
Cogeração	1 448	3 277	126%	2 954	104%	1 560	8%	1 954	35%
Electroprodutor	22 993	12 367	-46%	11 432	-50%	10 647	-54%	11 382	-50%
Química	467	1 101	136%	358	-23%	878	88%	305	-35%
Cimento	6 424	7 701	20%	7 066	10%	7 552	18%	7 066	10%
Cal	444	361	-19%	383	-14%	245	-45%	336	-24%
Vidro Plano	60	62	3%	0	-100%	62	3%	0	-
Vidro Embalagem	530	903	70%	771	45%	903	70%	771	45%
Pasta & Papel	132	113	-14%	113	-14%	113	-14%	113	-14%
Cerâmica	336	310	-8%	293	-13%	275	-18%	293	-13%
Outra industria	1 038	880	-15%	826	-20%	851	-18%	787	-24%
Refinação	1 970	2 092	6%	2 087	6%	2 092	6%	2 087	6%
Ferro e Aço	137	152	11%	148	8%	152	11%	148	8%
Ácido Nítrico	448	279	-38%	284	-37%	163	-64%	252	-44%
Total CELE	36 427	29 573	-19%	26 714	-27%	25 493	-30%	25 494	-30%
NÃO CELE									
Agricultura	986	945	-4%	905	-8%	874	-11%	883	-11%
Comercial	3 437	2 856	-17%	3 058	-11%	1 588	-54%	1 694	-51%
Residencial	2 652	2 543	-4%	2 129	-20%	2 166	-18%	2 130	-20%
Transportes	19 610	17 501	-11%	16 197	-17%	16 209	-17%	16 155	-18%
Indústria	3 090	2 580	-16%	2 358	-24%	2 299	-26%	2 219	-28%
Indústria da energia^B	2 874	961	-67%	1 103	-62%	1 351	-53%	1 406	-51%
Total Não CELE^A	32 649	27 386	-16%	25 750	-21%	24 487	-25%	24 487	-25%

^AEmissões fugitivas e gases fluorados não considerados

^BConsidera toda a cogeração não incluída em CELE

RNBC 2050

Roteiro Nacional de Baixo Carbono

PARTE II: RESÍDUOS E ÁGUAS RESIDUAIS

II.1. METODOLOGIA DE MODELAÇÃO

A Parte II do Roteiro Nacional de Baixo Carbono é dedicada ao Sector dos Resíduos. A abordagem ao sector tem em consideração o reporte e comunicação de emissões no âmbito da EU27 e da UNFCCC³ e a respetiva segmentação das fontes de emissão de acordo com as recomendações do IPCC⁴ (*Common Reporting Format – Category 6: Waste*).

II.1.1. INTRODUÇÃO

O sector dos resíduos contribui com cerca de 3% para todas as emissões de GEE na União Europeia (UE15). Desde 1990, reduziu as suas emissões principalmente através da redução das emissões de metano associadas à deposição no solo.

A informação disponível na UNFCCC revela um quadro nacional que, por via de uma distância notória às metas propostas no PERSU II (Caixa 1), é muito dissemelhante, quer do atual contexto europeu, quer das previsões dos últimos anos para o sector.

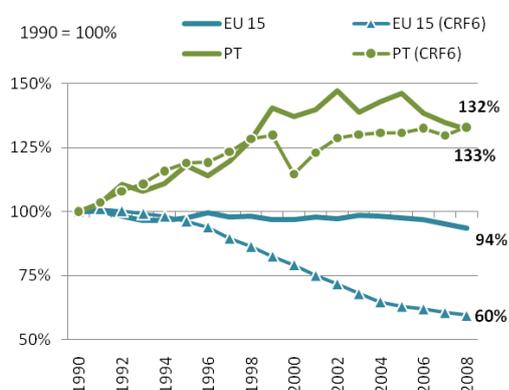


Figura 30 | Emissões GEE (1990=100%) [Fonte: CQNUAC]

A contribuição das emissões do sector dos resíduos (CRF 6) na UE15 variou, entre 1990 e 2008, entre 4% e 2,7% respetivamente. Em Portugal, e para o mesmo período, o cenário é bem diferente, com o sector a assumir uma importância bem mais significativa no balanço nacional de GEE (10,1% em 2008). Trata-se de um valor que contrasta com as melhores estimativas dos últimos anos que apontava para uma descida da contribuição do sector dos resíduos no balanço nacional de GEE.

Caixa 1 | PERSU II - Relatório de Acompanhamento 2008

«[...] encontrando-se ainda em fase de execução grande parte dos investimentos previstos no PERSU II, manteve-se a tendência dos anos anteriores, [...] reflexo da atual fase de transição dos modelos de gestão baseados na deposição em aterro para os orientados para a valorização».

³ United Nations Framework Convention on Climate Change

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change

NOVOS PARADIGMAS

A dissociação entre produção de resíduos e o PIB é essencial para garantir o uso sustentável dos recursos, com os consequentes benefícios climáticos. A prevenção, a reciclagem e outras formas de valorização concorrem para a substituição de atividades mais intensivas em carbono (materiais e/ou energia) evitando emissões, pelo que uma abordagem holística para a gestão de resíduos terá consequências muito positivas no balanço global de emissões noutros sectores: energia, agricultura, floresta, transportes e indústria.

No contexto nacional, o recente **Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR)**, com versão em consulta pública datada de Maio de 2011, apresenta-se como um documento estratégico, que visa orientar a política de gestão de resíduos para os próximos anos e informar o desenvolvimento de planos sectoriais específicos e necessariamente mais aprofundados (PERSU II, PESGRI, [...]). O PNGR apresenta uma visão inequívoca relativamente à gestão de resíduos: «Promover uma gestão de resíduos integrada no ciclo de vida dos produtos, centrada numa economia tendencialmente circular e que garanta uma maior eficiência na utilização dos recursos naturais».

ROADMAP 2050

O «Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050» apresenta os níveis de redução⁵ de emissões de GEE a longo prazo na EU-27. Globalmente os objectivos de redução (crescentes) situam-se nos 7% (2005); 40-44% (2030) e 79-82% em 2050. A categoria «Other non-CO2 emissions», na qual se inclui o sector dos resíduos, tem no entanto objetivos bastante diferenciados (30% em 2005; 72-73% em 2030 e 70-78% em 2050) e que vinculam um esforço de redução desigual ao longo das próximas décadas (os sectores *non-CO2* têm uma larga maioria do esforço de redução até 2030).

Portugal, pelo atual distanciamento do contexto Europeu, terá necessariamente que, no desenvolvimento de opções de política sectorial, aprofundar a análise sobre opções e tecnologias (de baixo carbono), custos, *trade-offs*, e incertezas.

Os trabalhos do RNBC 2050 para o Sector dos Resíduos pretendem quantificar, para os cenários macroeconómicos Baixo e Alto, o benefício (potencial de redução de emissões de GEE) subjacente a alteração de paradigma dos modelos de gestão de resíduos baseados em soluções de destino final para modelos de gestão orientados para a prevenção e valorização.

⁵ COM(2011) 112 Final – A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050; Table 1: Sectoral Reductions

METODOLOGIA

Atualmente, duas perspetivas sobre as emissões associadas à gestão de resíduos começam a cruzar-se: a abordagem sectorial e a abordagem do ciclo de vida. Se a primeira é hoje essencial para monitorizar emissões e responder aos compromissos internacionais (e.g. Protocolo de Quioto), começa a tornar-se evidente que a segunda é a abordagem preferencial para a avaliação de políticas de gestão de resíduos no médio e longo prazo, e numa perspetiva integrada.

No reporte e comunicação de emissões no âmbito da UNFCCC (Quadro 28), as fontes de emissão são divididas em sectores de acordo com as recomendações do IPCC. O sector dos resíduos inclui a deposição (“aterros”), tratamentos biológicos de resíduos e águas residuais e incineração (sem recuperação de energia). Outras emissões relacionadas, tais como as emissões provenientes de reciclagem, recolha e transporte de resíduos e incineração com recuperação de energia, são relatados noutros sectores. Neste contexto, foi adotada uma abordagem sectorial, em que as emissões associadas à valorização energética (com recuperação de energia) são reportadas no sector da energia.

Quadro 28: Organização do Sector dos Resíduos

CRF 6	Tratamento de Gestão de Resíduos
6A	Deposição de Resíduos no solo
6A1	Deposição no solo – R. Urbanos
6A2	Deposição no solo – R. Industriais
6B	Tratamento e Gestão de Águas Residuais
6B1	Águas Residuais Urbanas
6B2	Águas Residuais Industriais
6C	Incineração de Resíduos
6C1	Incineração – R. Urbanos
6C2	Incineração – R. Industriais
6C3	Incineração – R. Hospitalares
6D	Outros (Tratamentos Biológicos)
6D1	Tratamento Biológico - Compostagem
6D2	Tratamento Biológico - Digestão Anaeróbia
1A1	Valorização Energética⁶
1A1	Valorização Energética - RSU
1A1	Valorização Energética - CDR

Globalmente, o quadro metodológico de suporte às estimativas de emissões de GEE do sector dos resíduos, nomeadamente em matéria de parâmetros de cálculo e fatores de emissão, é o constante no NIR - *Portuguese National Inventory Report*.

As emissões de metano resultantes da deposição no solo foram estimadas com base no modelo FOD⁷. Esta metodologia possibilitou a diferenciação das emissões associadas a quantitativos depositados antes do horizonte temporal em análise (emissões pré-2005), que decorrem da natureza das emissões de metano em aterros e lixeiras (diferimento de emissões no tempo).

Para as restantes atividades foram usadas ferramentas Excel assentes em variáveis de projeção.

⁶ 1A1a Public Electricity and Heat Production

⁷ First Order Decay Method (FOD); de acordo com as Guidelines 2006 do Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC)

Adicionalmente, houve necessidade de estimar emissões de atividades que terão importância crescente no futuro, em função dos cenários de desenvolvimento do sector:

- Valorização Energética de Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR), cujas emissões foram estimadas com base na informação constante na «Estratégia para os Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR)»⁸;
- Tratamentos biológicos (Compostagem e Digestão anaeróbia), cujas emissões foram estimadas de acordo com a metodologia definida pelo IPCC⁹.

Nota metodológica: importa esclarecer que não foram estimadas eventuais emissões decorrentes da deposição indireta (final) de refugos. Estas emissões ocorrerão no caso dos refugos manterem teores significativos de matéria orgânica. Trata-se de uma possibilidade cuja avaliação implica pressupostos de gestão técnica não enquadráveis no horizonte de análise. Por outro lado, entende-se a interdição da deposição direta como a continuidade da atual Diretiva Aterros que já impõe limites à deposição de orgânicos.

II.1.2 CENÁRIOS DE DESENVOLVIMENTO SECTORIAL

No contexto do Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050 (RNBC 2050) foram consideradas duas abordagens na construção de cenários de informação à avaliação do potencial de redução de GEE no sector dos resíduos em Portugal. Esta diferenciação decorre dos horizontes temporais em avaliação: i) até 2020, em que é assumido um grau de incerteza reduzido, dada a disponibilidade de políticas e estudos estratégicos para o sector e, ii) 2020-2050, em que a incerteza é maior.

Globalmente, o sector dos resíduos acomoda as projeções demográficas e macroeconómicas subjacentes aos **cenários baixo e alto**, que tiveram efeitos diretos na quantificação dos níveis de atividade (produção de resíduos e águas residuais).

CENÁRIO BAIXO (CB)

RESÍDUOS URBANOS (RU)

- Face aos desvios atualmente monitorizados na transição dos modelos de gestão baseados na deposição em aterro para os orientados para a valorização, o **cenário baixo** considera um: i) **cumprimento parcial (50%) das metas estratégicas para 2020** do PNGR 2011-20 face à evolução esperada do cenário BaU e, ii) garante o cumprimento das metas de 2020 em 2030;

Nota: apesar das metas do PNGR se aplicarem à totalidade dos resíduos, optou-se pelo uso destas metas para os cenários exclusivos de resíduos urbanos.

⁸ Despacho n.º 21295/2009, de 26 de Agosto

⁹ 2006 IPCC Guidelines | Volume 5 | Chapter 4

- Garante-se a **convergência com as metas do PERSU II (cenário moderado) para 2020¹⁰**;
- Serão mantidos os atuais compromissos de desenvolvimento e implementação tecnológica no sector, no que respeita às prioridades de gestão e tratamento (e.g. prevenção da produção, maximização da reciclagem e/ou valorização, minimização da deposição em aterro);
- A partir de 2030, admite-se a interdição da deposição direta de RU em aterro. Neste contexto, os aterros continuarão a integrar as opções de destino final para resíduos industriais, bem como refugos, cinzas, escórias resultantes das tecnologias de tratamento de RU.

RESÍDUOS INDUSTRIAIS (RI)

- Da produção total de resíduos do ano 2009 foi efetuado um levantamento dos códigos LER (Lista Europeia de Resíduos) que correspondem a categorias de resíduos não urbanos¹¹ que contêm frações orgânicas; e destas, quais os quantitativos sujeitos a operações de eliminação por deposição no solo (D1+D3+D4+D5+D12);

Nota: estes dados incluem também os resíduos de lamas (do tratamento de águas residuais urbanas e industriais), pelo que existe a possibilidade de dupla contagem de actividade (e emissões) nos sub-sectores dos resíduos e das águas residuais.

- A produção de RI foi estimada com base nas variações VAB Industriais do cenário Baixo, salvaguardando um patamar mínimo de produção de resíduos por unidade de PIB;
- A partir de 2030, com a proibição da deposição directa de RU em aterro, também os «Resíduos urbanos e similares» (que representam 80% do total de RIB com frações orgânicas depositados) sofrerão fortes restrições. Apesar das restrições (e.g. custo de deposição penalizadoras) prevê-se a deposição em aterro de RI Orgânicos, com base no pressuposto de que existirão aterros operados por agentes industriais (grandes indústrias e/ou setores industriais).

ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS

- No subsector das águas residuais urbanas foi projectada a carga orgânica¹² gerada em função do cenário socioeconómico baixo,
- A repartição por tipologias de gestão/tratamento (Drenagem, Descarga, Tratamento, Lamas) foi definida com base: i) no quadro de informação, relativa a 2009, do INSAAR (Inventário Nacional de Abastecimento de Água e Tratamento de Águas Residuais) e, ii) nas metas e objectivos constantes do PNA (Plano Nacional da Água) e no PEAASAR II (Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais).

¹⁰ As metas e objectivos do PERSU II para 2009 e 2016 foram prorrogados 4 anos: o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro (DLn.º 183/2009), efectuou a recalendarização das metas de desvio de RUB de aterro para 2013 e 2020, fazendo assim uso da derrogação prevista no Artigo 5.º da Directiva Aterros.

¹¹ Resíduos hospitalares, agrícolas, indústrias e comércio e serviços

¹² Expressa em tCBO5 (Carência Biológica de Oxigénio)

ÁGUAS RESIDUAIS INDUSTRIAIS

- As águas residuais industriais¹³ seguiram uma abordagem semelhante aos resíduos industriais. Foi projectada a produção de águas residuais industriais¹⁴ com base nos valores de VAB Industriais do Cenário Baixo, salvaguardando um limiar mínimo de produção por unidade de PIB.

RESÍDUOS HOSPITALARES (RH)

- A incineração de resíduos hospitalares tem uma contribuição marginal (< 0,05%) para o sector,
- De qualquer forma foram estimados os quantitativos de resíduos hospitalares do grupo IV (incineração obrigatória),
- Foi associado ao Cenário Baixo do RNBC, o cenário BaU (Business as Usual) descrito e quantificado no PERH (Plano Estratégico de resíduos Hospitalares 2011-2016).

CENÁRIO ALTO (CA)

RESÍDUOS URBANOS (RU)

- O **Cenário Alto** considera: i) cumprimento parcial (75%) das metas estratégicas para 2020 do PNGR 2011-20 face à evolução esperada do cenário BaU e, ii) garante o cumprimento das metas de 2020 em 2025;
- Garante-se a **convergência com as metas do PERSU II (cenário optimista) para 2025**;
- Com o crescimento demográfico e económico previsto no Cenário Alto, corremos o risco de entrar num paradigma irresolúvel (*mais população, mais PIB, mais resíduos*). Por este motivo, e num horizonte mais alargado (2020-2050), será necessário assumir rupturas no que respeita a opções de política, desenvolvimento e implementação tecnológica. Neste contexto, admite-se uma dissociação da produção de resíduos do crescimento económico, traduzida por valores de capitação mais baixos.

RESÍDUOS INDUSTRIAIS (RI)

- Pela necessidade de acomodar quantidades crescentes de RI, admitiu-se, para o Cenário Alto, um nível de deposição superior (preferencialmente de frações inertes);
- Os aterros de industriais serão infraestruturas com maximização da produção e aproveitamento do biogás produzido (aterro bioreactor *versus* o actual modelo «sarcófago»)
- O Cenário Alto admite limiares máximos de produção de resíduos por unidade de PIB, garantindo uma dissociação efetiva entre o crescimento económico da produção de resíduos.

ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS

- Projecção de carga orgânica¹⁵ gerada em função do cenário socioeconómico Alto,
- A repartição por tipologias de gestão/tratamento (Drenagem, Descarga, Tratamento, Lamas) manteve os pressupostos do Cenário Baixo.

¹³ Sectores considerados: Food&Drink; Textile; Leather; Wood & Derivatives; In. Chemical; Org. Chemical; Refineries & Petrochemical

¹⁴ Expressa em volume, CQO e hab-eq (Carência Química de Oxigénio e Habitantes equivalentes)

¹⁵ Expressa em tCBO5 (Carência Biológica de Oxigénio)

ÁGUAS RESIDUAIS INDUSTRIAIS

- As águas residuais industriais¹⁶ seguiram uma abordagem semelhante aos resíduos industriais. Foi projectada a produção de águas residuais industriais¹⁷ com base nas variações dos VAB Industriais do Cenário Alto, salvaguardando um limiar máximo de produção por unidade de PIB.

RESÍDUOS HOSPITALARES (RH)

- Foi associado ao Cenário Alto do RNBC, o cenário PUR (Prevenção no Uso de Recursos), descrito e quantificado no PERH (Plano Estratégico de resíduos Hospitalares 2011-2016).

¹⁶ Sectores considerados: Food&Drink; Textile; Leather; Wood & Derivatives; In. Chemical; Org. Chemical; Refineries & Petrochemical

¹⁷ Expressa em volume, CQO e hab-eq (Carência Química de Oxigénio e Habitantes equivalentes)

II.2. ROTEIRO NACIONAL DE BAIXO CARBONO: RESÍDUOS

II.2.1. NÍVEIS DE ACTIVIDADE

O Quadro 29 e a Figura 31 apresentam os cenários de produção e gestão de resíduos urbanos. Em 2050, estima-se uma produção de RU entre 4 Mt (CB) e 4,5 Mt (CA). Estes cenários consideram um *trade-off* significativo, quer com o sector da energia (valorização energética de RU/CDR), quer com a indústria (valorização material).

Após 2030, com o fim da deposição directa em aterro, as opções de valorização (energética, orgânica e multimaterial) terão um incremento significativo (no período de transição, 2030, a valorização energética terá um papel relevante na transferência de capacidade de tratamento).

Até 2050 considera-se um aumento gradual da recolha selectiva (RSM e RS RUB) que representará 217 (CB) a 271 (CA) kg per capita. De salientar que em 2009 a recolha selectiva atingiu, em Portugal, 101 kg per capita, enquanto a média na EU 27 ultrapassou os 200 kg per capita.

Quadro 29: Cenários de produção e gestão de RU

	2005	2010		2020		2030		2040		2050	
		CB	CA								
Produção RU (kt)	4.766	5.369	5.352	4.863	4.593	4.372	4.246	4.117	4.364	4.047	4.525
per capita (kg)	457	509	507	460	422	422	378	410	378	425	385
DEP DIR (kt)	2.838	3.180	3.141	1.118	785	519	216	0	0	0	0
%	60%	59%	59%	23%	17%	12%	5%	0%	0%	0%	0%
RSM (kt)	-	481	481	924	873	1.093	1.274	1.235	1.527	1.457	1.901
%	-	9%	9%	19%	19%	25%	30%	30%	35%	36%	42%
RS RUB (kt)	-	109	109	438	413	503	488	618	655	607	679
%	-	2%	2%	9%	9%	12%	12%	15%	15%	15%	15%
TMB (kt)	-	527	527	1.313	1.240	1.180	1.146	1.029	1.091	607	905
%	-	10%	10%	27%	27%	27%	27%	25%	25%	15%	20%
VAL ENE (kt)	-	1.072	1.094	1.070	1.282	1.077	1.121	1.235	1.091	1.376	1.041
%	-	20%	20%	22%	28%	25%	26%	30%	25%	34%	23%

DEP DIR – Deposição Directa em Aterro | RSM – Recolha Selectiva de Materiais | RS RUB – Recolha Selectiva de Orgânicos
TMB – Tratamento Mecânico e Biológico | VAL ENE – Valorização Energética

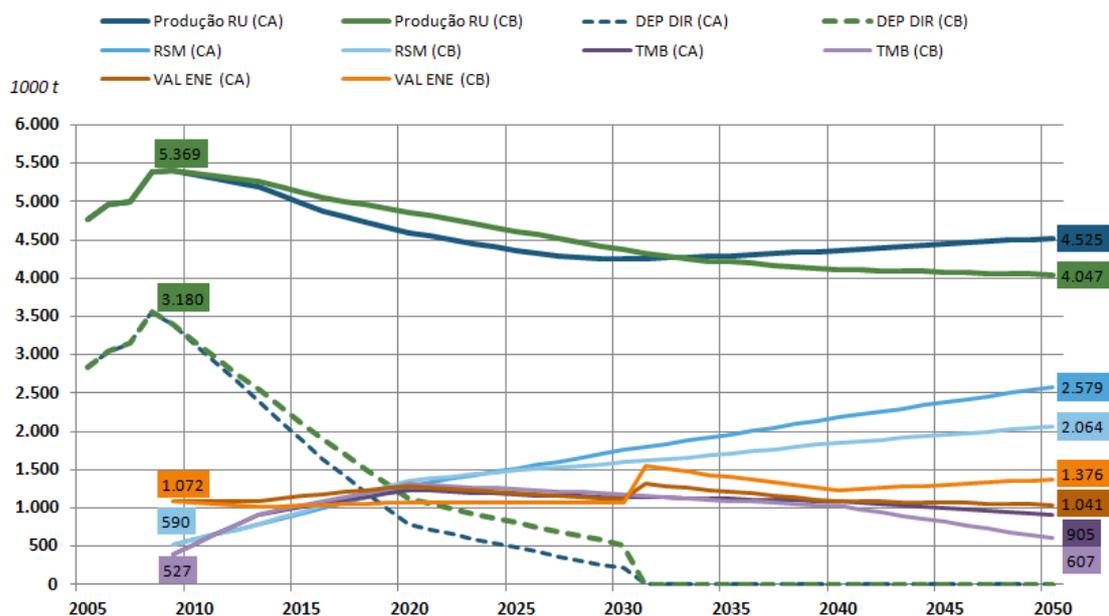
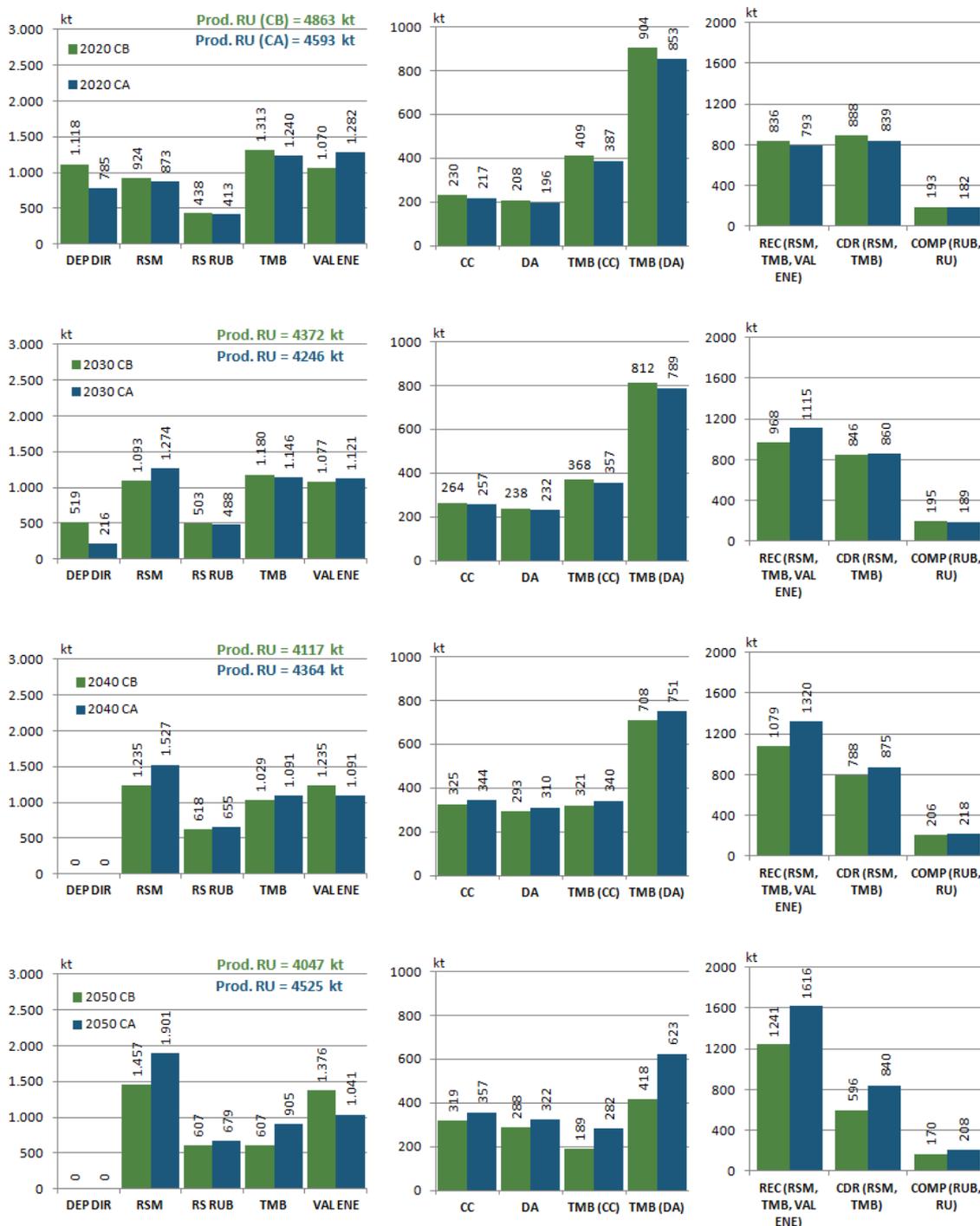


Figura 31 – Cenários de produção e gestão de RSU

A Figura 32 apresenta o balanço de gestão de RU. Este balanço quantifica, para ambos os cenários e no horizonte 2020-2050, as opções de gestão, os tratamentos com impacto nas emissões de GEE associados e os subprodutos (*outputs*) decorrentes das opções de gestão.

Ao cenário de gestão, que tem como grandes opções a deposição no solo (DEP DIR), a recolha seletiva (RSM e RS RUB), o tratamento mecânico e biológico (TMB) e a valorização energética (VAL ENE), estão associados tratamentos biológicos (CC e DA) de duas origens (recolha

selectiva e indiferenciada), e são gerados três grandes subprodutos: os recicláveis – REC (com origem na recolha selectiva, TMB e valorização energética), os CDR (com origem na recolha selectiva e no TMB) e o Composto - COMP (com origem em RSU e RUB).



Opções de Gestão: DEP DIR – Deposição Directa em Aterro | RSM – Recolha Selectiva de Materiais | RS RUB – Recolha Selectiva de Orgânicos | TMB – Tratamento Mecânico e Biológico | VAL ENE – Valorização Energética
Outros tratamentos associados à RSM, RS RUB e TMB: CC – Compostagem | DA – Digestão Anaeróbia
Subprodutos (trade-offs) do setor: REC – Recicláveis | CDR – Combustível Derivado de Resíduo | COMP - Composto

Figura 32 – Balanço de Gestão de RU (2020-2050)

RESÍDUOS INDUSTRIAIS

A Figura 33 apresenta o cenário de produção de resíduos industriais (RI). Estima-se uma produção de RI entre 25 Mt (CB) e 39 Mt (CA), dos quais cerca de 2% são tipologias correspondentes a resíduos orgânicos que terão a deposição como destino final.

Os valores foram projetados com base na evolução dos VAB da indústria, e aferidos por limiares mínimos (Cenário Baixo: 100 kg/10³€) e máximos (Cenário Alto: 80 kg/10³€) de produção resíduos por unidade de PIB.

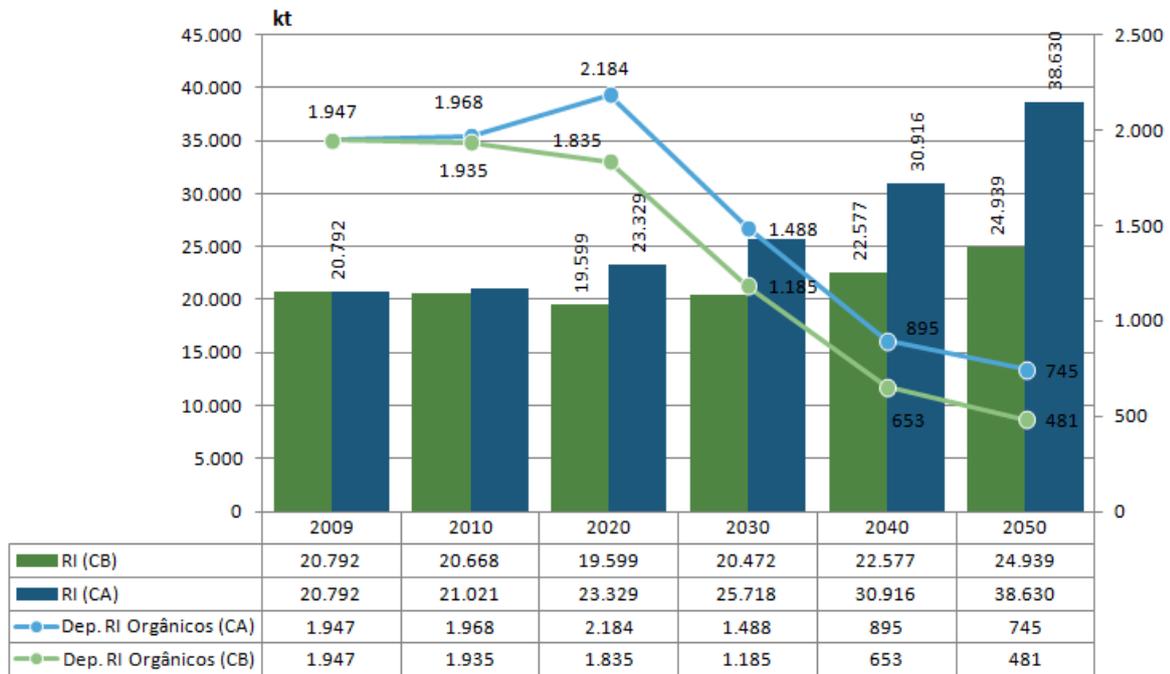


Figura 33: Resíduos Industriais (RI): Níveis de actividade

ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS

O Quadro 30 e a Figura 34 apresentam os cenários de produção de águas residuais domésticas, expresso em termos de carga orgânica (t CBO5). Os cenários diferem fundamentalmente nos quantitativos de carga orgânica a tratar. A repartição por tipologias de gestão/tratamento foi

definida com base no quadro de informação, relativa a 2009, do INSAAR (Inventário Nacional de Abastecimento de Água e Tratamento de Águas Residuais), e parte do pressuposto do aumento generalizado dos tratamentos secundários e terciários, que implicarão uma transferência de carga da fase líquida para lamas, induzindo um maior potencial de emissões de GEE (tratamentos anaeróbios).

Quadro 30: Águas Residuais Domésticas: Níveis de atividade

t CBO5	2005	2010	2020		2030		2040		2050	
			CB	CA	CB	CA	CB	CA	CB	CA
S/ Drenagem	62 815	42 189	18 515	19 074	18 166	19 680	17 593	20 228	16 684	20 593
C/ Drenagem (descarga s/ tratamento)	17 131	12 701	4 629	4 768	4 542	4 920	4 398	5 057	4 171	5 148
Fossas sépticas coletivas	11 421	6 942	6 942	6 942	6 942	6 942	6 942	6 942	6 942	6 942
Tratamentos primários	16 446	20 116	14 623	14 972	14 623	14 972	14 623	14 972	14 623	14 972
Tratamentos secundários/terciários	75 334	107 908	125 796	129 935	121 086	133 281	114 642	137 263	104 405	138 607
Tratamento Lamas	45 270	41 318	60 932	62 732	61 720	66 209	61 720	68 383	61 720	71 155
Total	228 417	231 173	231 436	238 423	227 079	246 005	219 918	252 845	208 544	257 418

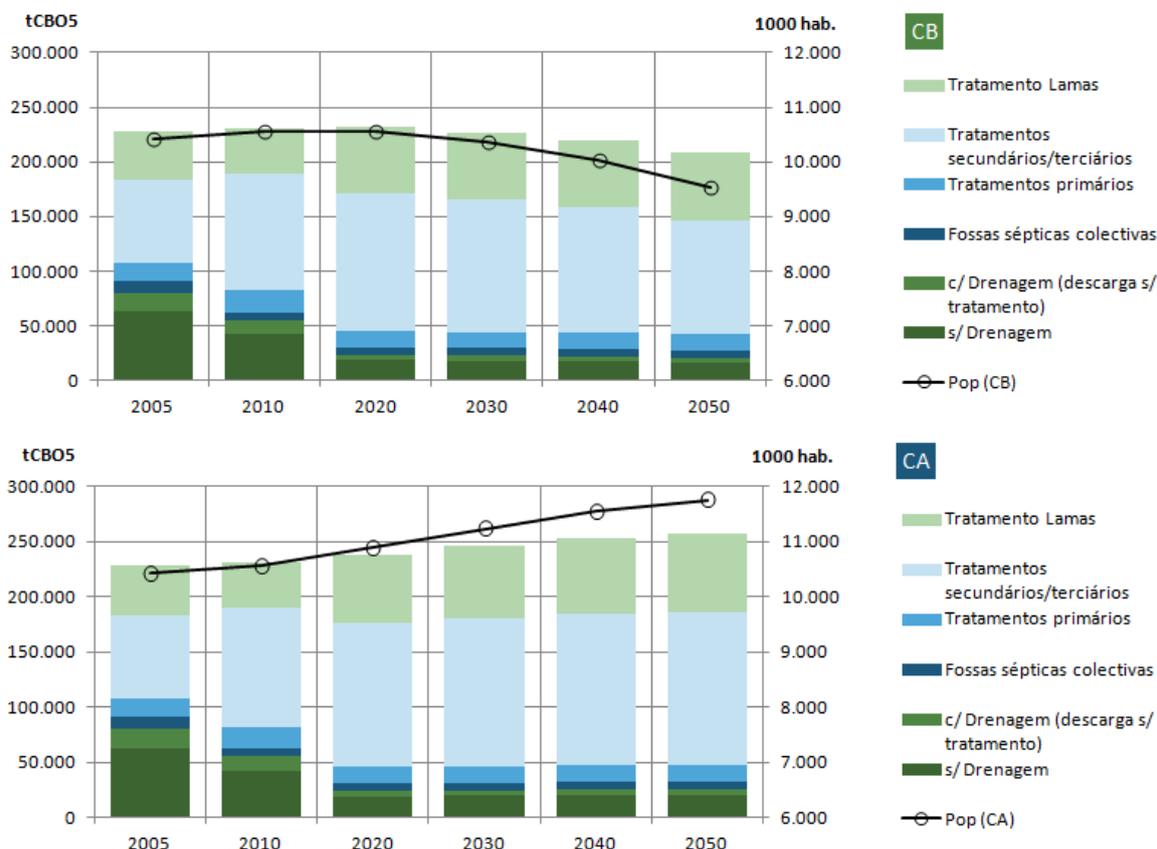


Figura 34: Águas Residuais Domésticas: Níveis de atividade

ÁGUAS RESIDUAIS INDUSTRIAIS

A Figura 35 apresenta os cenários de produção de águas residuais industriais, expresso em termos de carga química (t CQO) e equivalentes populacionais (hab-eq), e que se referem aos seguintes sectores: alimentação e bebidas, Têxtil, peles e curtumes, madeira e derivados, indústria química, e refinarias e petroquímica.

Estima-se uma produção de águas residuais industriais, expressa em equivalentes populacionais, entre 34 milhões (CB) e 51 milhões (CA).

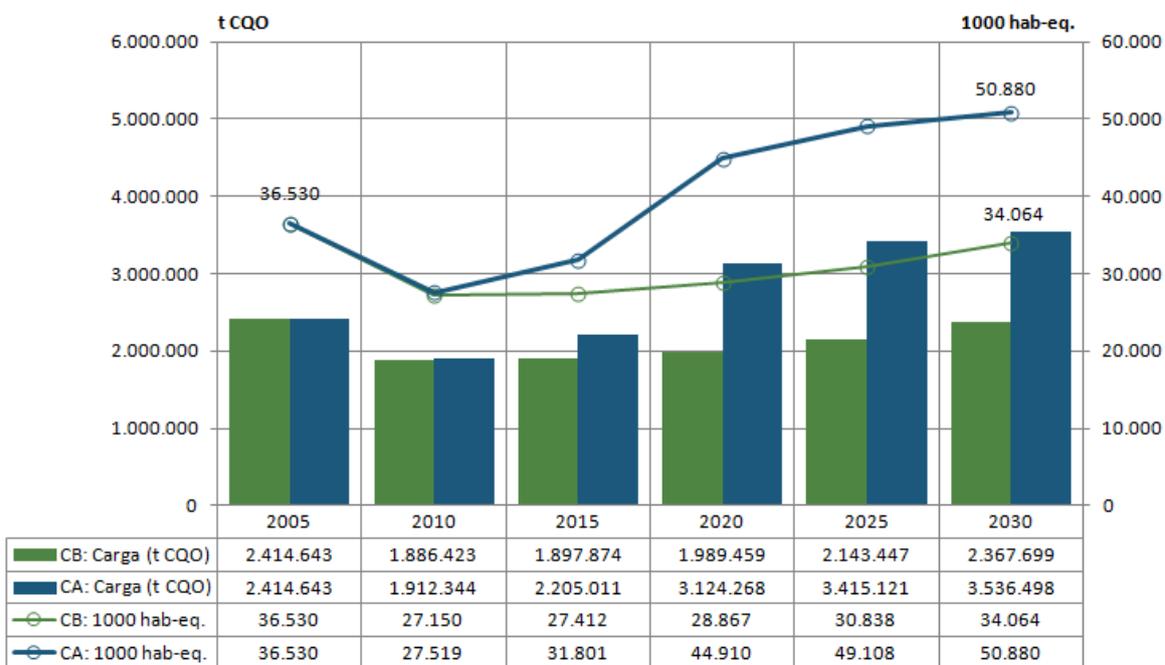


Figura 35: Águas Residuais Industriais: Níveis de atividade

II.2.2. EMISSÕES

Globalmente, e face a 2005, a redução de emissões de GEE no sector situa-se entre 54% (Cenário Alto) e 64% (Cenário Baixo) em 2050. Comparativamente a 1990, a redução situa-se entre 39% (Cenário Alto) e 53% (Cenário Baixo) em 2050.

Uma parte significativa das reduções irá ocorrer até 2030, com reduções entre os 48% e 55% para, respectivamente, os Cenários Alto e Baixo, como ilustrado na Figura 36 e na Figura 37. O Quadro 31 e o Quadro 32 apresentam as emissões detalhadas para o setor dos resíduos.

A menor redução de emissões no Cenário Alto evidencia o crescimento demográfico e económico muito substancial implícito neste cenário, em particular após 2030. Não obstante, trata-se de um cenário de maior eficiência, traduzida na comparação das emissões implícitas.

Em 2050, estima-se uma emissão específica no subsector resíduos de 37 kg CO₂e/t (CB) e de 29 kg CO₂e/t (CA). No subsector das águas residuais, e também para 2050, a emissão específica ronda 39,5 g CO₂e/hab-eq. (CB) e de 39,3 g CO₂e/hab-eq.

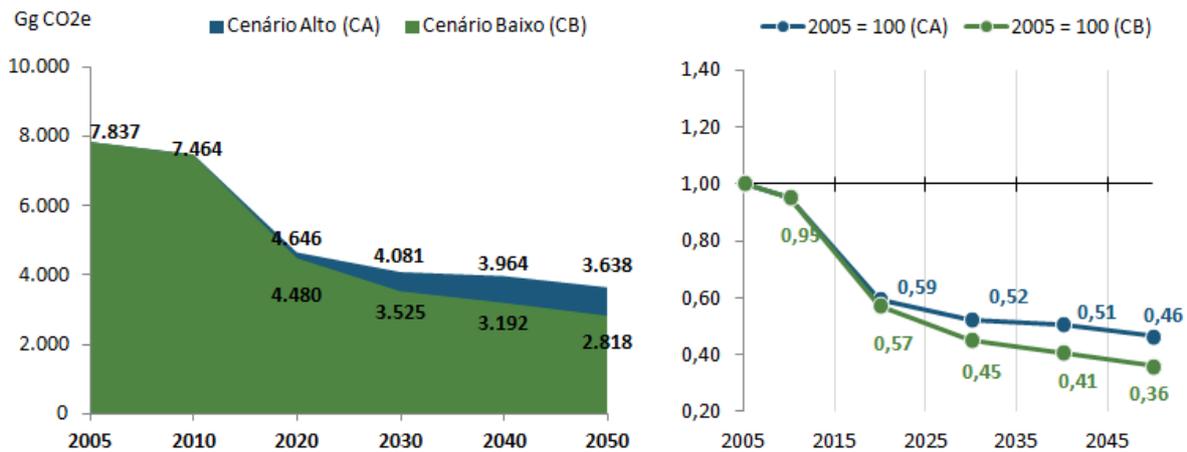


Figura 36: Sector dos Resíduos: Emissões de GEE

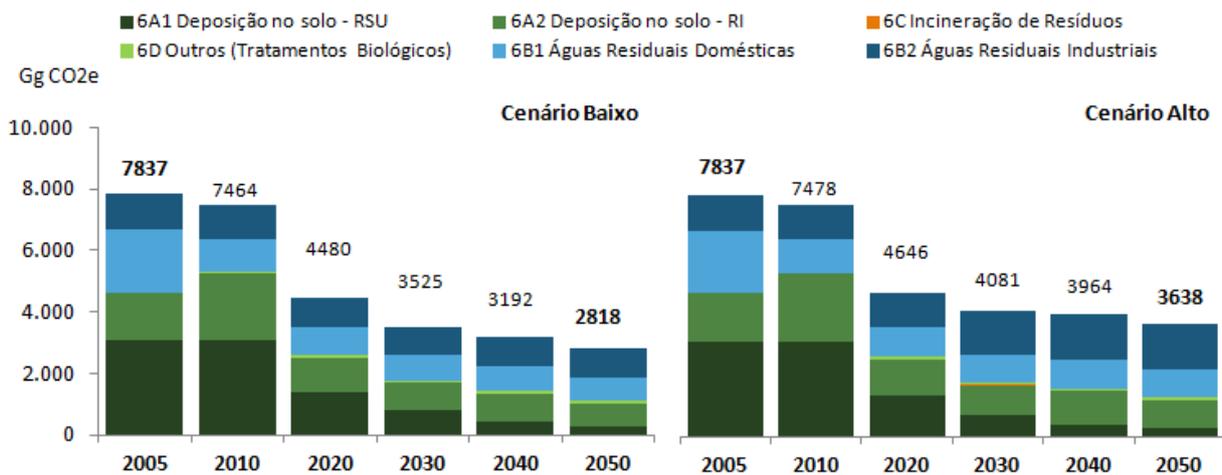


Figura 37: Sector dos Resíduos: Emissões GEE por subsector

Os resíduos sólidos são um subsector chave

A maior redução está associada ao subsector dos resíduos (RU e RI), que atinge os 75% a 78% (acima dos 90% no caso dos RU). A este potencial de redução significativo estão associados diversos factores:

- Desde logo trata-se do subsector com maior peso nas emissões de GEE (representou 68% do total de emissões do sector dos resíduos e 4,3% do inventário nacional de GEE)
- Onde a capacidade de actuar na área da mitigação é maior (são exemplo as *Directiva Aterro* e a *Directiva Embalagens* enquanto políticas de mitigação actualmente em implementação),
- Verifica-se uma redução significativa (e no caso dos RU, a interdição) da deposição em aterro,
- A crescente capacidade para captura e queima do biogás (em 2030 estima-se que o potencial de redução atinja os 64%).

Emissões pré-2005

Pela natureza das emissões associadas à deposição no solo (metano como principal constituinte do biogás cuja produção e emissão é diferida no tempo) foi avaliada a representatividade das emissões associadas a quantitativos depositados antes do horizonte temporal em análise (emissões pré-2005).

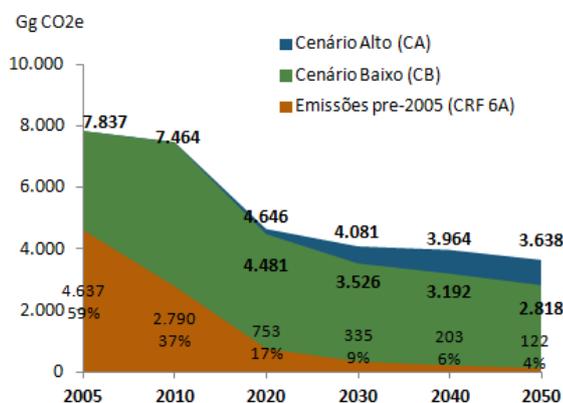


Figura 38: Contribuição das emissões pré-2005

A Figura 38 apresenta a estimativa da contribuição das emissões associadas à deposição no solo (CRF 6A), anterior a 2005, para as emissões totais do sector dos resíduos (CRF 6). Em 2020, o peso destas emissões é estimado em cerca de 17%, decrescendo gradualmente até aos 4% em 2050.

Trade-off do sector

Os cenários de desenvolvimento do sector e a metodologia empregue (abordagem sectorial) implicarão um *trade-off* de emissões significativo (entre 1,0 e 1,14 Mt CO₂e) associado à valorização energética de RSU e CDR. Deve ser tido em conta que, no sentido inverso, outras transferências ocorrerão com impacto positivo noutros sectores (e.g. materiais e composto) cuja quantificação só será possível por via de uma abordagem de ciclo de vida.

Contribuição de subsectores

A Figura 39 apresenta a evolução (2010-2020-2050), para ambos os cenários, da repartição das emissões entre subsectores. Entre 2010 e 2050 estima-se uma alteração significativa da contribuição dos vários subsectores. Apesar das emissões associadas à valorização energética não estarem incluídas no reporte para inventário nacional, no sector dos resíduos, a Figura 39 apresenta a sua agregação com a incineração (sem aproveitamento energético) possibilitando uma análise de forma mais abrangente de todas as implicações sectoriais (quadrante 6C/1A1). Globalmente as emissões associadas deposição de resíduos (6A1 e 6A2), onde ocorrerão reduções mais significativas, perderão peso para a valorização energética (6C/1A1) e para a gestão das águas residuais (6B1 e 6B2).

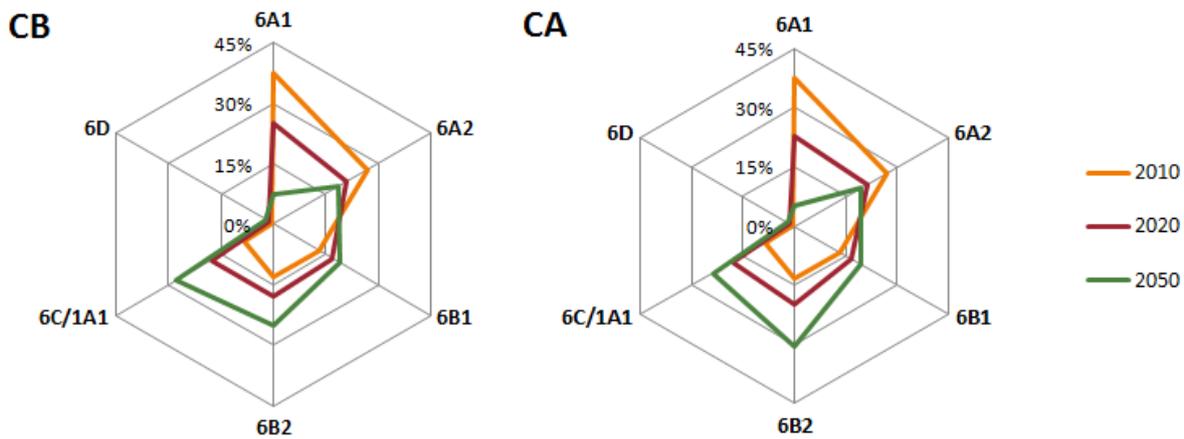


Figura 39: Contribuição (2010-2050) dos subsectores para as emissões de GEE

6A1 – Deposição solo RSU | 6A2 – Deposição solo: RI | 6B1 – Águas Residuais Domésticas | 6B2 – Águas Residuais Industriais | 6C/1A1 – Incineração/Valorização Energética de RSU e CDR | 6D – Tratamentos Biológicos (Compostagem e Digestão anaeróbia)

Quadro 31: Sector dos Resíduos: Emissões de GEE (Cenário Baixo)

kt CO ₂ e		1990	2005	2010	2020	2030	2040	2050	Δ 90-50	Δ 05-50
CRF 6	Tratamento de Gestão de Resíduos	5.986	7.837	7.464	4.480	3.525	3.192	2.818	-52,9%	-64,0%
-	1990 = 100 (CB)	1,00	1,31	1,25	0,75	0,59	0,53	0,47		
%	redução face a 1990	0%	30,9%	25%	-25%	-41%	-47%	-53%		
-	2005 = 100 (CB)		1,00	0,95	0,57	0,45	0,41	0,36		
%	redução face a 2005		0,0%	-5%	-43%	-55%	-59%	-64%		
6A	Deposição de Resíduos no solo	3.033	4.637	5.265	2.509	1.674	1.352	1.017	-66,5%	-78,1%
6A1	Deposição no solo - RSU	1434	3.089	3.060	1.368	797	451	288	-79,9%	-90,7%
6A2	Deposição no solo – R Industriais	1599	1.548	2.205	1.141	877	901	729	-54,4%	-52,9%
6B	Tratamento e Gestão de Águas Residuais	2.942	3.197	2.152	1.888	1.766	1.746	1.720	-41,5%	-46,2%
6B1	Águas Residuais Domésticas	1356	2.041	1.079	922	850	804	740	-45,5%	-63,8%
6B2	Águas Residuais Industriais	1586	1.156	1.073	966	915	942	981	-38,2%	-15,2%
6C	Incineração de Resíduos	11	2,6	1,3	1,6	1,6	1,5	1,5	-86,8%	-44,7%
6C3	Incineração – R Hospitalares			1,3	1,6	1,6	1,5	1,5		Δ 10-50
6D	Outros (Tratamentos Biológicos)			45,7	81,7	84,7	92,3	79,4		73,9%
6D1	Tratamento Biológico - Compostagem			13,6	45,1	51,8	63,6	62,5		
6D2	Tratamento Biológico - Digestão Anaeróbia			32,1	36,6	32,9	28,7	16,9		
CRF 1										Δ 10-50
1A1	Valorização Energética			682	967	987	1.053	1.072		57,2%
1A1	Valorização Energética - RSU			426	406	409	469	522		22,6%
1A1	Valorização Energética - CDR			256	561	578	584	550		114,6%

Quadro 32: Sector dos Resíduos: Emissões de GEE (Cenário Alto)

ktCO ₂ e		1990	2005	2010	2020	2030	2040	2050	Δ 90-50	Δ 05-50
CRF 6	Tratamento de Gestão de Resíduos	5.986	7.837	7.478	4.646	4.081	3.964	3.638	-39,2%	-53,6%
-	1990 = 100 (CA)	1,00	1,31	1,25	0,78	0,68	0,66	0,61		
%	redução face a 1990	0%	31%	25%	-22%	-32%	-34%	-39%		
-	2005 = 100 (CA)		1,00	0,95	0,59	0,52	0,51	0,46		
%	redução face a 2005		0%	-5%	-41%	-48%	-49%	-54%		
6A	Deposição de Resíduos no solo	3.033	4.637	5.265	2.509	1.666	1.458	1.171	-61,4%	-74,8%
6A1	Deposição no solo - RSU	1.434	3.089	3.057	1.298	677	383	244	-83,0%	-92,1%
6A2	Deposição no solo – R Industriais	1.599	1.548	2.208	1.210	989	1.075	926	-42,1%	-40,1%
6B	Tratamento e Gestão de Águas Residuais	2.942	3.197	2.167	2.059	2.332	2.407	2.371	-19,4%	-25,8%
6B1	Águas Residuais Domésticas	1.356	2.041	1.079	945	915	922	917	-32,4%	-55,1%
6B2	Águas Residuais Industriais	1.586	1.156	1.088	1.114	1.417	1.485	1.454	-8,3%	25,8%
6C	Incineração de Resíduos	11	2,6	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	-87,8%	-49,2%
6C3	Incineração – R Hospitalares			1,3	1,2	1,3	1,3	1,3		Δ 10-50
6D	Outros (Tratamentos Biológicos)			45,7	77,1	82,2	97,8	95,1		108,3%
6D1	Tratamento Biológico - Compostagem			13,6	42,6	50,3	67,4	69,9		
6D2	Tratamento Biológico - Digestão Anaeróbia			32,1	34,5	31,9	30,4	25,2		
CRF 1										Δ 10-50
1A1	Valorização Energética			691	1.016	1.047	1.095	1.138		64,8%
1A1	Valorização Energética - RSU			435	487	426	414	395		-9,1%
1A1	Valorização Energética - CDR			256	530	622	680	743		190,1%

Referências

- [1] Félix Ribeiro, J., Manzoni, A., Andrade, L., Garcia, M., (2010). A Competitividade da Economia Portuguesa e os Acessos aos Mercados Internacionais. Departamento de Prospectiva e Planeamento e Relações Internacionais do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional e *Associação Nacional de Empreiteiros de Obras Públicas*.
- [2] Seixas, J., Simões, S., Fortes, P., Dias, L., Gouveia, J., Alves, B., Maurício, B. (2010). Novas Tecnologias Energéticas: RoadMap Portugal 2050 - Análise das novas tecnologias energéticas nacionais e cenarização do seu impacto no sistema energético nacional - D3: Análise da Competitividade das Novas Tecnologias Energéticas, Fundo Português de Inovação, Ministério da Economia, Dezembro de 2010. Disponível em: http://climate.cense.fct.unl.pt/docs/DL3_Report_6DEZ.pdf
- [3] Seixas, J., Simões, S., Cleto, J., Fortes, P., Barroso, E., Alves, B., Dinis, R., Pisco, P., Faria, P., Finote, S. (2008). Relatório Final: Portugal Clima 2020 - Avaliação do Impacto da Proposta Energia-Clima da Comissão Europeia para Portugal. Estudo para o Comité Executivo - Comissão para as Alterações Climáticas e Agência Portuguesa para o Ambiente. E-value, SA e FCT-UNL. Novembro 2008. Lisboa.
- [4] Fiorello, D., De Stasio, C., Koehler, J., Kraft, M., Newton, S., Purwanto, J., (2009). The iTREN-2030 reference scenario until 2030: Deliverable 4 of iTREN-2030. Milan, Italy: Project co-funded by European Commission 6th RTD Programm.
- [5] Tetraplan A/S (2009). Report on Transport Scenarios with a 20 and 40 Year Horizon. Final Report. Março 2009. Disponível em: http://ec.europa.eu/transport/strategies/studies/doc/future_of_transport/2009_02_transvisions_report.pdf TRANVisions.
- [6] Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtila, A., Goldstein, G., (2005). Documentation for the TIMES model-PART I. Energy Technology Systems Analysis Programme. Disponível em: www.etsap.org/tools.htm
- [7] Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtila, A., Goldstein, G., (2005). Documentation for the TIMES model-PART II. Energy Technology Systems Analysis Programme. Disponível em www.etsap.org/tools.htm
- [8] IEA, (2011). World Energy Outlook 2011. International Energy Agency. Paris
- [9] CE, (2011). Impact Assessment. Accompanying document to the Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. SEC(2011) 288 final. Bruxelas. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SEC:2011:0288:FIN:EN:PDF>
- [10] E3MLab. 2008. Interim Report on Modelling Technology - The PRIMES Model. European Consortium for Modelling of Air Pollution and Climate Strategies - EC4MACS. Task 5: Energy Scenarios. Prepared by: E3MLab. National Technical University of Athens (NTUA). July 2008. Disponível em: http://www.ec4macs.eu/home/reports/Interim%20Methodology%20Reports/6_PRIMES_MR.pdf
- [11] ADENE e INETI (2001). Fórum energias renováveis – Relatório Síntese. Agência para a Energia. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação Lisboa, Novembro 2001
- [12] INE, I.P. e DGEG (2011). Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010. Instituto Nacional de Estatística. Direcção Geral de Energia e Geologia. Lisboa, Portugal.
- [13] CE, 211. Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050 Impact Assessment A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. SEC(2011) 287 final, SEC(2011) 288 final e SEC(2011) 289 final. Bruxelas. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:PT:PDF>
- [14] CE, 2012. Analysis of options beyond 20% GHG emission reductions: Member State results. Comission Staff Working Paper. SWD(2012) 5 final. Disponível em: http://ec.europa.eu/clima/policies/package/docs/swd_2012_5_en.pdf
- [15] G.J. Dalton, T. Lewis, (2011) Metrics for measuring job creation by renewable energy technologies, using Ireland as a case study, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 4, May 2011, Pages 2123-2133, ISSN 1364-0321, 10.1016/j.rser.2011.01.015.
- [16] Max Wei, Shana Patadia, Daniel M. Kammen, (2010) Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US?, Energy Policy, Volume 38, Issue 2, February 2010, Pages 919-931, ISSN 0301-4215, 10.1016/j.enpol.2009.10.044
- [17] APA (2011), Portuguese Informative Inventory Report, 1990-2009, Submitted under the UNECE Convention on Long- Range Transboundary Air Pollution, Agência Portuguesa para o Ambiente, Amadora, March 2011.
- [18] E.value (2010), PTEN2020 – Emissões de Gases Acidificantes e Partículas em 2000-2020, Revisão do Protocolo de Gotemburgo da CPATLD e da Directiva Tectos de Emissão Nacionais. Trabalho desenvolvido para Agência Portuguesa para o Ambiente.
- [19] AEA Technology (2005) Damages per tonne emission of PM2.5, NH3, SO2, NOx and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas, for Service Contract for carrying out cost-benefit analysis of air quality related issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme October 2005 Brussels: European Commission, DG Environment. Disponível em: (www.cafe-cba.org/assets/marginal_damage_03-05.pdf) [Acedido em Dezembro de 2011].



E.VALUE | Estudos e Projectos em Ambiente e Economia S.A.
www.evalue.pt



CENSE | Center for Environmental and Sustainability Research
www.cense.fct.unl.pt

2012