CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE CO_2 NA COMUNIDADE DE PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA

OPORTUNIDADES E DESAFIOS

UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Maio | 2015

Agradecimentos

Esta publicação foi elaborada pelos parceiros do projeto *CCS-PT Perspetivas para a Captura e Sequestro de CO_2 em Portugal* com o objetivo de estimular o debate sobre papel da tecnologia de captura e armazenamento de CO2 (CCS - CO_2 Capture and Storage) nos Estados-membros da CPLP.

Mais informações sobre o projeto CCS-PT em http://ccsroadmap.pt.

O consórcio agradece ao *Global CCS Institute* a contribuição financeira e técnica para a concretização do projeto, e aos colegas dos Estados membros da CPLP que participaram na análise das oportunidades e desafios de tecnologia CCS em cada país. Contribuíram para a realização desta publicação:

Portugal: Júlio Carneiro, Instituto de Ciências da Terra, Universidade de Évora.
Angola: António Olímpio Gonçalves, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade Agostinho Neto.
Brasil: Rodrigo Iglesias, CEPAC/Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
Cabo Verde: Carlos Moniz, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Moisés Borges, Direção Geral do Ambiente.
Moçambique: Anísio Pinto Manuel, Direção Nacional de Energia Elétrica.
São Tomé e Príncipe: Guilherme Mota, Agência Nacional do Petróleo.
Timor Leste: Elisa Pereira, Ministério do Ambiente.

Aviso legal

Esta publicação foi possível através do financiamento do *Global CCS Institute*, com o intuito de ampliar a discussão sobre a Captura e Armazenamento de CO_2 como uma opção-chave na mitigação das alterações climáticas. As opiniões contidas nesta publicação não representam necessariamente as do *Global CCS Institute* ou as dos seus membros. O *Global CCS Institute* não garante a fiabilidade, exatidão ou integridade das informações contidas nesta publicação e, até ao limite máximo permitido pela lei, não aceita qualquer responsabilidade decorrente de qualquer forma (inclusive por negligência) de uso ou dependência baseada na informação contida nesta publicação.

ISBN: 978-989-20-5757-6

© Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Évora, 2015.

Todos os direitos reservados. Os utilizadores podem descarregar, imprimir ou copiar partes desta publicação para uso não comercial. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida sem citar a sua fonte. Não é permitido o uso comercial desta publicação.

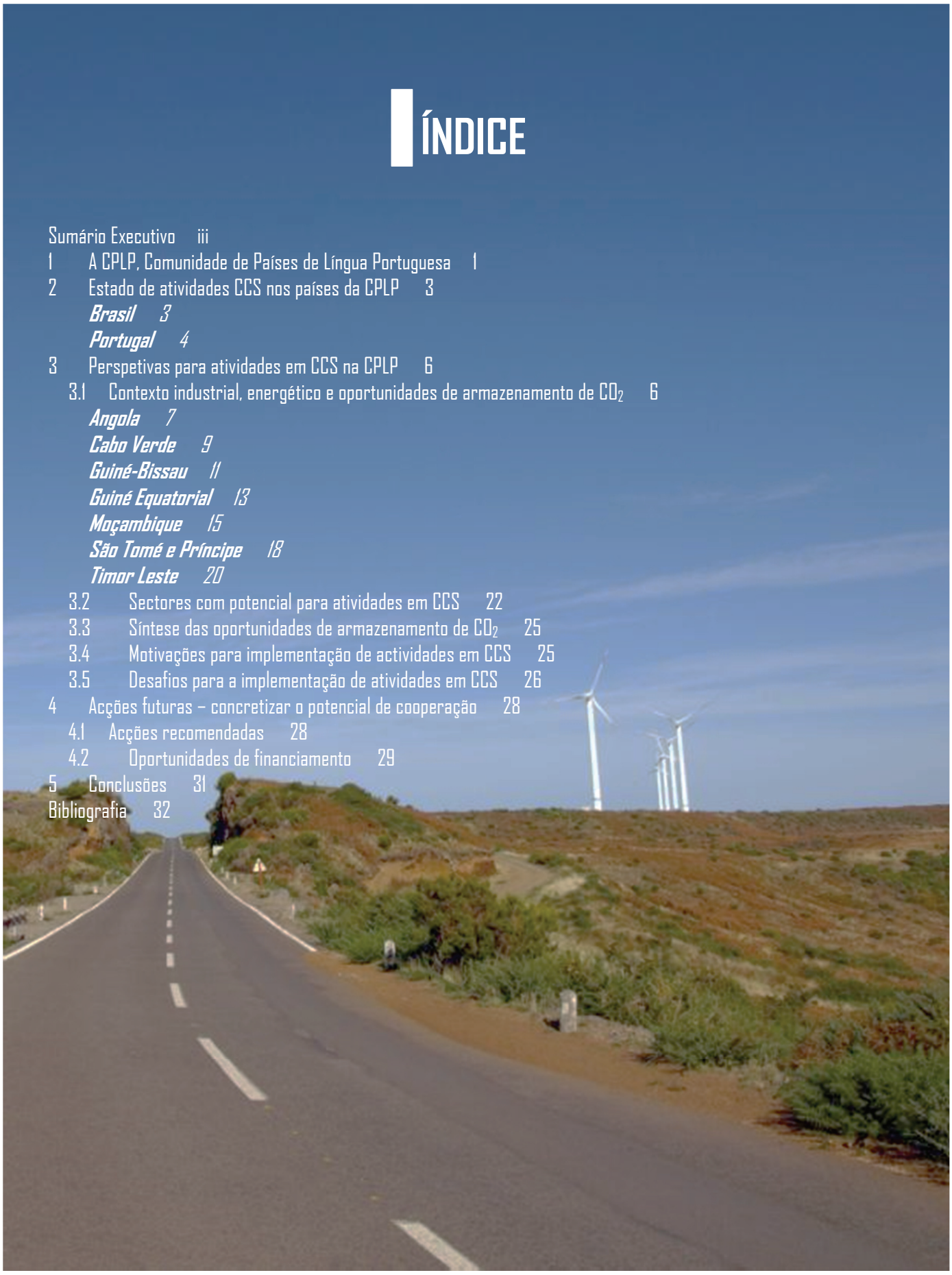
Todas as fotos apresentadas são livres de direitos de autor.

Projeto de I&D parcialmente financiado por:

SUPPORTED BY GLOBAL CCS INSTITUTE

ÍNDICE

Sumário Executivo iii
1 A CPLP, Comunidade de Países de Língua Portuguesa 1
2 Estado de atividades CCS nos países da CPLP 3
Brasil 3
Portugal 4
3 Perspetivas para atividades em CCS na CPLP 6
3.1 Contexto industrial, energético e oportunidades de armazenamento de CO_2 6
Angola 7
Cabo Verde 9
Guiné-Bissau 11
Guiné Equatorial 13
Moçambique 15
São Tomé e Príncipe 18
Timor Leste 20
3.2 Sectores com potencial para atividades em CCS 22
3.3 Síntese das oportunidades de armazenamento de CO_2 25
3.4 Motivações para implementação de actividades em CCS 25
3.5 Desafios para a implementação de atividades em CCS 26
4 Acções futuras – concretizar o potencial de cooperação 28
4.1 Acções recomendadas 28
4.2 Oportunidades de financiamento 29
5 Conclusões 31
Bibliografia 32



Sumário Executivo

A Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) é composta por nove Estados-membros, distribuídos por quatro continentes: Europa (Portugal), América (Brasil), África (Angola, Cabo Verde, Guiné Equatorial, Guiné-Bissau e São Tomé e Príncipe) e Oceania (Timor Leste). Os Estados-membros representam um conjunto diverso de perfis industriais, económicos e ambientais, mas partilham fortes laços culturais e económicos.

A Captura e Armazenamento de CO_2 (aqui designada pela sigla **CCS**, do inglês *CO_2 Capture and Storage*) não é encarada nos países da CPLP como uma tecnologia prioritária para a mitigação das alterações climáticas, embora o Brasil e Portugal estejam envolvidos em atividades CCS há vários anos. Os restantes países da CPLP, reconhecidos como de elevada vulnerabilidade aos impactos das alterações climáticas, não iniciaram ainda qualquer discussão sobre a relevância da CCS nas respetivas políticas ambientais. Esta publicação é um primeiro esforço para colocar a tecnologia CCS na agenda dos países da CPLP. É apresentada uma caracterização do perfil industrial, energético e de emissões de CO_2 nos países da CPLP, e discutem-se as oportunidades de armazenamento de CO_2 nesses países. A análise debruça-se essencialmente sobre os Estados-membros que ainda não estão envolvidos em qualquer atividade de CCS. O Brasil, responsável por 80% a 85% das emissões na CPLP, e Portugal são caraterizados apenas em função das atividades CCS desenvolvidas ou em curso.

As motivações para implementação de atividades de CCS naqueles Estados-membros devem ser procuradas em fatores não relacionados com o perfil das emissões de CO_2. Porém, as motivações existem e, no essencial, estão ligadas à produção de combustíveis fósseis em Angola, Timor Leste, Guiné Equatorial e Moçambique. A utilização de CO_2 em Recuperação Avançada de Petróleo (EOR - *Enhanced Oil Recovery*), a captura de CO_2 no processamento de petróleo (refinarias) e gás natural, e em instalações de GNL, são possibilidades que devem ser discutidas no âmbito das políticas nacionais de mitigação das alterações climáticas.

O crescimento demográfico e o ritmo de crescimento económico nalguns Estados-membros implicam um aumento da produção de energia e da capacidade industrial instalada. Estão previstos investimentos em centrais termoelétricas com combustíveis fósseis em Angola, Guiné Equatorial e, especialmente, em Moçambique, bem como a construção de fábricas de cimento em quase todos os países da CPLP. Estes sectores, e ainda a fundição de alumínio em Moçambique, e a Bio-CCS, face ao vasto potencial de bioenergia em vários Estados-membros, constituem oportunidades para a implementação de projetos CCS.

As oportunidades de armazenamento de CO_2 ligadas à utilização de CO_2 em EOR ou em campos de hidrocarbonetos esgotados são as opções óbvias para Angola, Timor Leste e Guiné Equatorial. Moçambique e Guiné-Bissau possuem bacias sedimentares extensas e têm boas oportunidades de armazenamento em aquíferos salinos profundos. Moçambique poderá também apresentar algum potencial de armazenamento em camadas de carvão não exploráveis.

Por outro lado, os custos da insularidade e a dispersão da população e da economia implicam que a CCS não seja uma tecnologia relevante para Cabo Verde e São Tomé e Príncipe. No entanto, a utilização de CO_2 em Sistemas Geotérmicos Estimulados (ou EGS) pode revestir-se de interesse para Cabo Verde, bem como atividades de I&D sobre o armazenamento de CO_2 em ambientes basálticos.

O transporte e armazenamento transfronteiriço de CO_2 podem vir a ser fatores importantes para São Tomé e Príncipe, que partilha uma bacia sedimentar *offshore* com a Nigéria; para Angola, que pode necessitar de transportar CO_2 através de território da República Democrática do Congo para o enclave de Cabinda; e certamente para Moçambique, que pode eventualmente desenvolver um modelo negócio baseado no armazenamento de CO_2 capturado na África do Sul.

Os desafios mais prementes para a implementação de atividades de CCS nos países da CPLP são: o reduzido conhecimento da tecnologia, uma característica comum a todos os Estados-membros; a ausência de um modelo de negócio aplicável aos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos; e a necessidade de clarificar o papel da tecnologia no contexto económico, energético e de redução de emissões de cada país.

A cooperação no âmbito da CPLP pode permitir superar estes desafios e, no sentido de estimular o início da cooperação no domínio da CCS, são propostas algumas accções a implementar a curto/médio prazo.

1 A CPLP, Comunidade de Países de Língua Portuguesa

A Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) é um fórum multilateral que pretende fomentar a cooperação entre os nove estados soberanos em que o Português é uma língua oficial. A CPLP foi fundada em 1996 por Angola, Brasil, Cabo Verde, Guiné-Bissau, Moçambique, Portugal e São Tomé e Príncipe, a que se juntaram, como membros de pleno direito, Timor Leste em 2002 e a Guiné Equatorial em 2014.

A Comunidade tem como objetivos gerais [1]:

- A cooperação política e diplomática entre os Estados-membros, visando fortalecer a sua presença no cenário internacional;
- Cooperação em todas as áreas, incluindo educação, saúde, ciência e tecnologia, etc.;
- Implementar e apoiar projetos de promoção e difusão da língua Português.

A CPLP no contexto global

Os nove Estados-membros da CPLP abrangem um território de 10.7 milhões km^2, uma área superior à dos EUA, China e Índia, e quase o dobro da área da União Europeia (UE). Situados na maioria no hemisfério sul (Fig. 1), os países da CPLP abrangem realidades tão diversas como o Brasil, quinto maior país do mundo, e São Tomé e Príncipe, o segundo menor Estado de África. O Brasil corresponde a 79.51% da área terrestre da CPLP, enquanto São Tomé e Príncipe corresponde apenas a 0.01% [2].

A população total dos países da CPLP em 2013 ultrapassou os 262 milhões de pessoas, cerca de metade da população da UE e 80% da população dos EUA, mas regista taxas de crescimento demográfico muito superiores, com um aumento populacional médio de 1.2% por ano. Espera-se que até 2050 a população dos atuais Estados-membros da CPLP ultrapasse os 360 milhões de pessoas. Naturalmente, o Brasil apresenta a maior população, 200 milhões de pessoas (76%), mas a população residente cresce a um ritmo mais elevado na Guiné Equatorial (2.8%), Moçambique (2.7%) e Angola (2.5%).

'Angola, Timor Leste, Guiné-Bissau e Moçambique estão classificados entre os países mais vulneráveis do mundo às alterações climáticas.'

Em 2013, o Produto Interno Bruto (PIB) do conjunto de países da CPLP foi de USD 2620 mil milhões. A média do Produto Nacional Bruto (PNB) *per capita* foi de USD 6821, mas com uma distribuição muito assimétrica, pois Portugal, Guiné Equatorial e Brasil inflacionam de forma decisiva a média. Os restantes seis membros têm um PNB médio de USD 4147, com os valores mais baixos registados em Moçambique (USD 590) e Guiné-Bissau (USD 520). Ainda assim, Angola, Cabo Verde e

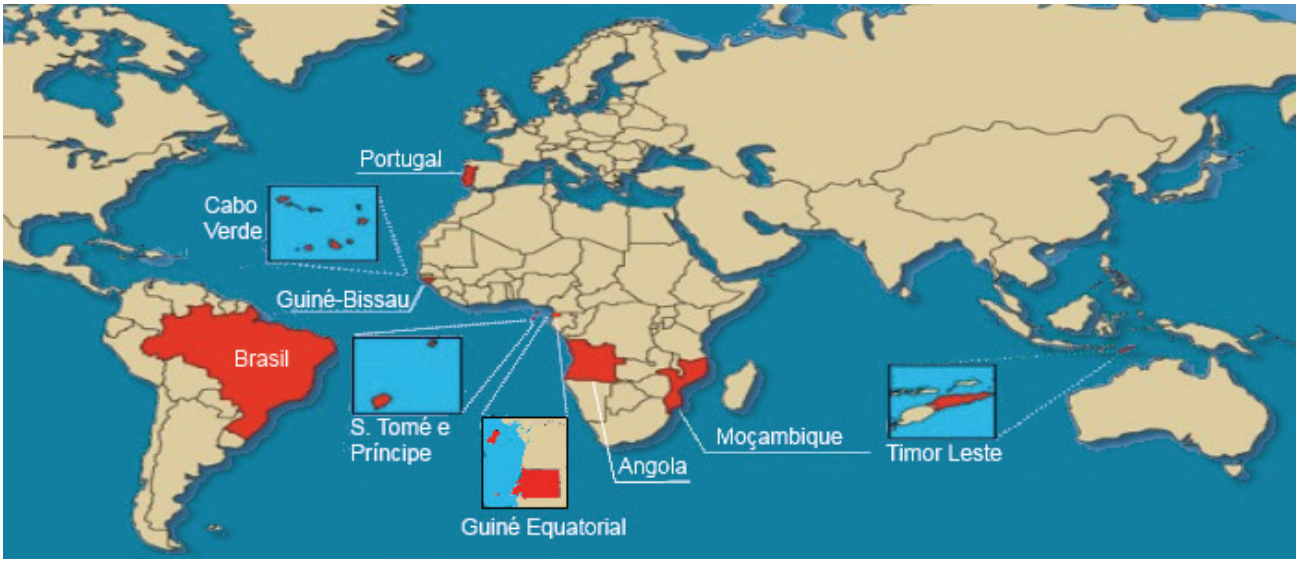


Fig. 1– Estados-membros da CPLP.

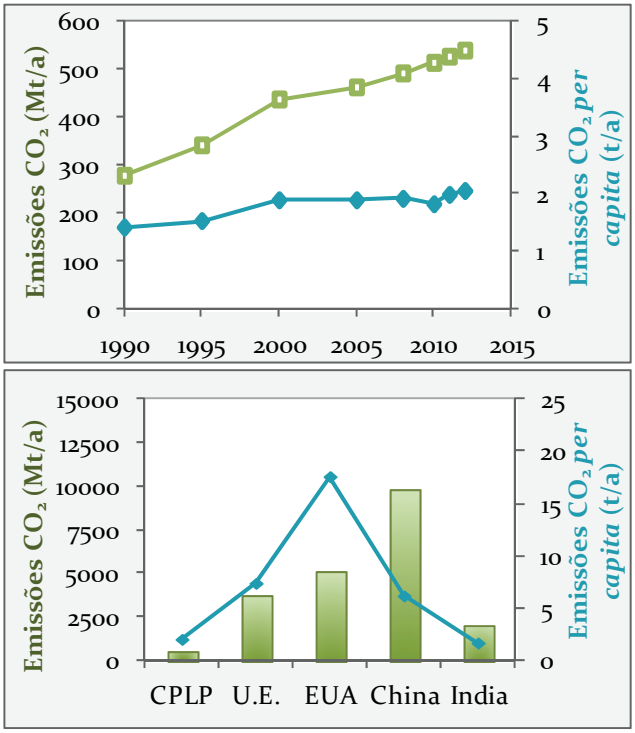


Fig. 2 – Emissões de CO_2 na CPLP e comparação com outras regiões em 2012. Fonte: JRC [3].

Moçambique estão entre os 10 países africanos com o maior crescimento económico entre 2000 e 2012, enquanto a Guiné-Bissau se encontra no polo oposto, o sexto país africano com o pior desempenho [2]. A Guiné Equatorial tem a maior rendimento *per capita* de África, e taxas de crescimento do PIB de dois dígitos em grande parte da década 2000-2010, embora nos últimos anos tenha registado um crescimento modesto ou mesmo negativo. Apesar do crescimento económico, Timor Leste, Guiné Equatorial, Moçambique, São Tomé e Príncipe e Guiné-Bissau têm taxas de pobreza elevadas, na ordem dos 50% ou superiores [2], e constituem *Países Subdesenvolvidos*. Espera-se que a Guiné Equatorial alcance em 2016 a classificação de *País em Desenvolvimento*, um estatuto aplicado ao Brasil e Cabo Verde [3]. Portugal é considerado um *País Desenvolvido*.

Este ambiente socioeconómico reflete-se em taxas reduzidas de emissões de CO_2 provenientes do consumo de combustíveis fósseis e da produção de cimento (Fig. 2) [2]. As emissões de CO_2 na totalidade da CPLP aumentaram de modo consistente de 278 Mt em 1990 até às 538 Mt em 2012, um aumento médio 11 Mt por ano [4]. Estes valores são, ainda assim, uma reduzida fração das emissões globais, pois os valores *per capita* são reduzidos, apenas 2.05 t/a em 2012, um valor comparável ao da India, e que traduz um aumento gradual desde as 1.4 t/a registadas em 1990 (Fig. 2).

A distribuição das emissões na CPLP é muito assimétrica, com o Brasil responsável por 80%-85% das emissões (Fig. 3), reflexo da proporção elevada de população brasileira na CPLP. A Guiné-Bissau, Timor Leste, Cabo Verde e São Tomé e Príncipe, emitiram em conjunto menos de 1 Mt de CO_2 em 2012. A distribuição de emissões de CO_2 *per capita* é muito diferente, com a Guiné Equatorial (6.7 t/a) e Portugal (5 t/a) a apresentarem os valores mais elevados, enquanto o Brasil (2.2 t/a) e Angola (1.6 t/a) são os outros estados-membros com emissões *per capita* superiores à unidade.

Todos os países da CPLP, exceto Portugal, estão situados em regiões tropicais. Segundo diversos índices de "vulnerabilidade às mudanças climáticas" [5-9], Angola, Timor Leste, Guiné-Bissau e Moçambique estão entre os países mais vulneráveis do mundo ao impacto das alterações climáticas. Um desses índices, o ND-GAIN [7], avalia a vulnerabilidade às alterações climáticas e a capacidade de resposta a essas alterações. O ND-GAIN indica que Angola, Guiné-Bissau, Timor Leste, Moçambique e São Tomé e Príncipe são muito vulneráveis às alterações climáticas e têm capacidade de resposta reduzida. Cabo Verde também apresenta vulnerabilidade alta, mas a capacidade de resposta é mais adequada. A Guiné Equatorial, Brasil e Portugal são menos vulneráveis às alterações climáticas.

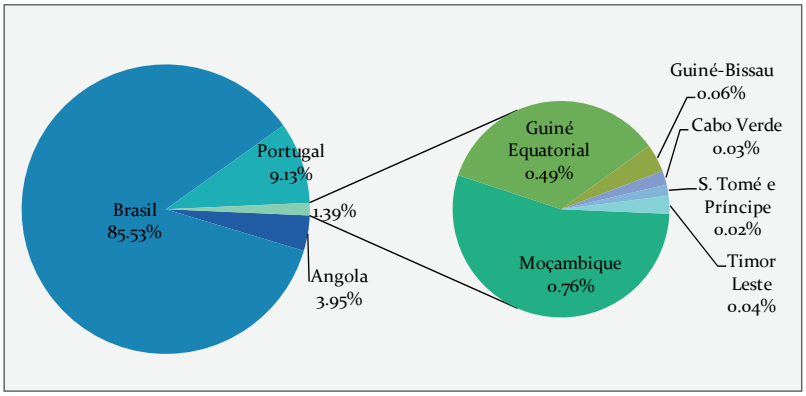


Fig. 3 – Distribuição das 538 Mt CO_2 emitidas pelos estados-membros da CPLP em 2012. Fonte: JRC [3].

2 Estado de atividades CCS nos países da CPLP

Portugal é o único país da CPLP incluído no Anexo I da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC) e as suas metas de redução de emissões foram definidas no âmbito do acordo de partilha de responsabilidades da UE-15. Todos os outros membros da CPLP são partes Não-Anexo I da CQNUAC e Não-Anexo B do Protocolo de Quioto; isentos dos compromissos de redução das emissões de CO_2. Assim, não existiram motivações políticas ou económicas para implementar tecnologias de redução de emissões de CO_2 como a CCS. Apenas Portugal e Brasil desenvolveram de modo consistente atividades em CCS, impulsionados pela necessidade de avaliar o impacto da tecnologia em sectores específicos, concretamente nos sectores energético e cimenteiro de Portugal e de produção de hidrocarbonetos no Brasil. As autoridades e *stakeholders* dos outros países da CPLP têm participado em *workshops* e seminários sobre a tecnologia CCS, mas sem que daí que tenham resultado atividades ou projetos em CCS.

Este capítulo aborda as atividades já desenvolvidas ou em curso no Brasil e em Portugal, enquanto as perspetivas para os outros países da CPLP, o foco principal desta publicação, são abordadas no capítulo 3.

Brasil

O Brasil é o maior emissor de CO_2 na CPLP. Em 2010, o Brasil emitiu 419 Mt de CO_2 provenientes da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento, cerca de 85% do total das emissões na CPLP [10]. No entanto, as emissões *per capita* do Brasil continuam relativamente baixas, 2.2 t/a em 2010, em parte porque mais de 80% da eletricidade do Brasil é produzida por fontes hídricas (Fig. 4). Por outro lado, as emissões dos sectores industriais são importantes, pois o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de cimento, alumínio, produtos químicos e petroquímicos, e é o 12º maior produtor de petróleo. Neste enquadramento, é provável que a tecnologia CCS seja mais relevante no Brasil para os sectores industriais do que para o sector electroprodutor.

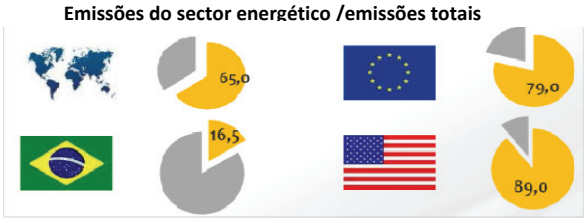


Fig. 4 – Fração (%) de emissões de CO_2 do sector energético no Brasil, UE, EUA e mundiais em 2005 [13].

Estado das atividades CCS

Em Dezembro de 2010 o Brasil aprovou legislação para reduzir as emissões do país em 36.1% a 38.9% das emissões projetadas até 2020, mas a CCS não foi incluída no *portfolio* de tecnologias de redução de emissões. No entanto, a petrolífera nacional PETROBRAS é, há vários anos, um promotor ativo da tecnologia CCS e efetua injeção de CO_2 para EOR desde 1987 no campo de Buracica e desde 2009 no projeto-piloto Miranga [11].

A PETROBRAS opera atualmente um projeto CCS de grande escala, no campo de petróleo Lula, o único projeto mundial de CO_2-EOR numa zona *offshore*. Desde Junho de 2013 o CO_2 separado do gás natural produzido na Bacia de Santos, 5 a 7 km abaixo do nível do mar, é comprimido e reinjetado no reservatório de petróleo para EOR. A PETROBRAS pretende injetar 0.7 Mt/a de CO_2 e até 2020 espera instalar vinte novos sistemas flutuantes de produção no Pré-Sal, muitos deles incluindo reinjeção de CO_2 para EOR [12, 13].

A PETROBRAS é a principal impulsionadora da I&D em CCS realizada no Brasil, com investimentos previstos da ordem dos USD 150 milhões entre 2010-2015, sobretudo no âmbito de dois programas tecnológicos de I&D[14]:

- EMISSÕES - Programa Tecnológico para a Redução de Emissões Atmosféricas; abrangente e de longo prazo, incluindo os impactos das alterações climáticas, vulnerabilidade e adaptação;
- PROCO2 - Programa Tecnológico de Gestão de CO_2 no Pré-sal; centrado nas questões de CO_2 no desenvolvimento do *cluster* Pré-sal na Bacia de Santos.

Nestes programas e, em conjunto com a Universidade Federal de Santa Catarina, a PETROBRAS instalou o *CO_2 MMV Field Lab*, o primeiro de seu género na América do Sul, destinado a preencher as lacunas de conhecimento sobre as tecnologias de gestão do CO_2. Outro projeto importante é o *Laboratório de Captura de CO_2* no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), centrado no desenvolvimento de novos materiais para combustão de hidrocarbonetos através de um processo de *chemical looping*.

A PETROBRAS também está ativa a nível de cooperação internacional, pois é membro da IEAGHG e do CSLF, e participa em vários projetos internacionais. Como parte integrante da *Iniciativa Industrial CCP* (*CO_2 capture Project*), a PETROBRAS implementou um projeto piloto de captura de CO_2 por oxi-combustão numa unidade de um complexo de investigação no Paraná, Brasil.

Diversas universidades e centros de investigação brasileiros estão envolvidos em I&D sobre CCS, também com apoio da PETROBRAS. Em 2007 um acordo entre a PETROBRAS e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) permitiu implementar um centro de investigação sobre armazenamento de CO_2, o CEPAC (Centro de Excelência em Pesquisa e Inovação em Petróleo, Recursos Minerais e Armazenamento de Carbono), uma das instituições-chave para a I&D e capacitação sobre CCS no Brasil. O CEPAC foi responsável pelo projeto CARBMAP – Mapa Brasileiro de Sequestro de Carbono - concluído em 2011, e que avaliou a capacidade de armazenamento no país e em cerca de 2000 Gt. Para além de conduzir diversos projetos de I&D, como sejam o projeto-piloto de CBM/ECBM em Porto Batista (desenvolvido em conjunto com a PETROBRAS e o COPELMI), o CEPAC tem organizado seminários para sensibilizar as comunidades locais e demais *stakeholders* para a tecnologia CCS [11].

CCS na indústria de extração de carvão

Embora o Brasil não seja um grande produtor de carvão, há empresas de mineração brasileiras de grande envergadura com atividade em vários países, incluindo em Estados-membros da CPLP. A indústria carbonífera do Brasil está envolvida em investigação em CCS para avaliar as suas opções de redução de emissões, e a Associação Brasileira do Carvão Mineral (ABCM) planeia investir USD 6.5 milhões entre 2010-16 em projetos nesta área, incluindo a construção de um laboratório sobre captura e utilização de CO_2. A ABCM também colabora com o US NETL num programa de I&D sobre captura de CO_2, e em capacitação de quadros técnicos [15].

Bio-CCS

O Brasil é um líder mundial e percursor na produção de biocombustíveis. A possibilidade de aliar essa experiência com a CCS é admitida no país e a Bio-CCS é um foco de investigação. A Universidade de São Paulo, através do Centro Nacional de Referência em Biomassa, investiga ativamente o potencial de Bio-CCS no Brasil, estimando que possa contribuir para reduzir até 5% as emissões provenientes de produção de energia [11].

CCS nos sectores cimenteiros e siderúrgicos

Apesar da importância do sector cimenteiro na economia brasileira, com uma produção anual de cerca de 70 Mt de cimento (quinto maior produtor do mundo), o sector parece não estar envolvido em atividades de grande escala sobre CCS no país. Também no importante sector siderúrgico é desconhecido qualquer envolvimento em atividades em CCS.

'A rede de sequestro de carbono e alterações climáticas foi promovida pela PETROBRAS para abordar desafios em CCS e alterações climáticas. De 2006 a 2013 foram investidos USD 17 milhões.'

Autoavaliação sobre o estado da CCS no Brasil

Em abril de 2014, numa mesa-redonda sobre CCS no Rio de Janeiro, os participantes foram convidados a avaliar o estado da I&D sobre CCS no país. Os participantes consideraram que o papel da CCS na mitigação das alterações climáticas ainda não é compreendido por muitos sectores no Brasil. Embora a tecnologia seja bem conhecida da PETROBRAS, e de alguns sectores de atividade e por muitos académicos, a falta de apoio do governo e a baixa prioridade dada à tecnologia nas políticas climáticas nacionais e estaduais foram destacadas como preocupações significativas. O envolvimento governamental e o estabelecimento de políticas e regulamentação que facilitem a implementação da CCS foram considerados elementos-chave para o futuro da CCS no Brasil [16].

Um passo importante para o desenvolvimento da CCS no Brasil foi a recente publicação do Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO_2 [17]. Espera-se que a publicação do Atlas venha contribuir para expandir o conhecimento sobre a tecnologia CCS no país, despertando o interesse dos *stakeholders* e aumentando a perceção pública.

Portugal

Esta publicação integra o projeto *CCS-PT* um estudo prospetivo que procura clarificar o papel da tecnologia CCS no contexto Português e a sua eventual necessidade nos sectores industriais e energéticos nas próximas décadas. O projeto *CCS-PT* sintetiza em larga medida o trabalho realizado em atividades CCS anteriores em Portugal.

Atividades de captura de CO_2

A nível académico têm sido efetuados diversos estudos sobre captura CO_2, mas os projetos mais relevantes envolveram os sectores industriais e electroprodutor. A EDP, principal empresa nacional de produção de energia, participou em vários projetos cofinanciados pela União Europeia, incluindo [18]:

- projeto NanoGLOWA; investigou o potencial da utilização de membranas para capturar CO_2 e incluiu testes-piloto na Central Termoelétrica de Sines;
- projeto DECARBIT; procurava viabilizar até 2020 as centrais termoelétricas de pré-combustão com emissões zero, com custo de captura inferior a 15 €/t, e que incluiu vários testes-piloto;
- projeto FLEXYBURN CFB; visada demonstrar e desenvolver um conceito de central térmica baseada na tecnologia de *Circulating Fluidized Bed* combinada com CCS. Incluiu uma central piloto de 30MW em Espanha.

Outra empresa portuguesa de produção de energia, a TEJO ENERGIA, avaliou no âmbito do projeto KTEJO, a viabilidade técnico-económica de adoção de CCS na central a carvão do Pego, a segunda maior do país.

Nos sectores industriais, são conhecidas atividades sobre captura de CO_2 nos sectores de produção de cimento e de refinação de petróleo. A petrolífera GALP ENERGIA implementou um projeto-piloto para a captura de CO_2 por algas, com reutilização em biocombustíveis. No sector cimenteiro, as duas empresas portuguesas, CIMPOR e SECIL, desenvolveram projetos-piloto de captura de CO_2 através de microalgas durante a produção de *clínquer*. A indústria cimenteira nacional também está envolvida em estudos sobre CCS no seio da *European Cement Research Academy*.

Atividades de transporte de CO_2

O projeto COMET, cofinanciado pela UE, constituiu o principal estudo sobre transporte de CO_2 desenvolvido em Portugal e teve como objetivo definir uma infraestrutura integrada de transporte e armazenamento entre Portugal, Espanha e Marrocos. O projeto envolveu a maioria dos principais emissores de CO_2 em Portugal e incluiu a definição de uma rede de gasodutos de CO_2, com base na otimização de custos de toda a cadeia CCS, e uma avaliação da viabilidade do transporte por navio. O COMET produziu a primeira análise custo-eficácia da tecnologia CCS no contexto Português, um trabalho prosseguido e desenvolvido no âmbito do roteiro *CCS-PT*.

Atividades de armazenamento de CO_2

Os projetos KTEJO e COMET incluíram a análise, à escala regional, da capacidade de armazenamento em aquíferos salinos profundos, e produziram estimativas da capacidade de armazenamento efetiva máximas de 7.6 Gt, a grande maioria (mais de 90%) em zonas *offshore*. A capacidade de armazenamento na Bacia Carbonífera do Douro, também tem foi alvo de estudos desenvolvidos pela Universidade Fernando Pessoa.

'O Roteiro CCS-PT clarifica o papel da tecnologia no contexto Português e a sua necessidade nos sectores industriais e energéticos num cenário de economia de baixo carbono.'

Avaliação sobre estado da CCS em Portugal

Portugal não possui ainda um corpo técnico e científico especializado nas múltiplas componentes da cadeia de CCS. Num primeiro esforço de capacitação, o projeto COMET incluiu *workshops* e seminários em várias universidades portuguesas. A participação foi invariavelmente acima das expectativas, mas a tecnologia ainda é relativamente pouco conhecida no meio académico. O conhecimento sobre a tecnologia CCS entre a sociedade em geral é muito reduzido, já que não foi ainda implementado qualquer programa sistemático de divulgação pública. Por outro lado, o conhecimento sobre CCS entre a indústria e reguladores é bastante elevado, pois muitos estiveram já envolvidos em atividades sobre CCS.

No tocante à regulação, o armazenamento de CO_2 é regulamentado pela Lei 60/2012,que transpõe a diretiva UE 2009/31/EC, e designa a Direção Geral da Energia e Geologia como autoridade de licenciamento e regulação da atividade, e envolve a Agência Portuguesa do Ambiente como a autoridade de controlo ambiental.

A publicação do estudo *CCS-PT*, de que esta publicação é parte integrante, irá contribuir para um melhor entendimento do papel da tecnologia no contexto português, permitindo às autoridades, reguladores, e demais *stakeholders*, tomar decisões informadas sobre a implementação da tecnologia em Portugal. Mais informações sobre o projeto *CCS-PT* podem ser obtidas em http:\\ccsroadmap.pt e na página de internet do GCCSI.

3 Perspetivas para atividades em CCS na CPLP

A ausência de atividades de CCS significativas nos outros membros da CPLP, para além de Brasil e Portugal, reflete a carência de motivações para a implementação da tecnologia. No entanto, a elegibilidade de projetos CCS no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) [19], a evolução do perfil das emissões de CO_2 em alguns dos países da CPLP, e o interesse reforçado na utilização de CO_2 em EOR, fornecem o incentivo para avaliar a possibilidade de implementar projetos CCS nos restantes países da CPLP.

3.1 Contexto industrial, energético e oportunidades de armazenamento de CO_2

Esta secção caracteriza sucintamente, e para cada país da CPLP ainda não envolvido em atividades de CCS, os recursos em combustíveis fósseis endógenos, os sectores energéticos e industriais, o perfil das emissões de CO_2 e o potencial de armazenamento de CO_2. Portugal e Brasil, já envolvidos em vários projetos CCS, não são incluídos nesta análise.

Angola

Combustíveis fósseis endógenos

Angola é membro da OPEP e o segundo maior produtor de petróleo da África subsaariana, com quase 9.1 mil milhões de barris de reservas de petróleo. Em 2013, Angola extraiu 94 Mtep de petróleo (Fig. 5), com proveitos de quase 80% do PIB nacional [20]. A produção de gás natural quase quadruplicou nos últimos 20 anos, de 2.5 Mtep em 1990 para 9.5 Mtep em 2012, mas apesar das reservas consideráveis, Angola é ainda um pequeno produtor, pois 91% do gás natural associado ao petróleo é reinjetado, libertado para a atmosfera ou queimado (*gas flaring*). A primeira central de GNL, no Soyo, foi concluída e está operacional desde 2013 [20].

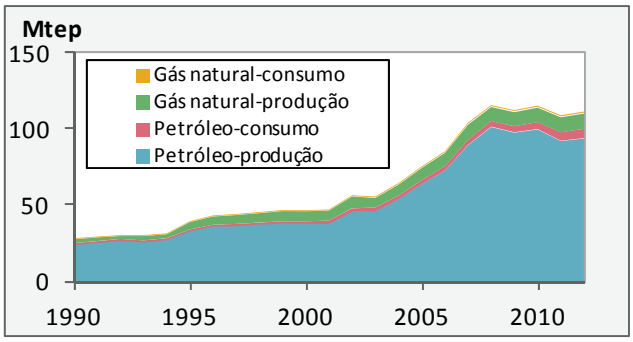


Fig. 5 – Produção e consumo de combustíveis fósseis em Angola. Fonte: EIA [19].

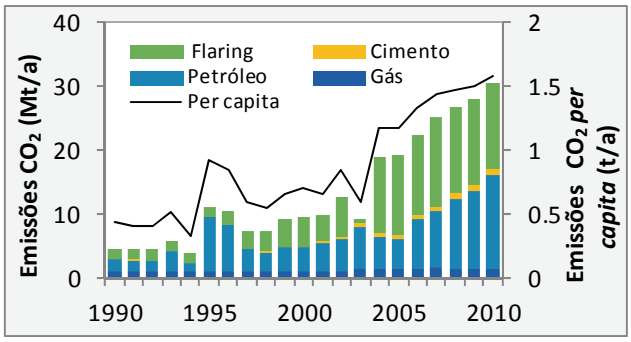


Fig. 6 – CO_2 emitido por combustíveis fósseis, *gas flaring* e produção de cimento. Fonte: CDIAC [9].

Tabela 1 – Fontes primárias de energia 2012

	Biomassa / resíduos	Hídrica	Petróleo	Gás
Energia (ktep)	8384	343	4942	614
Fração (%)	58.7	2.4	34.6	4.3

Fonte: IEA [20].

Consumo de energia primária

A rede elétrica cobre apenas cerca de 40% da população [2] e, em 2012, 59% do consumo de energia primária consistia na utilização tradicional de biomassa sólida e resíduos [21] (Tabela 1). Em 2012 Angola consumiu 4.9 Mtep de derivados de petróleo (Fig. 5), i.e. 35% da energia primária, e quase o dobro do consumido 10 anos antes [20].

Área: 1247000 km²
População (2013): 21.47 milhões
PNB (2013): USD 121 700 milhões

A capacidade elétrica instalada é de 1.8 GW, dos quais cerca de 70% de origem hídrica [21]. A restante produção é garantida por combustíveis fósseis, em 24 pequenas e médias centrais [22]. Angola planeia aumentar a capacidade de geração para 9 GW até 2025, sobretudo a partir de fontes hídricas. Porém, é provável que o recurso a gás natural ganhe relevância, pois uma central de 500 MW a gás natural no Soyo e outra de 75 MW em Cabinda deverão iniciar operações em 2015. O governo pretende, até 2025, garantir o acesso à eletricidade a 60% da população, com a origem hídrica a constituir 15% das fontes primárias, os hidrocarbonetos a constituir 55%, e reduzindo a contribuição da biomassa a 30% [23].

Indústrias de elevada intensidade de carbono

O mercado de cimento em Angola desfrutou de anos de forte crescimento após o fim da guerra civil [25]. Angola tem duas fábricas de cimento operacionais há vários anos [26]: a fábrica da SECIL, no Lobito, com uma capacidade de produção de 250 kt/a; e a fábrica de NOVA CIMANGOLA, em Luanda, com uma capacidade de 1.2 Mt/a. Nos últimos anos foram inauguradas três novas fábricas: CIMENFORT em Benguela, e FCKS e CIF, ambas em Luanda. A capacidade instalada é superior a 6 Mt/a, mas as perspetivas para o sector ainda são positivas e duas novas fábricas deverão ficar operacionais em 2016.

Angola tem uma pequena refinaria, construída em 1955, com uma capacidade de 39 kbbl/d, mas uma nova refinaria no Lobito deverá iniciar operações em 2017 com capacidade para processar 200 kbbl/d [26].

Solos de boa qualidade e abundância de água garantem boas condições para investimentos em bioenergia. Em 2014 foi aprovada uma lei que promove os biocombustíveis e a Empresa BIOCOM está a desenvolver, em Malanje, um projeto de produção de etanol e 160 000 MWh de eletricidade por ano [26].

Emissões de CO_2

As emissões de CO_2 provenientes de combustíveis fósseis e do sector cimenteiro aumentaram de 4.4 Mt em 1990 para 30.4 Mt em 2010 (Fig. 6), em consequência do

aumento de produção de petróleo sobretudo a partir de 2007 [10]. As emissões provenientes de *gas flaring* representam 45% das emissões totais. A produção de cimento e consumo de gás natural ainda representam percentagens reduzidas das emissões, mas têm vindo a aumentar devido às novas centrais e fábricas que ficaram operacionais nos últimos anos. As emissões *per capita* são ainda bastante reduzidas, apenas 1.6 t/a em 2010.

Oportunidades para armazenamento de CO_2

As oportunidades para armazenamento geológico de CO_2 em Angola devem ser procuradas nas bacias sedimentares, ou seja, em aquíferos salinos profundos, campos de hidrocarbonetos esgotados e na utilização de CO_2 em EOR. Outros cenários potenciais, como o armazenamento em camadas de carvão e em rochas ultramáficas, não parecem ser viáveis em Angola.

Angola possui sete bacias sedimentares [27], agrupadas em **Bacias do Atlântico** e **Bacias Interiores** (Fig. 7). As bacias do Atlântico, compostas pelas bacias costeiras do Cretácico-Cenozoico (bacia do Baixo Congo, bacia do Kwanza, bacia de Benguela e bacia do Namibe), são os focos de produção e pesquisa de hidrocarbonetos. Atualmente, a produção de petróleo vem inteiramente da bacia do Baixo Congo, nas áreas de Cabinda e Soyo. A produção é quase na íntegra a partir do *offshore*, e apenas no Soyo há alguma produção *onshore* (Fig. 7).

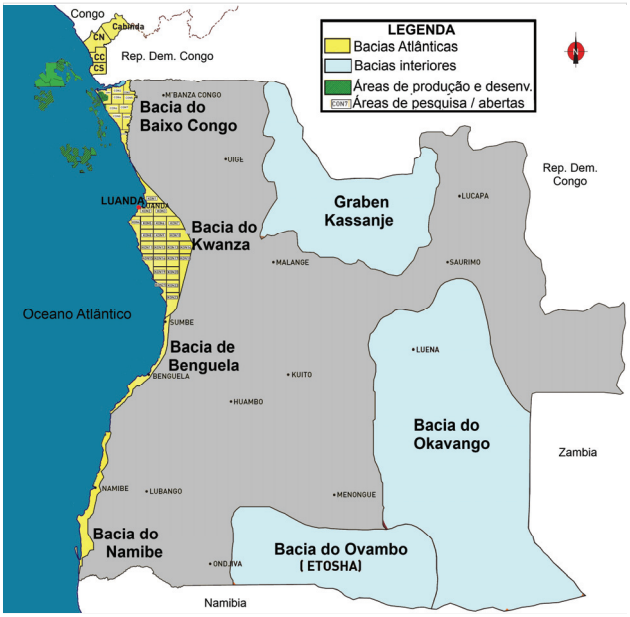


Fig. 7 – Bacias sedimentares em Angola. Adaptado de Sonangol [26].

Os alvos óbvios para armazenamento de CO_2 são os campos de petróleo explorados na Bacia do Baixo Congo, particularmente na área do Soyo, pois tem uma localização favorável em relação a várias fontes de CO_2. A área de Cabinda poderá ser menos atrativa devido às maiores distâncias de transporte. O transporte e armazenamento transfronteiriço podem ser relevantes para as zonas de Cabinda e Soyo, devido à proximidade com a República Democrática do Congo, e especificamente para o transporte para Cabinda.

Os campos de petróleo mais próximos do esgotamento são oportunidades ideais para o armazenamento, pois as formações geológicas provaram a sua adequação e a geologia desses campos é bem conhecida. A possibilidade de utilização de CO_2 em EOR nos sectores explorados é de interesse óbvio e deve ser abordada numa perspetiva económica.

'Campos de petróleo esgotados e a utilização CO_2 em EOR são opções promissoras para o armazenamento de CO_2 em Angola.'

A bacia do Kwanza, em particular no seu sector *onshore*, parece ser muito promissora, justificando uma avaliação para armazenamento de CO_2 em aquíferos salinos profundos, dada a existência de evaporitos que podem constituir bons selantes e ser fonte de salinidade da água subterrânea. Esta bacia tem um extenso sector *onshore* (o maior das bacias do Atlântico) e está muito bem localizado para fontes emissoras na zona de Luanda.

Por outro lado, os sectores *onshore* das bacias de Benguela e do Namibe são muito estreitos e é provável que sejam pouco adequados para o armazenamento de grandes volumes de CO_2. Assim, nessas bacias, e particularmente na bacia de Benguela, onde existem fontes estacionárias (fábricas de cimento), os esforços para avaliar a capacidade de armazenamento provavelmente devem centrar-se nos sectores *offshore*, com penalização nos custos de armazenamento

As bacias interiores, compostas pelo graben de Kassanje, pela bacia do Okavango e pela bacia Ovambo (Etosha), são praticamente desconhecidas, pois o trabalho de campo nessas áreas só se iniciou após o final da guerra civil, mas são agora objeto de interesse pela companhia nacional de petróleo, a SONANGOL. Estas bacias estão muito distantes das principais áreas de desenvolvimento e das fontes CO_2, e parecem revestir-se de menor interesse para armazenamento de CO_2.

Cabo Verde

Consumo de energia primária

Cabo Verde é composto por um arquipélago de 10 ilhas, localizado a cerca de 570 km da costa ocidental de África. Apesar dos escassos recursos naturais, Cabo Verde tem usufruído de um crescimento económico acelerado nas últimas décadas [20]. Desde 2007, Cabo Verde é classificado como um *País em Desenvolvimento* [3], e em conjunto com Portugal e Brasil, compõem o grupo de países da CPLP não classificados como subdesenvolvidos. O acentuado crescimento económico refletiu-se num aumento no consumo de energia primária.

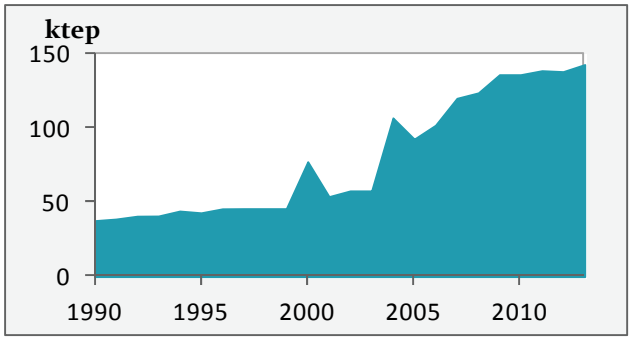


Fig. 8 – Consumo de produtos petrolíferos em Cabo Verde. Fonte: EIA [19].

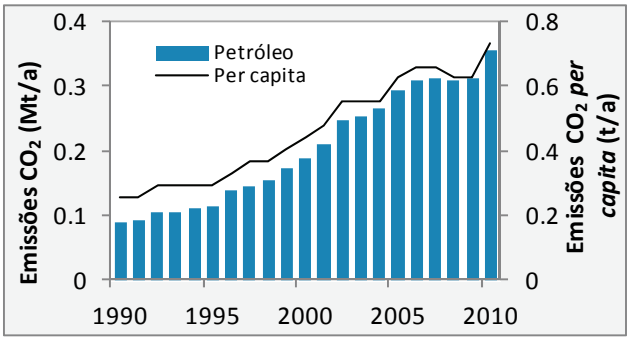


Fig. 9 – CO_2 emitido por combustíveis fósseis. Fonte: CDIAC [9].

Tabela 2 - Fontes primárias de energia 2008

	Biomassa	Eólica	Petróleo
Energia (ktep)	2.8	0.5	118
Fração (%)	2.3	0.4	97.3

Fonte: IEA [20].

Entre 1990 e 2012 o consumo de produtos petrolíferos quase quadruplicou, e desde 2003 o consumo passou de 37.6 ktep para 138 ktep [20] (Fig. 8). Uma vez que Cabo Verde não possui recursos fósseis endógenos, necessita de importar os produtos petrolíferos que consome. Os recursos energéticos endógenos consistem essencialmente em biomassa, energia solar e sobretudo energia eólica. Apesar do forte potencial, a produção a partir da fonte eólica é ainda muito limitada (Tabela 2).

Área: 4033 km²
População (2013): 499 000
PNG: USD 1888 milhões

Em 2013 a rede elétrica atingia cerca de 87% da população [2] (com 100% de cobertura nas principais ilhas), e a dessalinização da água consumia até 10% da produção de eletricidade. A capacidade instalada em 2012 era de 156.5 MW, com 78% dessa capacidade proveniente de centrais térmicas a diesel, e o restante coberto por fontes eólicas (17%) e solares (5%) [28].

O governo pretende garantir uma capacidade instalada de 300 MW até 2020 [29]. Este incremento será provavelmente conseguido através de fontes renováveis. Cabo Verde é um dos 15 países em África com maior potencial eólico e o potencial em energia solar é também muito elevado: 6 kWh/m² por dia. Um estudo recente indicou ainda 3 MW de capacidade geotérmica na ilha do Fogo [30]. No total, a capacidade de energia renovável é estimada em cerca de 2600 MW. O compromisso do governo de Cabo Verde é que, em 2020, as fontes renováveis constituam 50% da matriz energética e que pelo menos uma ilha seja totalmente abastecida por fontes renováveis [29].

Emissões de CO_2

A economia de Cabo Verde é baseada em serviços, com o comércio, transportes e serviços públicos responsáveis por 70% do PIB do país. Devido à natureza de arquipélago, com produção de energia específica para cada ilha, as centrais diesel não constituem grandes fontes emissoras. O sector industrial é pequeno, e não há grandes fontes industriais de CO_2, como fábricas de cimento ou refinarias. As emissões de CO_2 estão ligadas sobretudo ao consumo de petróleo como fonte de energia primária. A evolução das emissões de CO_2 tem acompanhado o crescimento económico, mas embora as emissões tenham quadruplicado no período 1990-2010, continuam bastante reduzidas, somente 0.35 Mt/a em 2010, e com valores *per capita* de 0.73 t/a (Fig. 9).

Perspetivas para atividades em CCS

Face ao baixo nível de emissões de CO_2 e à quase ausência de grandes fontes estacionárias, que deverá perdurar devido ao potencial em fontes de energia

renovável e aos custos de insularidade, a CCS não constitui uma tecnologia de mitigação de alterações climáticas relevante para Cabo Verde.

Há, no entanto, atividades relacionadas com a tecnologia CCS que podem ser implementadas em Cabo Verde. As ilhas de Cabo Verde são de origem vulcânica, embora apenas a ilha do Fogo permaneça com vulcanismo ativo. Nesta ilha existem emissões naturais em fumarolas, principalmente de enxofre mas, possivelmente também de CO_2 natural [30]. Poderiam ser desenvolvidos projetos de I&D nessas emissões naturais para testar metodologias de deteção de fugas, especialmente métodos geofísicos aerotransportados, bem como os efeitos das fugas de CO_2 para os ambientes circundantes.

Para além disso, os basaltos afloram extensivamente em várias ilhas do arquipélago, podendo fornecer condições adequadas para projetos de I&D orientados para o armazenamento de CO_2 por carbonatação mineral *in situ* naquele tipo de rochas, complementando os projetos que estão a ser conduzidos na Islândia e nos *Columbia River Basalts* nos EUA.

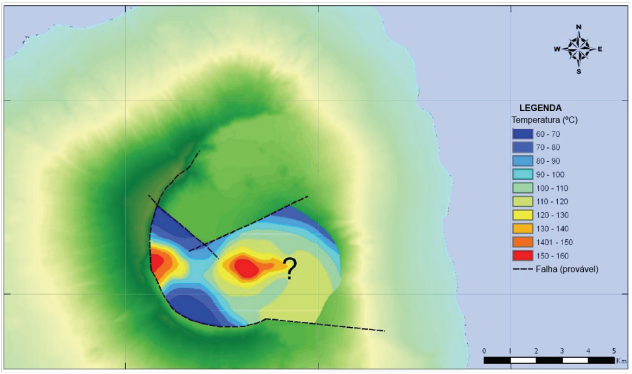


Fig. 10– Potencial geotérmico na ilha do Fogo, Cabo Verde. Adaptado de Gesto Energy [29].

Uma outra atividade em CCS relevante para Cabo Verde está ligada à geotermia. A empresa GESTO ENERGY identificou, na ilha do Fogo, um potencial geotérmico de cerca de 3 MW a profundidades não inferiores a 100 m[30] (Fig. 10). Existem, no entanto, dúvidas sobre a existência de um reservatório geotérmico adequado, uma vez que as amostras de água não foram conclusivas. A utilização de CO_2 como fluido circulante em *Enhanced Geothermal Systems* (EGS) tem sido estudada a nível académico (ex. [31]). Neste processo, o CO_2 é injetado para recuperar calor a partir de rocha (pois o CO_2 é mais eficiente para esse fim do que a água), mas uma fração do CO_2 injetado ficará sequestrado na rocha por carbonatação mineral ou simplesmente por migração

para além da zona de influência do furo de produção. Se o uso de CO_2 em EGS se demonstrar técnica e economicamente viável, pode constituir uma opção para a produção de energia geotérmica na ilha do Fogo. A ausência de grandes fontes de CO_2 no arquipélago pode, no entanto, constituir um obstáculo para a viabilidade económica deste processo nas ilhas de Cabo Verde.

Assim, e apesar de a tecnologia CCS não ser uma tecnologia de mitigação de alterações climáticas necessária em Cabo Verde, há atividades que podem ser relevantes para a comunidade de I&D nacional e internacional e para o envolvimento das autoridades locais competentes em eventos sobre CCS. As ilhas vulcânicas de Cabo Verde podem constituir um laboratório natural para a cooperação internacional em matéria de I&D relacionada com a monitorização de emissões naturais de CO_2, com o armazenamento de CO_2 em basaltos e, eventualmente, para a utilização de CO_2, como o fluido de circulação em projetos EGS.

'A utilização de CO_2 como fluido de circulação em aproveitamentos EGS parece ser a melhor opção para Cabo Verde, especialmente se enquadrada em projetos no MDL.'

Guiné-Bissau

Consumo de energia primária

Guiné-Bissau é um dos Estados-membros fundadores da CPLP, mas a instabilidade política iniciada em 1998 conduziu a dificuldades nas atividades de cooperação com a CPLP e arrastou o país para lista dos países mais pobres do mundo. As eleições realizadas em Maio de 2014 foram elogiadas pela CPLP e as expectativas de cooperação com a comunidade aumentaram com a estabilidade política.

A Guiné-Bissau não tem recursos endógenos provados de petróleo, gás natural ou carvão, e todos os produtos petrolíferos são importados. As estatísticas sobre energia para a Guiné-Bissau estão desatualizadas, mas de acordo com o balanço energético de 2007 o consumo de produtos petrolíferos (Fig. 11) foi dominado pelo sector dos transportes (40.614 ktep), pela produção de energia elétrica (0.946 ktep) e pelo sector residencial (0.240 ktep) [32].

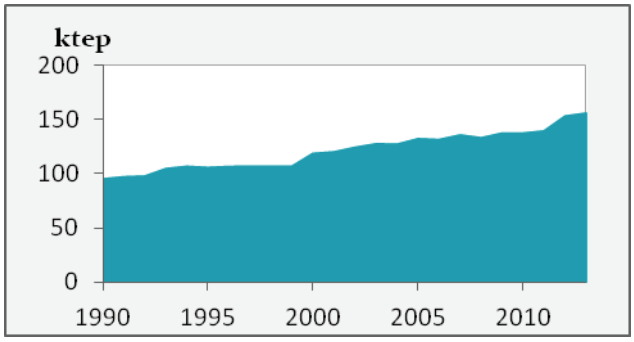


Fig. 11 – Consumo de produtos petrolíferos na Guiné-Bissau. Fonte: EIA [19].

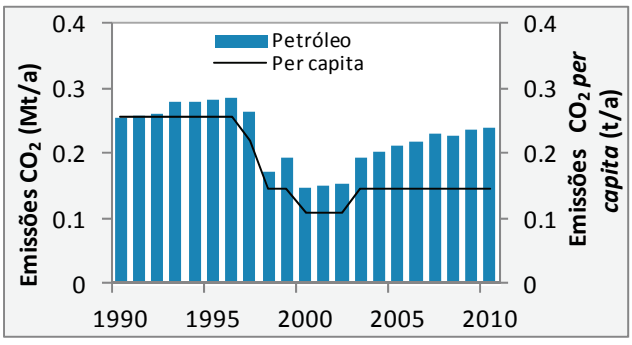


Fig. 12 - CO_2 emitido por combustíveis fósseis. Fonte: CDIAC [9].

Tabela 3 - Fontes primárias de energia 2008

	Biomassa	Petróleo
Energia (ktep)	107.3	111.7
Fração (%)	49.0	51.0

Fonte: IEA [20].

Área: 36125 km²
População (2013):1.704 milhões
PNB (2013): USD 858 milhões

Em 2008, a energia primária total, 219 ktep, foi dividida quase equitativamente por produtos derivados do petróleo (51%) e pelo uso tradicional da biomassa (49%) (Tabela 3), que representou mais de 95% da energia consumida pelas famílias na Guiné-Bissau [33].

A capacidade instalada de produção de energia elétrica em 2008 era de 21 MW, mas a produção e distribuição de eletricidade quase colapsou desde 2000 e apenas 20% da população tem acesso à eletricidade, na capital, Bissau, e noutros sete centros urbanos [34]. Todo o sistema de eletricidade está a operar com 5.5 MW de capacidade de geração, 25% da capacidade anterior ao conflito interno de 1998. A produção de energia é completamente dependente de produtos petrolíferos, a partir de pequenas centrais diesel [32].

O país tem amplos recursos de energia renovável: hidroelétrica, estimada em cerca de 184 MW a partir dos rios Corval e Geba; solar, com radiação média de 4.5 a 5.5 kWh/m²/dia; e bioenergia. Apesar deste potencial, não são conhecidos investimentos nesta área, embora o governo tenha anunciado pretender que, em 2015, a energia fotovoltaica represente até 2% do consumo global de energia [32, 33].

A Guiné-Bissau reúne condições para projetos de bioenergia e iniciou em 2010 um projeto financiado pela Fundação FACT e pelo Banco Mundial, mas ambas as instituições se retiraram entretanto do projeto. Espera-se que a estabilidade política permita desenvolver estratégias de aproveitamento deste e de outros recursos energéticos.

Emissões de CO_2

A economia da Guiné-Bissau é baseada na agricultura e na pesca. Para além das centrais diesel, não há grandes fontes emissoras estacionárias no país, como refinarias, fábricas de cimento ou siderurgia [34]. No entanto, uma empresa privada anunciou a intenção de construir uma fábrica de cimento com capacidade de 500 kt/a, com início de construção previsto para 2015 [35]. Devido aos elevados investimentos necessários, o desenvolvimento da indústria petrolífera, produção de fosfatos e de outros recursos minerais não é uma perspetiva de curto prazo.

Atualmente, as emissões de CO_2 estão relacionadas principalmente com o consumo de derivados de petróleo. As emissões são muito reduzidas, com um máximo de apenas 0.238 Mt em 2010, e com diminuição acentuada desde o início da turbulência política em 1998 (Fig. 12). As emissões *per capita*, de 0.26 t/a em 1990, diminuíram para 0.15 t/a em 2004 [10].

Oportunidades para armazenamento de CO_2

É provável que a Guiné-Bissau tenha condições geológicas muito favoráveis para armazenamento de CO_2. Embora a região oriental do país seja composta por um soco Palaeozóico-Precâmbrico sobreposto por sedimentos com espessura até 30 m, sem condições para armazenamento de CO_2, a região ocidental corresponde à sub-bacia da Guiné-Bissau, parte da bacia Meso-Cenozoica do Senegal (Fig. 14). O sector *onshore* da sub-bacia apresenta sequências sedimentares muito espessas, que datam do Oligocénico ao Presente, maioritariamente com litologias arenosas a argilosas [36].

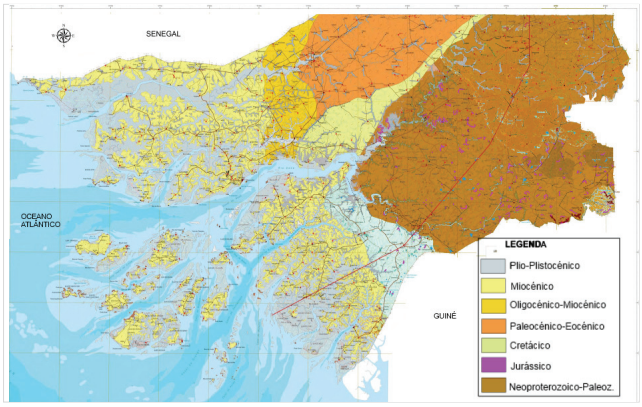


Fig. 14– Mapa geológico simplificado da Guiné-Bissau. Adaptado de Alves et al. [50].

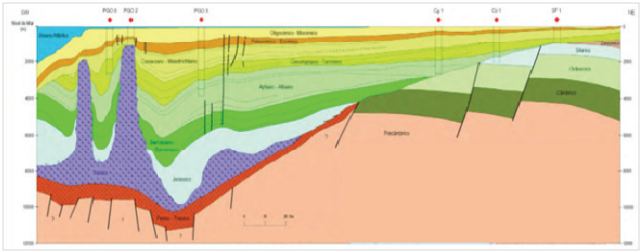


Fig. 13 – Secção geológica esquemática da Guiné-Bissau. Adaptado de Alves et al. [50].

A sequência sedimentar aumenta de espessura para oeste, ou seja, para a zona *offshore* (Fig. 13). A sequência *offshore* inclui sedimentos do Jurássico ao Quaternário, mas os sedimentos do Cretácico predominam. Em geral, a bacia é caracterizada por uma sequência sedimentar com um depocentro com 2.5 a 3 km de espessura no *onshore*, e cerca de 12 km de espessura e múltiplos domos salinos no *offshore* [37].

A sequência geral no Jurássico é composta predominantemente por calcários com camadas intercaladas de *shales* e evaporitos, enquanto o Cretácico Inferior é marcado por calcários espessos e arenitos, que transitam verticalmente para extensas camadas de *shales* no Cretácico superior [37]. É provável que existam complexos de reservatórios e selantes tanto no Jurássico como no Cretácico e nas camadas mais profundas do Oligocénico. A estrutura geral da bacia, com uma inclinação suave para oeste, aparentemente sem grandes complexidades estruturais, é favorável para a ocorrência de água subterrânea de salinidade elevada devido ao contacto prolongado com os potenciais reservatórios, e para a retenção hidrodinâmica de CO_2.

'A Bio-CCS é provavelmente o sector com maior potencial para projetos CCS na Guiné Bissau.'

Face a este enquadramento geológico, é provável que a Guiné-Bissau tenha muito boas condições para armazenamento de CO_2 em aquíferos salinos profundos, *onshore* e *offshore*, e apesar das reduzidas perspetivas para implementar projetos CCS na Guiné-Bissau, é seguramente relevante efetuar a avaliação da capacidade de armazenamento existente no país.

As Autoridades e Instituições da Guiné-Bissau nunca estiveram envolvidas em qualquer atividade sobre CCS e seguramente o nível de conhecimento sobre a tecnologia é muito reduzido. A estabilidade política parece ter regressado ao país, após as eleições de 2014, bem como uma participação reforçada nas atividades da CPLP. Porém, a degradação das condições económicas locais, segurança, sistema educativo e administração pública durante a década passada só poderá ser ultrapassada ao longo dos anos. As atividades para aumentar o conhecimento sobre a CCS em Guiné-Bissau devem centrar-se no envolvimento de representantes de autoridades públicas (Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Economia, Autoridade Nacional Designada para MDL) em ações de sensibilização, seminários ou cursos de curta duração nos outros Estados-membros da CPLP. Em particular, a participação em ações sobre Bio-CCS deve ser uma prioridade, pois este parece ser o sector com maior potencial para projetos de CCS na Guiné-Bissau.

Guiné Equatorial

Combustíveis fósseis endógenos

A Guiné Equatorial é o mais recente membro da CPLP na qual ingressou em 2014. A Guiné Equatorial é o terceiro maior produtor de petróleo da África subsaariana, atrás da Nigéria e Angola, com reservas provadas de 1.1 mil milhões de barris, e com uma produção de 14.9 Mtep em 2012, inteiramente a partir de campos *offshore* (Fig. 16). As reservas de gás natural também são significativas, atingindo 36.8 Gm^3, e a produção aumentou de 1.2 Mtep em 2001 para 7.3 Mtep em 2012. A maior parte do gás natural é exportada como GNL a partir de uma central na ilha de Bioko, que produziu 4.9 Gm^3 de GNL em 2012 [20]. A central de GNL possui atualmente uma única linha, mas uma segunda linha deverá entrar em funcionamento em 2016 [38].

A economia da Guiné Equatorial é fortemente dependente da indústria de petróleo e gás, responsável por quase 95% do PIB e 99% das receitas de exportação em 2011 [2].

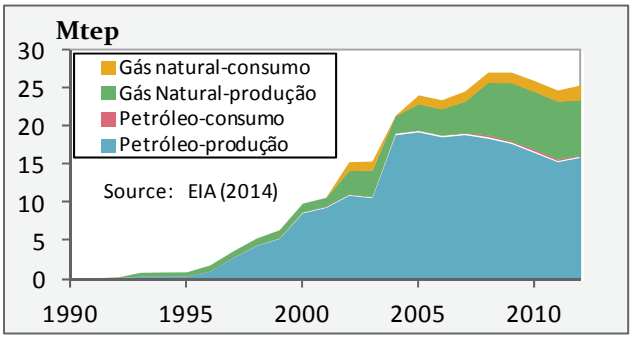


Fig. 16– Produção e consumo de combustíveis fósseis na Guiné Equatorial. Fonte: EIA [19].

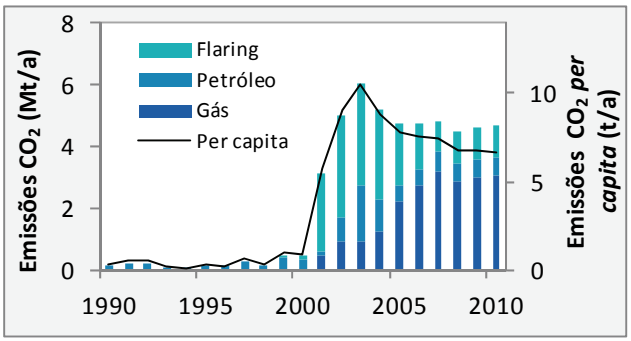


Fig. 15 – CO_2 emitido por combustíveis fósseis e *gas flaring*. Fonte: CDIAC [9].

Consumo de energia primária

O gás natural tornou-se a principal fonte de energia após o início da produção de hidrocarbonetos no ano 2000, e em 2008 foi responsável por 77% da energia primária. Os derivados de petróleo e a utilização tradicional de biomassa, que dominaram as fontes de energia nos anos 1990, representavam em 2008 frações menores, 20% e 3%, respetivamente [39]. Este cenário alterou-se em 2013, com a entrada em funcionamento da barragem Djibloho, no rio Wele, com capacidade 120 MW e que triplicou a capacidade existente [20].

Área: 28051 km²
População (2013): 757 mil
PNB (2013): USD 15 570 milhões

A taxa de eletrificação é agora uma das mais elevadas da África Central, abrangendo 66% da população [40]. Há ainda cerca de 40 MW de capacidade de energia elétrica em centrais a gás (a central de Punta Europa e a central AMPCO com uma capacidade conjunta de 34 MW) e em centrais a diesel. O potencial hidroelétrico é muito elevado, cerca de 2600 MW, e tem sido objeto de novos investimentos, incluindo o complexo hidroelétrico no rio Sendje, com uma capacidade de 200 MW, que deverá estar concluído em 2015.

Indústrias de elevada intensidade de carbono

Para além da indústria petrolífera, a economia da Guiné Equatorial é baseada na agricultura, silvicultura e pesca, pelo que não existem grandes fontes industriais de CO_2, com exceção da central de GNL e do *gas flaring*. Não existe uma refinaria de petróleo na Guiné Equatorial, mas o governo pretende implementar uma refinaria com capacidade para 20 kbbl/d em Mbini [20]. A empresa OPHIR ENERGY também anunciou a construção de uma nova central flutuante de GNL [41].

Não existem fábricas de cimento ativas no país, mas em 2013 foi adjudicada a construção de uma fábrica com capacidade para 3000 t/d, com início de operações previsto para 2016 [42].

A Guiné Equatorial tem uma capacidade de produção de biomassa estimada num mínimo de 400 toneladas/ha [43]. Contudo, apesar de ter um grande potencial de produção de bioenergia [44], não são conhecidos planos de investimento nessa área.

Emissões de CO_2

As emissões de CO_2 na Guiné Equatorial registaram um aumento considerável com o início da produção de hidrocarbonetos em 2000. Em 1999 as emissões de CO_2 foram de 0.36 Mt, mas em 2000 as emissões aumentaram quase 10 vezes, para 3.1 Mt, sobretudo

devido ao *gas flaring*, a queima do gás associado aos campos petrolíferos. As emissões atingiram um pico de 5.2 Mt em 2004, mas desde então estabilizaram em 4.6 - 4.7 Mt/a (Fig. 15). Embora o *gas flaring* ainda continue a ser uma fração importante das emissões (cerca de 20%), o consumo de gás natural nas centrais e a central GNL são atualmente responsáveis por 65% do total das emissões de CO_2 [10].

As emissões *per capita* mostram uma tendência para estabilizar em torno de 6.7 t/a, os valores *per capita* mais elevados entre da CPLP e os segundos mais elevados do continente, só ultrapassados pela África do Sul.

Oportunidades para armazenamento de CO_2

A geologia do território continental da Guiné Equatorial é composta quase totalmente por rochas metamórficas e cristalinas do pré-câmbrico [45], que afloram na zona central e leste da Guiné Equatorial, mas que não são adequadas para armazenamento de CO_2. Assim, as perspetivas de armazenamento de CO_2 no território continental são escassas, restringindo-se a uma estreita faixa de rochas sedimentares que ocorrem ao longo da orla costeira (Fig. 17).

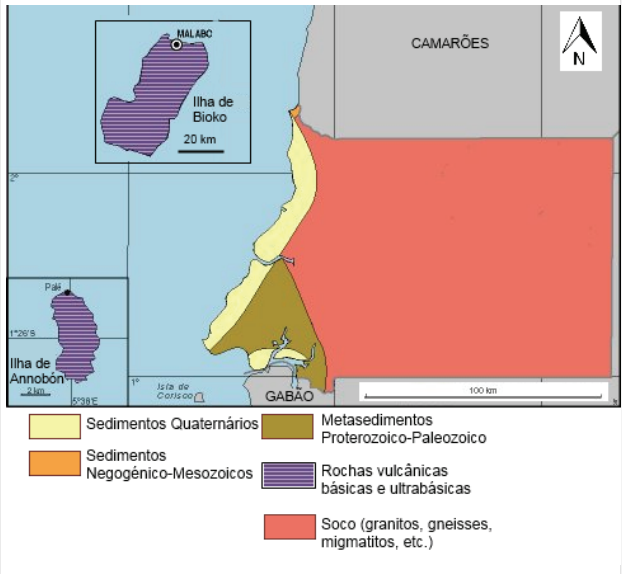


Fig. 17 – Geologia simplificada da Guiné Equatorial.

As ilhas vulcânicas de Pagalu e Bioko constituem parte da Linha Vulcânica dos Camarões e são compostas por rochas básicas e ultrabásicas. A I&D a nível académico e dois projetos-piloto, na Islândia e nos *Columbia River Basalt* (EUA), indicam que aquelas litologias podem ser favoráveis para armazenamento de CO_2, uma vez que promovem a carbonatação mineral do CO_2.

As oportunidades de armazenamento de CO_2 na Guiné Equatorial devem centrar-se na zona *offshore*, tanto ao largo do território continental, na bacia do Rio Muni (campos petrolíferos de Okume e Ceiba), como ao largo da ilha Bioko, (nos campos de hidrocarbonetos de Zafiro e Alba) [46]. Estes campos estão bem caracterizados e, à medida que vão ficando exauridos, podem oferecer boas oportunidades para armazenamento de CO_2.

A possibilidade de utilização de CO_2 em EOR também não deve ser descurada e seguramente as empresas de hidrocarbonetos nacionais, GEPETROL e SONAGAS, estão plenamente conscientes dos avanços no uso de CO_2 em EOR. Acresce que várias das empresas petrolíferas (ex. PETROBRAS e CHEVRON) que exploram concessões na Guiné Equatorial têm experiência em projetos de injeção de CO_2, não só para fins de EOR, mas também como parte da cadeia de CCS.

A pesquisa petrolífera nas zonas *offshore* pode ter conduzido à identificação de aquíferos salinos, nomeadamente a norte da ilha de Bioko, em que a plataforma geológica está bem estudada e pode proporcionar condições adequadas para projetos CCS. Bioko é a ilha onde se situam as principais fontes existentes e se preveem vários dos investimentos industriais mencionados. No território continental, importa considerar a possibilidade de armazenamento de CO_2 ligado à refinaria de Mbini, se o projeto avançar. A plataforma continental entre os campos petrolíferos de Ceiba e o continente pode apresentar boas oportunidades de armazenamento.

A Bio-CCS pode particularmente adequada na Guiné Equatorial, face ao elevado potencial em biomassa, à presumível boa capacidade de armazenamento e à existência de uma indústria petrolífera capaz de fornecer o enquadramento técnico e regulamentar necessário para o armazenamento de CO_2. A Bio-CCS também pode ser particularmente adequada no âmbito do MDL. Embora não sejam conhecidos planos para a utilização à escala industrial de biomassa para produção de bioenergia ou biocombustíveis, o potencial para a sua conjugação com CCS na Guiné Equatorial é elevado.

'Os investimentos previstos nos sectores energéticos e industriais, uma indústria petrolífera consolidada, o potencial em biomassa e as boas condições de armazenamento no offshore *são fatores favoráveis à CCS na Guiné Equatorial'*

Moçambique

Combustíveis fósseis endógenos

Moçambique é um dos países africanos com maiores reservas de gás natural e carvão. Em 2012 Moçambique produziu apenas 3.5 Mtep de gás natural a partir de dois campos *onshore* (Fig. 18), mas nos últimos anos foram descobertos campos de gás natural no *offshore*, com reservas estimadas em 2800 Gm^3, apenas superadas em África pela Nigéria e Argélia. A produção a partir desses campos deve iniciar-se em 2018 e está já em construção uma instalação de GNL em Cabo Delgado [20].

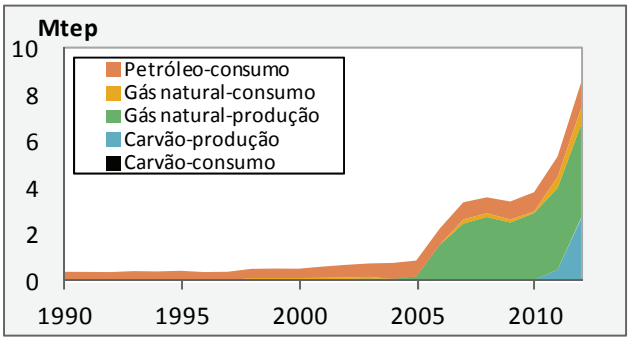


Fig. 18 – Produção e consumo de combustíveis fósseis em Moçambique. Fonte: EIA [19].

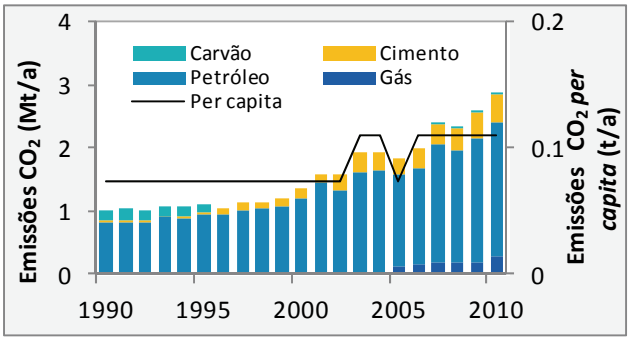


Fig. 19 – CO_2 emitido por combustíveis fósseis e produção de cimento. Fonte: CDIAC [9].

Tabela 4 - Fontes primárias de energia 2012

	Biomassa / Resíduos	Hídrica	Petróleo	Gás	Carvão
Energia (ktep)	8288	1284	783	73	10
Fração (%)	79.4	12.3	7.5	0.7	0.1

Fonte: IEA [20].

Moçambique é o segundo maior produtor de carvão em África, com produção de 4.9 Mt em 2012, e estima-se que a província de Tete ainda encerre reservas consideráveis. A adoção da tecnologia *Coal-to-líquids* (CTL) está a ser considerada no país, existindo planos para a construção de uma fábrica de USD 9.5 mil milhões para transformar os resíduos de carvão da bacia de Tete em combustíveis líquidos [47].

Área: 799380 km^2
População (2014): 23.97 milhões
PNB (2013): USD15563 milhões
(INE,2014)

Segundo o FMI [48], a produção de combustíveis fósseis pode aumentar o crescimento económico do país em 2% ao ano no período 2013-2023.

Consumo de energia primária

Em 2012 apenas 20% da população de Moçambique tinha acesso à eletricidade [2], e cerca de 79% do consumo de energia primária consistia no uso tradicional de biomassa e resíduos [21]. No mesmo ano, Moçambique consumiu 783 ktep de produtos petrolíferos, correspondentes a 7.5% das fontes de energia primária. O gás natural e o carvão constituíram fontes residuais (menos de 1%) (Tabela 4).

A geração de eletricidade em Moçambique atingiu 16.7 TWh em 2011, quase inteiramente de origem hídrica e apenas uma proporção diminuta de gás natural. A primeira central a carvão em Moçambique, associada às minas de carvão, deverá entrar em funcionamento em 2015, e outras duas centrais a carvão serão construídas pela indústria carbonífera, nomeadamente pelas empresas NCONDEZI ENERGY e VALE, elevando a capacidade total para 9 GW. No entanto, face à extensão das descobertas de gás natural, é esperado que a sua contribuição para a produção de eletricidade venha a aumentar. A central a gás natural de Ressano Garcia, com potência de 175 MW, iniciou a operação em 2014 e as centrais termoelétricas a gás de Maputo (100 MW), de Kuvaninga (40 MW) e de Temane (400 MW) deverão entrar em funcionamento nos próximos anos [20].

A previsão para o consumo de eletricidade por fontes domésticas (excluindo os consumidores industriais), num cenário de crescimento económico de 6% ao ano, apontam para que em 2030 haja uma procura de 1350 MW de potência e um consumo de, pelo menos, 83TWh.

Indústrias de elevada intensidade de carbono

O sector da construção em Moçambique apresenta uma das perspetivas de crescimento mais elevadas na África subsaariana. A empresa CIMENTOS DE MOÇAMBIQUE é a principal produtora nas fábricas de Matola, Dondo e Nacala. A capacidade de produção de cimento em Moçambique atingiu 2 Mt/a em 2011, mas o governo almejava duplicá-la em 2013 e divulgou planos para construir três novas fábricas com uma capacidade total de 750 kt/a na província de Maputo [25].

A primeira refinaria de petróleo de Moçambique está a ser construída em Nacala, com uma capacidade de 300 000 bbl/d, e estará operacional em 2018 [20]. No sector de mineração, a fundição de alumínio (uma fonte significativa de CO_2, com emissões diretas de 15 t CO_2 por tonelada de alumínio processado e exigindo vastas quantidades de energia) da MOZAL, encontra-se entre as maiores de África, com uma capacidade de produção de 250 kt/a.

O Governo aprovou 14 projetos para produção de biocombustíveis, mas a maioria ainda não se concretizou. A PETROBRAS planeava começar a produção de 20 Ml/a de etanol em 2014 [49] e a GALP anunciou planos para uma refinaria de biocombustíveis em Sofala [50].

Emissões de CO_2

As emissões de CO_2 provenientes do consumo de combustíveis fósseis e da produção de cimento são ainda reduzidas, mas aumentaram de 1.0 Mt/a em 1990 para 2.9 Mt/a em 2010 (Fig. 19), impulsionadas pelo aumento do consumo de petróleo e da produção de cimento. Desde 2005 as emissões de CO_2 ligadas ao uso do gás natural também têm vindo a aumentar. As emissões *per capita* são as mais baixas entre os países da CPLP, apenas 0.11 t/a em 2010 [10], mas o início da produção de gás natural e GNL, a persistência da extração de carvão, e os investimentos anunciados nos sectores energéticos e industriais, devem conduzir a um aumento sustentado das emissões de CO_2 *per capita* na próxima década.

Oportunidades para armazenamento de CO_2

A *Estratégia Nacional para a Adaptação e Mitigação das Alterações Climáticas 2013-2025* [51] reconhece a necessidade das tecnologias de *carvão limpo* para a redução das emissões em centrais a carvão e a possibilidade de implementação da CCS no país.

Uma vez que a produção de gás natural em grande escala deverá iniciar-se em 2018, o uso de campos de gás exauridos é improvável na próxima década, exceto nos campos *onshore* de Pande e Temane, ativos desde 2004, mas de pequena dimensão. O interesse pelo armazenamento de CO_2 em camadas de carvão tem vindo a diminuir a nível mundial, mas a província de Tete tem das maiores reservas de carvão do mundo e duas centrais a carvão estão previstas para a região. Assim, não será de colocar de parte a possibilidade de armazenar CO_2 em camadas de carvão não exploráveis, pois o ajuste fonte – sumidouro seria ideal.

'Moçambique é o país africano da CPLP com melhores condições para envolvimento em projetos CCS.'

No entanto, a opção mais interessante para o armazenamento de CO_2 em Moçambique são os aquíferos salinos profundos nas extensas bacias sedimentares que cobrem 38% do território *onshore* e a maior parte do sector *offshore* no Canal de Moçambique.

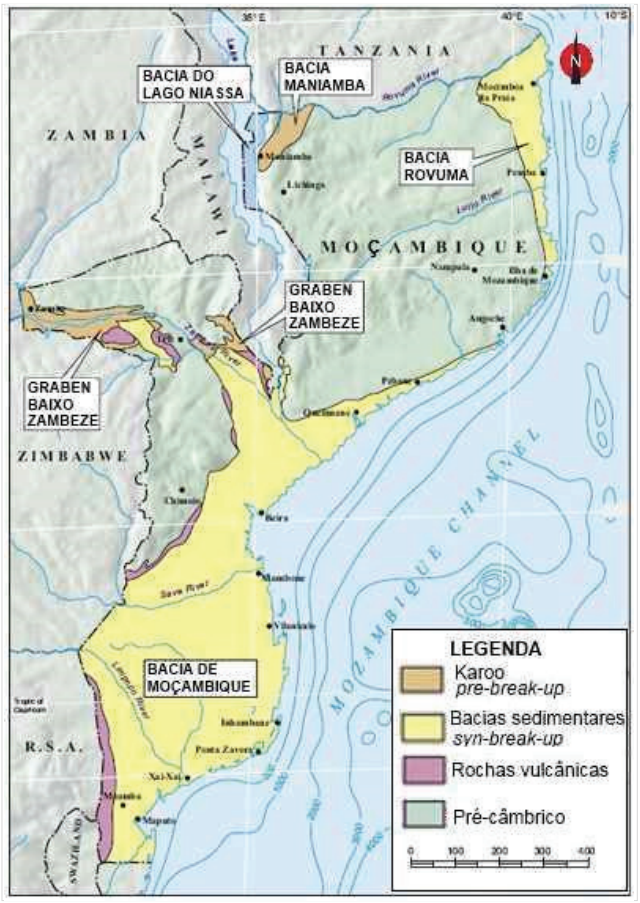


Fig. 20– Bacias sedimentares em Moçambique. Adaptado de ENH [56].

Existem seis bacias sedimentares em Moçambique (Fig. 20). As Bacias Interiores (bacia do Lago Niassa, bacia de Maniamba, graben do Médio Zambeze e graben do Baixo Zambeze) são relativamente pequenas e fazem parte do Supergrupo do Karoo [52]. A localização remota provavelmente descarta a utilização das bacias do Lago Niassa e Maniamba para o armazenamento de CO_2.

Os grabens do baixo e médio Zambeze estão ligados à ocorrência de carvão na província de Tete. A estrutura geológica é bastante complexa [53], mas, devido à proximidade com as centrais a carvão em construção ou planeadas, é importante avaliar o potencial destas bacias para o armazenamento de CO_2.

As bacias costeiras (bacia de Moçambique e bacia do Rovuma) são muito mais extensas, e com condições geológicas relativamente bem estudadas, uma vez que têm sido objeto de pesquisa de hidrocarbonetos, com grandes descobertas de gás no *offshore* da bacia do Rovuma. Existem avaliações preliminares da capacidade de armazenamento ar foram realizadas para ambas as bacias. Um relatório efetuado pela DNV estima a capacidade de armazenamento da bacia de Moçambique num valor mínimo de 2400 Mt de CO_2. M. Alberto num trabalho de licenciatura [54] estimou a capacidade de armazenamento na bacia do Rovuma entre 235 Mt a 470 Mt, com um bom ajuste entre fontes e locais de armazenamento, pois a capacidade de armazenamento foi identificada nas mesmas áreas em que está prevista a construção de instalações de processamento de gás natural e GNL, nos municípios de Palma e Pemba. Embora estas sejam estimativas preliminares, são uma indicação de que Moçambique pode ter excelentes condições geológicas para o armazenamento de CO_2 *onshore*, mais do que suficiente para as necessidades que possa ter no futuro.

Tendo em conta os investimentos anunciados nos sectores energéticos e industriais, bem como a importância dos recursos de carvão e de gás natural para a economia nacional, Moçambique tem boas motivações para o envolvimento em atividades CCS. Um incentivo adicional é a oportunidade de negócio resultante de armazenar o CO_2 proveniente de fontes em países vizinhos, como a África do Sul (o maior emissor de CO_2 em África), se os projetos transfronteiriços de CCS forem admissíveis nos termos da regulamentação internacional.

São Tomé e Príncipe

Combustíveis fósseis endógenos

São Tomé e Príncipe (STP) consiste em dois arquipélagos em torno das duas ilhas principais: a ilha de São Tomé e a ilha do Príncipe, distando cerca de 140 km entre si e localizadas no Golfo da Guiné, na África Ocidental. STP é o país de menor extensão territorial da CPLP e o segundo menor estado africano, depois das Seychelles.

Atualmente STP não produz combustíveis fósseis, mas de acordo com o Banco Africano de Desenvolvimento (BAfD), pode tornar-se um país produtor de petróleo, com expectativas para início de produção em 2016, numa designada *Joint Development Zone* (JDZ) com a Nigéria, no Golfo da Guiné. As estimativas iniciais indicam reservas da ordem de 500 milhões de barris de petróleo, permitindo a STP uma produção de 28 000 bbl/d durante vinte anos [55].

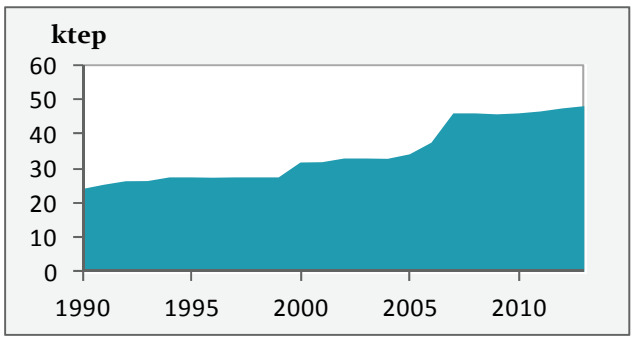


Fig. 22 – Consumo de produtos petrolíferos em São Tomé e Príncipe. Fonte: EIA [19].

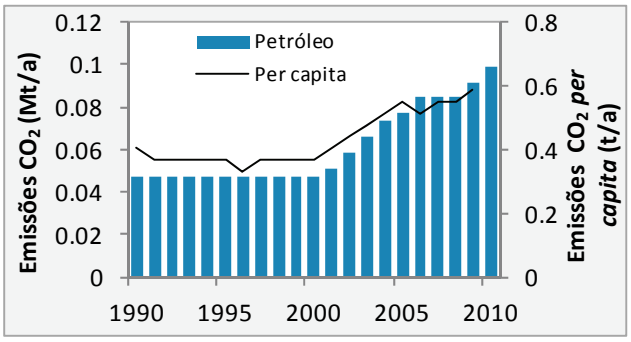


Fig. 21 – CO_2 emitido por combustíveis fósseis. Fonte: CDIAC [9].

Se a exploração de petróleo se tornar uma realidade nos próximos anos, espera-se que até 2020 o crescimento económico de STP seja impulsionado pelo sector petrolífero.

Consumo de energia primária

A população de STP é de apenas 193 mil habitantes e o consumo de energia primária é reduzido, assente no uso da biomassa, para cozinhar e para aquecimento [2], e no petróleo como fontes primária de energia. As importações de petróleo em 2013 atingiram 47 ktep [20] (Fig. 22).

Área: 1001 km²
População (2013):193 mil
PNB (2013): USD 311 milhões

A capacidade instalada de geração de eletricidade é de 28.5 MW, com centrais termoelétricas a diesel responsáveis por 26 MW e os restantes 2.5 MW de origem hidroelétrica. Cerca de 10 MW adicionais são gerados em centrais a diesel em redes isoladas e para consumo localizado. A cobertura da rede não é universal, mas atinge cerca de 60% da população.

Existe um potencial hidroelétrico considerável em STP. Além dos 2.5 MW já instalados, foi identificado um potencial adicional de 31.4 MW em 14 locais. O acréscimo de procura energética poderá requerer o aumento da capacidade instalada em 40 MW até 2019, exigindo a exploração da totalidade do recurso hidroelétrico [56]. Os recursos em energia solar também apresentam boas oportunidades, uma vez que a média de insolação diária em São Tomé e Príncipe é de 5.2 kWh/m², sem grande variação sazonal.

A economia de STP baseia-se essencialmente na agricultura. Não existem grandes fontes estacionárias de CO_2 de sectores industriais, como refinarias, fábricas de cimento ou siderurgia.

Emissões de CO_2

As emissões de CO_2 estão principalmente relacionadas com o consumo de derivados de petróleo, dada a ausência de outras grandes fontes estacionárias para além das centrais diesel. As emissões de CO_2 totais são diminutas - apenas 90 kt em 2012 (Fig. 21) – mas têm aumentado de forma consistente desde o ano 2000. Ainda assim, os valores *per capita* são muito reduzidos, inferiores a 0.6 t/a [10]. As expectativas são que as emissões de CO_2 continuem a acompanhar o crescimento económico, mas face à dimensão da população e aos custos de insularidade para o desenvolvimento de atividades industriais, é provável que as emissões *per capita* se mantenham muito reduzidas. Se a produção de petróleo se tornar uma realidade no futuro, a libertação ou queima do gás (*gas venting and flaring*) poderá aumentar significativamente as emissões de CO_2.

Perspetivas para atividades de CCS

As ilhas de STP são compostas por vulcões que se erguem do fundo do Oceano Atlântico, a mais de 3000 m abaixo do nível do mar. Os vulcões formaram-se ao longo da linha vulcânica dos Camarões. A maior parte das rochas que compõem a ilha de São Tomé são basaltos. A ilha do Príncipe também é de origem vulcânica, com litologias basálticas, fonolíticas e tefriticas. Segundo alguma I&D académica, estas litologias podem ser adequadas para o armazenamento de CO_2, pois a sua mineralogia é particularmente favorável para carbonatação mineral, com reação do CO_2/rocha a resultar na precipitação de minerais carbonatados, sequestrando o CO_2 de forma definitiva em fase sólida. Este conceito tem sido testado em projetos-piloto na Islândia e nos *Columbia River Basalts*, nos EUA.

A zona *offshore* de STP, para além dos centros vulcânicos, é marcada pela ocorrência de formações sedimentares, inclusive na JDZ, onde a produção de petróleo se pode desenvolver [57].

Atualmente, a economia e as emissões de CO_2 de STP não justificam o investimento em projetos CCS. Dado o baixo nível de emissões de CO_2 e a quase ausência de grandes fontes pontuais, que é provável que se

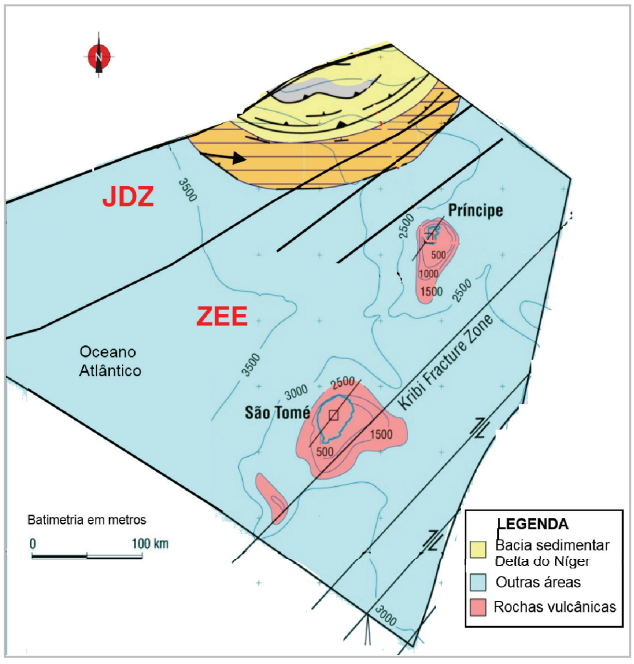


Fig. 23– Geologia simplificada de São Tomé e Príncipe, incluindo a Zona Económica Exclusiva (ZEE) e a *Joint Development Zone* (JDZ) com a Nigéria. Adaptado de ANP [61].

'A relevância da tecnologia CCS para São Tomé e Principe pode surgir com o início da produção petrolífera ou com questões sobre armazenamento transfronteiriço com a Nigéria.'

mantenha face aos custos de insularidade e à dimensão da população, a motivação para atividades CCS em STP só pode existir em conexão com o desenvolvimento da produção de petróleo no Golfo da Guiné, especificamente para utilização em EOR. No entanto, a ausência de fontes em STP obrigaria à aquisição do gás noutros países.

STP partilha uma fronteira marítima com a Nigéria, um dos maiores emissores de CO_2 na África. É concebível que questões sobre armazenamento transfronteiriço possam ser relevantes para STP se a Nigéria optar por armazenar CO_2 na Bacia do Delta do Níger, que se estende através da fonteira entre os dois países, ao longo da JDZ (Fig. 23), uma possibilidade que está a ser analisada pelo *Nigerian Petroleum Technology Development Fund*.

A Agência Nacional do Petróleo, ANP-STP, e a Autoridade Nacional Designada do MDL devem ser envolvidos em atividades de partilha de conhecimentos sobre CCS desenvolvidas no seio da CPLP, de modo a garantirem a capacidade para a discussão sobre o uso de CO_2 em EOR e sobre questões de armazenamento transfronteiriço.

Timor Leste

Combustíveis fósseis endógenos

Timor Leste tornou-se um estado soberano em 2002 e aderiu à CPLP no mesmo ano. Embora à época constasse entre os países mais pobres do mundo, Timor Leste tem registado desde então um crescimento económico anual médio de cerca de 9% [2]. Este crescimento não pode ser dissociado da produção de petróleo na zona *offshore*, no *Timor Gap*. Em 2012, Timor-Leste produziu 4.1 Mtep de petróleo (Fig. 25), mas as reservas provadas ascendem a 554 milhões de barris. A produção de gás natural ainda não se iniciou, mas as reservas são vastas, 201 Gm^3, e decorrem negociações para a definição dos locais de processamento [20].

A economia de Timor Leste é uma das mais dependentes de recursos naturais em todo o mundo, com cerca de 90% do orçamento nacional proveniente diretamente de receitas petrolíferas.

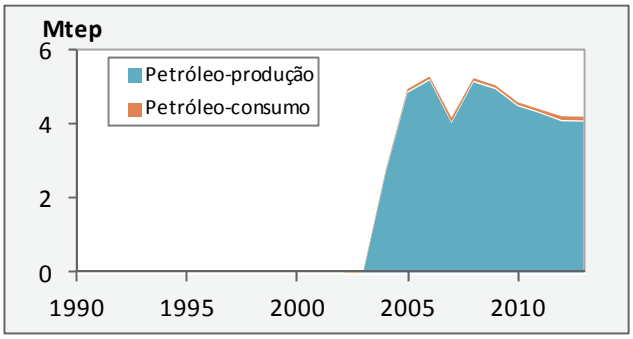


Fig. 25 – Produção e consumo de combustíveis fósseis em Timor Leste. Fonte: EIA [19].

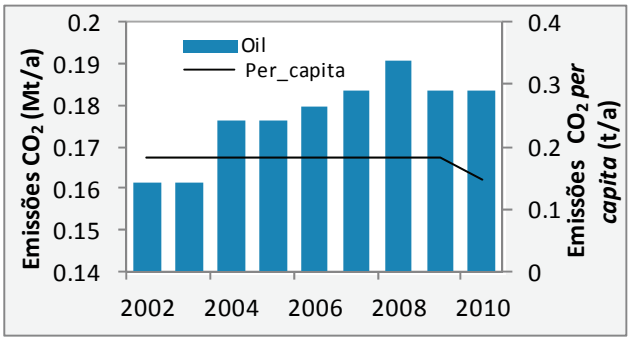


Fig. 24 – CO_2 emitido por combustíveis fósseis. Fonte: CDIAC [9].

Consumo de energia primária

Timor Leste é fortemente dependente das importações para geração de energia, com mais de 75% das importações de petróleo a serem utilizadas para a produção de eletricidade através de geradores a diesel [58]. Ainda assim, o uso tradicional de biomassa é uma parte significativa das fontes de energia primária no país, responsável por cerca de 90% das necessidades de energia para cozinhar e para aquecimento [20].

Área: 14954 km²
População (2013):1.178 milhões
PNB (2013): USD311 milhões

O sistema de geração de eletricidade é pequeno e fragmentado, baseado em pequenas e médias centrais a *diesel*. A capacidade instalada em Dili, a capital, é de 19 MW, e no resto do país é de cerca de 16 MW. Alguns grandes consumidores são responsáveis pela geração de 10 MW adicionais como a sua única fonte ou como *backup*. A rede elétrica está concentrada nas áreas urbanas, atingindo apenas cerca de 37% da população [58]. O governo pretende expandir a infraestrutura de produção de energia com a instalação de 210 MW adicionais. O país tem abundantes recursos de energia renovável, com potencial de 75 MW a 95 MW a partir de fontes hídricas e com boas perspetivas para fontes eólica e solar. O governo definiu como objetivo que, em 2020, 50% da energia tenha origem em fontes renováveis [59].

Indústrias de elevada intensidade de carbono

Para além das centrais *diesel* já mencionadas, não há, atualmente, grandes fontes emissoras estacionárias no país, como refinarias, fábricas de cimento ou siderurgia. No entanto, o governo tem promovido investimentos internos e estrangeiros em sectores industriais essenciais. A empresa petrolífera nacional, TIMOR GAP, anunciou planos para construir uma refinaria e uma petroquímica em Nova Betano para fornecer *diesel*, gasolina, jet-fuel e GPL.

O Governo de Timor Leste está empenhado em que o gás natural do campo *Great Sunrise* seja processado numa instalação de GNL a ser construída em Beaço na costa sul do país [59]. No entanto, ainda não existe acordo com a *joint venture* que possui os direitos de exploração do campo de gás.

As empresas australianas BGC e SWAN anunciaram a construção de uma fábrica de cimento com uma capacidade de produção de 1.5 Mt/a, em Baucau, a segunda maior cidade do país. A construção deverá iniciar-se em 2015 [60].

Emissões de CO_2

As emissões de CO_2 estão associadas com o consumo de produtos petrolíferos, nomeadamente para produção de energia, dada a ausência de outras fontes pontuais

importantes. As emissões de CO_2 são muito reduzidas, apenas 183 kt em 2010 [10], mas aumentaram consistentemente desde 2002, quando o país se tornou um estado soberano. Porém, as emissões *per capita* continuam em valores muito baixos - 0.15 t/a (Fig. 24). É de esperar que os investimentos planeados (refinaria, petroquímica, cimenteira e GNL) resultem num aumento significativo das emissões do país.

Oportunidades de armazenamento de CO_2

De acordo com o *Plano Estratégico de Desenvolvimento de Timor-Leste* [59], o aumento da capacidade de produção de eletricidade será conseguido sobretudo através de fontes renováveis, e não é provável que o sector electroprodutor aumente significativamente as suas emissões. Por conseguinte, a motivação para atividades CCS em Timor Leste está associada à produção de petróleo e gás natural e aos investimentos industriais planeados (refinaria, petroquímica, GNL).

Timor Leste situa-se num enquadramento tectónico muito complexo, no extremo leste e ao sul do *Arco Vulcânico de Banda*, a expressão à superfície da subducção litosférica da crusta continental australiana sob placa da Eurásia. Nos últimos 5 milhões de anos essa subducção estagnou na região de Timor, fazendo com que a ilha de Timor se elevasse [61].

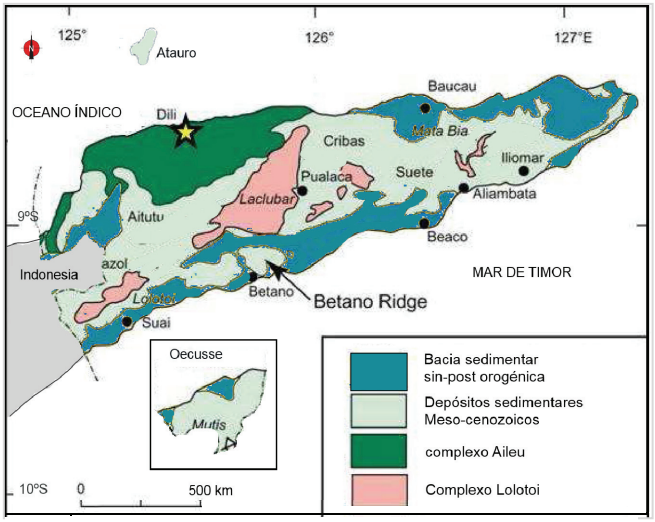


Fig. 27– Mapa geológico simplificado de Timor Leste. Adaptado de Thomson *et al.*[34].

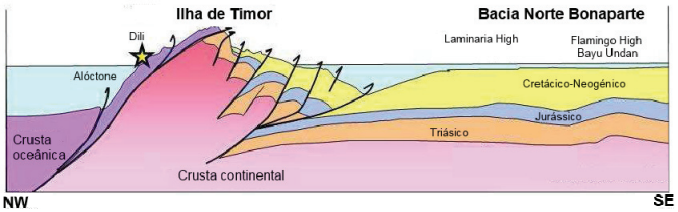


Fig. 26– Esquema do enquadramento tectónico de Timor Leste. Adaptado de Thomson *et al.*[34].

Este ambiente tectónico complexo reflete-se na geologia caótica da ilha, subdividida num grande número de unidades estruturais. As rochas do *bedrock* (Complexo Lolotoi) e as rochas metamórficas do Complexo Aileu resultantes da colisão continental (Fig. 27), não são adequadas para o armazenamento de CO_2. Rochas sedimentares mesozoicas depositaram-se em bacias suprajacentes àquelas formações e calcários recifais do Cenozoico a Recente continuam a formar-se (Fig. 26). No entanto, a natureza fragmentada e caótica das formações sedimentares deixa poucas perspetivas para o armazenamento de CO_2, como se infere pelas muitas ocorrências de petróleo e gás encontradas à superfície ao longo da costa sul da ilha [62]. As mesmas restrições tectónicas aplicam-se no sector *offshore*.

O armazenamento de CO_2 está a ser considerado em países com ambientes tectónicos complexos (ex. Japão, Indonésia), e o projeto-piloto de Nagaoka, no Japão, demonstrou que a ocorrência de sismos com magnitude M=6 com epicentro nas proximidades do local de injeção, não conduziu à degradação das condições de armazenamento. Ainda assim, uma abordagem prudente aconselha a que o armazenamento de CO_2 em Timor Leste seja apenas considerado nos campos de petróleo e gás natural, não só porque está demonstrada a capacidade de contenção dos reservatórios, mas também porque as pressões finais seriam muito menores do que as induzidas em aquíferos salinos profundos.

A possibilidade de utilizar CO_2 para EOR reveste-se de um interesse evidente e deve ser abordada numa perspetiva económica no futuro, pois a produção de petróleo é recente e os campos em exploração podem não ter ainda atingido um grau de maturidade adequado.

Embora se espere que num futuro próximo venham a ser construídas grandes fontes pontuais de CO_2 em Timor Leste, uma abordagem realista deve privilegiar a ligação de atividades CCS com a indústria petrolífera, através do uso de CO_2 em EOR, ou pela injeção de CO_2 em reservatórios de petróleo e gás exauridos nos sectores *offshore*.

'O enquadramento tectónico de Timor Leste aconselha ao armazenamento de CO_2 apenas em campos de hidrocarbonetos ou em EOR.'

3.2 Sectores com potencial para atividades em CCS

Esta secção procura identificar os sectores energéticos e industriais com melhores perspetivas para integração com projetos. Para além do sector de *produção de energia* e do uso de *CO_2 em EOR*, analisam-se ainda os cinco sectores industriais encarados como oportunidades percursoras pela IEAGHG/UNIDO [63]: *cimento; ferro e aço; refinação e petroquímica; Bio-CCS; fontes de elevada concentração* (processamento de gás natural, GNL, CTL). As possibilidades identificadas em sectores menos comuns são agrupadas em "*outras possibilidades*". A Tabela 5 sintetiza as perspetivas para projetos CCS por sector nos países da CPLP caracterizados na secção 3.1.

distribuição de energia. No entanto, tendo em conta os recursos renováveis disponíveis na maioria dos Estados-membros, nomeadamente as fontes hídricas e solares (e eólica, para Cabo Verde e Moçambique), a expansão da capacidade electroprodutora não se centrará em instalações termoelétricas com combustíveis fósseis.

A exceção parece ser Moçambique, que planeia aproveitar os recursos fósseis endógenos e construir centrais a carvão e a gás natural. As centrais a carvão são promovidas pelas empresas de extração de carvão, incluindo a brasileira VALE, e podem existir sinergias na CPLP para implementar projetos CCS nessas centrais. A implementação de projetos CCS em conexão com as novas centrais de gás natural planeadas para Angola e Guiné Equatorial também deve ser equacionada.

Tabela 5 – Perspetivas para atividades em CCS por sector nos países da CPLP em análise.

	Angola	Cabo Verde	Guiné-Bissau	Guiné Equatorial	Moçambique	São Tomé e Príncipe	Timor Leste
Produção de energia	Investimentos em hídrica. Duas novas centrais a gás.	Sem grandes fontes.	Sem grandes fontes. Grande potencial hídrico.	Investimentos em hídrica. Uma central a gás.	Duas novas centrais a carvão e várias centrais a gás.	Sem grandes fontes.	Sem grandes fontes. Elevado potencial de renováveis
Cimento	Várias fábricas de cimento ativas/planeadas	-	-	Uma fábrica de cimento planeada.	Várias fábricas de cimento ativas ou planeadas	-	Uma fábrica de cimento planeada.
Refinação petróleo	Uma refinaria ativa e 2ª planeada.	-	-	Investimento numa refinaria incerto.	1ª refinaria operacional em 2018	-	Uma refinaria e petroquímica planeada.
Bio-CCS	Bom potencial em biomassa. Um projeto de biocombustíveis	Sem potencial.	Bom potencial em biomassa. Sem projetos conhecidos.	Bom potencial em biomassa. Sem projetos conhecidos.	Bom potencial em biomassa. Vários projeto aprovados.	Bom potencial em biomassa. Sem projetos.	Bom potencial em biomassa. Sem projetos conhecidos.
EOR	Produção petróleo madura.	-	-	Produção petróleo madura.	-	Pode ser produtor de petróleo	Recente produtor de petróleo
Fontes de elevada concentração	Produtor de gás. Uma instalação GNL.	-	-	Produtor de gás. Uma instalação GNL e 2ª planeada.	Instalação GNL em construção. Um projeto CTL	-	Uma instalação GNL planeada
Outras possibilidades	-	CO_2 em EGS	-	-	Uma fundição de alumínio	-	-

Sem potencial. Sem fontes ativas ou planeadas.	Potencial marginal, podem existir fontes planeadas.	Potencial médio, mas não existem fontes ou apenas uma.	Bom potencial. Várias fontes ativas ou planeadas.

Sector de produção de energia

Uma característica comum à maioria dos países da CPLP é o elevado crescimento populacional, com uma taxa média de 2.1% ao ano nos países caracterizados na secção 3.1. Face a esta demografia, ao forte crescimento económico e à reduzida cobertura da rede elétrica, a expectativa é que nas próximas décadas se assista a uma forte aumento das necessidades de energia. Esta expetativa reflete-se nas estratégias nacionais de energia, com aqueles Estados-membros a planear expandir consideravelmente a produção e as redes de

Indústrias de elevada intensidade de carbono

A industrialização é ainda incipiente nos países analisados, com os sectores cimenteiros, de refinação e siderúrgicos pouco desenvolvidos ou inexistentes. No entanto, vários países da CPLP anunciaram planos de investimento nessas áreas.

Sector cimenteiro

O sector da construção está em franco crescimento em vários Estados-membros, e o sector cimenteiro acompanha esse crescimento, com novas fábricas previstas em quase todos os países, com exceção de

Cabo Verde e São Tomé e Príncipe. A indústria cimenteira está em expansão sobretudo em Moçambique e Angola. A INTERCEMENT, uma empresa de cimento sedeada no Brasil e com fábricas em Portugal, tem investimentos previstos noutros países da CPLP, tal como a SECIL, uma cimenteira portuguesa. Seria desejável estabelecer um *cluster* de cimenteiras ativas nos países da CPLP para discutir a viabilidade da CCS.

Refinação e petroquímica

Apesar de alguns países da CPLP serem produtores de petróleo e deste constituir uma das fontes principais de energia primária, apenas Angola tem uma refinaria ativa. No entanto, Angola, Guiné Equatorial, Moçambique e Timor Leste, anunciaram a construção, adjudicação ou projeto de novas refinarias. Face à dimensão da economia destes países, estas refinarias provavelmente serão as únicas a construir em qualquer um daqueles países. Timor Leste planeia ainda a construção de uma instalação petroquímica. Existe, porém, alguma incerteza nestes planos, por exemplo, na Guiné Equatorial e Timor Leste. Ainda assim, pelo menos em Angola e Moçambique seria interessante discutir a possibilidade de implementação de CCS nas novas refinarias.

Siderurgia

O sector de ferro e aço é irrelevante em qualquer um dos países avaliados nesta secção, e não são conhecidos planos para investimentos neste sector.

Bio-CCS

O potencial da biomassa é muito elevado em todos os membros da CPLP analisados na secção 3.1, com exceção de Cabo Verde, marcado por um clima subsaheliano. Vários Estados-membros (nomeadamente Angola, Moçambique, Guiné Equatorial) identificaram a bioenergia como uma área de investimento, com projetos normalmente liderados por consórcios envolvendo empresas locais/governamentais e empresas portuguesas (ex. GALP) e brasileiras (ex. PETROBRAS). Podem existir sinergias importantes no âmbito da CPLP nesta área, justificando-se esforços para identificar potenciais projetos de bio-CCS.

Utilização de CO_2 em EOR

Angola e Guiné Equatorial têm indústrias de produção de petróleo consolidadas, com campos explorados há vários anos e, nalguns casos, aproximando-se da maturidade ou do esgotamento. A produção de petróleo em Timor Leste é mais recente. Em geral, a produção de petróleo é efetuada por empresas petrolíferas internacionais, com supervisão ou em consórcio com as empresas petrolíferas locais. A utilização de CO_2 em EOR é uma possibilidade sobretudo para Angola e Guiné Equatorial que possuem fontes de elevada concentração de CO_2 (centrais GNL) próximas dos campos petrolíferos. Podem existir sinergias na CPLP, face à experiência da PETROBRAS e da PARTEX O&G em EOR.

Fontes de elevada concentração de CO_2

Processamento de Gás Natural / GNL

O processamento de gás natural é uma indústria presente em Angola e na Guiné Equatorial, e ambos os países possuem uma instalação de GNL. A construção de instalações de processamento de gás e de GNL está também projetada para Timor Leste e Moçambique. Estas indústrias são oportunidades percursoras para projetos CCS e a interação com os investimentos projetados deve ser incentivada na procura de sinergias para a captura de CO_2 naquelas fontes. As vastas reservas de gás natural em Moçambique e a sua localização, perto de locais com potencial capacidade de armazenamento de CO_2, são particularmente adequadas para a implementação de projetos de CCS. A proximidade das instalações de GNL de Angola e da Guiné Equatorial aos campos de petróleo e gás, e em especial, a nova instalação de GNL flutuante prevista para Guiné Equatorial, podem também revestir-se de interesse para integração com o armazenamento de CO_2.

Coal to Liquids (CTL)

A extração de carvão na província de Tete, Moçambique, originou uma elevada volume de resíduos. A empresa sul-africana CLEAN CARBON INDUSTRIES anunciou um estudo de pré-viabilidade e um acordo com o Ministério da Energia de Moçambique para uma instalação CTL de USD 9.5 mil milhões que visa transformar os resíduos de carvão na bacia de Tete em combustíveis líquidos. O estudo de pré-viabilidade contempla a captura do CO_2 e o seu transporte por gasoduto para zona costeira e armazenamento em formações geológicas. Embora a implementação do projeto CTL não pareça estar dependente da componente CCS, o facto de ter sido discutida com as autoridades locais deverá ter aumentado a visibilidade da tecnologia CCS no país.

Outras possibilidades

Fundição de alumínio

A fundição de alumínio constitui uma fonte de CO_2 relativamente importante em Moçambique. A fundição de alumínio produz diretamente cerca de 15 toneladas de CO_2 por tonelada de alumínio processada, bem com emissões indiretas originadas pela quantidade elevada de energia elétrica requerida (15 MWh por tonelada de

alumínio). A possibilidade de implementação de projetos de CCS em Moçambique em conexão com a fundição de alumínio justifica uma análise detalhada. A fundição a MOZAL, com uma produção de 250 000 toneladas de alumínio por ano, provavelmente usufrui de um bom ajuste fonte-sumidouro, dado estar localizada em Maputo, na bacia sedimentar de Moçambique

Utilização de CO_2 em Sistemas Geotérmicos Estimulados

A utilização de CO_2 como um fluido circulante em Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS) está ainda em fase de I&D, mas se se mostrar viável, poderia ser considerada para Cabo Verde. O processo visa utilizar CO_2 para recuperar calor do reservatório, mas uma fração do CO_2 injetado permanece sequestrado na rocha. As rochas vulcânicas, nomeadamente os basaltos, constituem a litologia dominante em Cabo Verde e o sequestro do CO_2 por carbonatação mineral poderia ser um benefício indireto da utilização de CO_2 em EGS.

Tendo em conta todas as oportunidades identificadas, os casos mais interessantes para a implementação de projetos CCS nos países da CPLP estão ligados à indústria de hidrocarbonetos, seja na utilização de CO_2 em EOR, que pode ser particularmente relevante para Angola, Equatorial Guiné e Timor Leste, ou em instalações de processamento de gás natural e de GNL, nos mesmos países, mas também, e particularmente, em Moçambique. Projetos nesses sectores beneficiariam da existência de indústrias petrolíferas consolidadas, do enquadramento legal e regulamentar existente para o setor dos hidrocarbonetos e do valor económico associado ao CO_2 utilizado em EOR.

Nas indústrias de produção industrial, os projetos CCS têm maior viabilidade no sector cimenteiro, uma vez que o crescimento económico se tem traduzido no aumento da procura de cimento. Dada a dimensão da população e importância do sector, Angola e Moçambique parecem ser os casos mais interessantes para a implementação de CCS no sector cimenteiro.

O potencial para projetos de bio-CCS também é elevado, embora a indústria de bioenergia ainda não esteja amadurecida em nenhum dos países da CPLP analisados. No entanto, dada a possibilidade da bio-CCS resultar em emissões negativas, se admitida nos inventários oficiais de emissões de gases com efeito de estufa, estas oportunidades devem ser exploradas especialmente na Guiné Equatorial, Angola, Guiné-Bissau e Moçambique.

Moçambique apresenta ainda outros casos interessantes para o desenvolvimento de projetos de CCS em ligação com indústria de extração de carvão e com a fundição de alumínio.

No polo oposto estão os países-arquipélago, Cabo Verde e S. Tomé e Príncipe, em que a tecnologia CCS parece não ter um papel relevante a desempenhar devido à dimensão e dispersão da economia. Exceções podem ser a utilização de CO_2 em EGS em Cabo Verde e a utilização de CO_2 para EOR se a produção de petróleo finalmente se desenvolver em São Tomé e Príncipe.

Tabela 6 – Perspetivas para oportunidades de armazenamento geológico de CO_2 nos países da CPLP em análise.

	Angola	Cabo Verde	Guiné-Bissau	Guiné Equatorial	Moçambique	São Tomé e Príncipe	Timor Leste
Campos de petróleo e gás esgotados	Produção de petróleo madura	-	-	Produção de petróleo e gás madura	Descobertas de gás. Produção ainda por iniciar.	Pode ser produtor de petróleo.	Produção de petróleo recente
Bacias sedimentares - *onshore*	Boas perspetivas na Bacia do Kwanza	-	Extensa bacia sedimentar	Pequena bacia *onshore*. Pouco explorada.	Boas perspetivas nas bacias do Rovuma e Moçambique.	-	Contexto tectónico desfavorável.
Bacias sedimentares - *offshore*	Várias bacias sedimentares, bem estudadas	Sem informação	Extensa bacia sedimentar. Pouco estudada.	Extensa bacia sedimentar. Bem estudada.	Boas perspetivas nas bacias do Rovuma e de Moçambique.	Bacias produtoras de petróleo.	Contexto tectónico desfavorável.
Bacias carboníferas	Sem significado	Sem significado	Sem significado	Sem significado	Grandes bacias carboníferas	Sem significado	Sem significado
Rochas máficas e ultramáficas	Sem grandes províncias de rochas máficas	Ilhas compostas por rochas vulcânicas.	Sem grandes províncias de rochas máficas	Sem grandes províncias de rochas máficas	Rochas ultramáficas em zonas próximas de futuras centrais a carvão.	Ilhas compostas por rochas vulcânicas.	Com pouca importância

Sem potencial.	Potencial marginal ou produção de imatura de hidrocarbonetos,	Bom ou muito bom potencial mas custos elevados.	Muito bom potencial

3.3 Síntese das oportunidades de armazenamento de CO_2

A secção 3.1 abordou as oportunidades de armazenamento CO_2 nos países da CPLP em análise e esta secção sintetiza essas oportunidades (Tabela 6). O armazenamento como parte do processo de EOR não está incluído, por ter sido abordado na secção anterior.

Os campos de petróleo e gás de maior maturidade existentes ou a desenvolver-se em Angola, Timor Leste e Guiné Equatorial, constituem as melhores opções de armazenamento de CO_2. A existência desses campos de hidrocarbonetos é também uma indicação de que podem ocorrer aquíferos salinos profundos nos mesmos países.

As melhores possibilidades de armazenamento em aquíferos salinos devem ocorrer em Moçambique e na Guiné-Bissau. Em Moçambique, estima-se que as bacias sedimentares de Rovuma e Moçambique apresentem capacidade de armazenamento superior a 2 Gt CO_2 no sector *onshore*, com ajustes fonte-sumidouro aceitáveis. Estas bacias são bem relativamente conhecidas devido à pesquisa petrolífera. Já o conhecimento sobre a geologia da Guiné-Bissau é muito escasso, mas a existência de uma bacia sedimentar espessa, cobrindo a maior parte do território *onshore* e *offshore*, fornece indicadores favoráveis para a ocorrência de aquíferos salinos profundos. Em Angola, a bacia do Kwanza também é muito interessante, até porque está a ser objeto de pesquisa petrolífera e não se encontra muito distante dos principais centros de desenvolvimento. Esta bacia tem uma área *onshore* considerável, estende-se para o *offshore,* e pode apresentar condições adequadas para o armazenamento de CO_2 em ambos os sectores.

A Guiné Equatorial tem fracas perspetivas de armazenamento *onshore*, pois as bacias existentes são muito estreitas. Timor Leste tem bacias sedimentares *onshore* e *offshore*, mas o ambiente tectónico é desfavorável e uma abordagem cautelosa deve favorecer o armazenamento em campos de petróleo e gás natural.

Cabo Verde e São Tomé e Príncipe são arquipélagos vulcânicos em que as perspetivas de armazenamento *onshore* só podem ser encontradas nos basaltos que compõem a maior parte do território dessas ilhas.

Moçambique é o único país com grandes bacias carboníferas em que é possível considerar o armazenamento de CO_2 em camadas de carvão.

Em súmula, Angola e a Guiné Equatorial apresentam as melhores condições para armazenamento de CO_2 em campos de petróleo e gás esgotados, mas as perspetivas para armazenamento em aquíferos salinos profundos em Moçambique, Angola e Guiné-Bissau são igualmente promissoras.

3.4 Motivações para implementação de atividades em CCS

Os Estados-membros da CPLP analisados não possuem, até ao momento, metas vinculativas de redução de emissões de CO_2. São países não industrializados, com um número reduzido de fontes estacionárias de CO_2, e com emissões *per capita* muito inferiores à média global, com exceção da Guiné Equatorial. Nestas circunstâncias, as motivações para a implementação de tecnologias dispendiosas, como a CCS, devem ser procuradas noutros fatores que não a necessidade de redução de emissões. A Tabela 7 lista algumas motivações possíveis para países da CPLP se envolverem em atividades sobre CCS.

Uma motivação óbvia é contribuir para a mitigação das alterações climáticas. Salienta-se que Angola, Timor Leste, Guiné-Bissau, Moçambique e São Tomé e Príncipe são países classificados como de *Elevada Vulnerabilidade* aos impactos das alterações climáticas. Por outro lado, a Guiné Equatorial tem emissões de CO_2 *per capita* consideráveis, apenas inferiores no continente Africano às da África do Sul, e a CCS pode ser encarada como uma oportunidade para reduzir essas emissões *per capita*.

Uma motivação mais importante pode ser a dependência da economia de Angola, Timor Leste e Guiné Equatorial (e brevemente de Moçambique) da produção de combustíveis fósseis. A implementação da CCS garantiria um contexto económico mais estável no caso de adoção de metas internacionais para a redução das emissões provenientes de combustíveis fósseis. Além disso, a CCS permitiria àqueles países dissociarem as emissões de CO_2 e o crescimento económico.

Nos países com uma indústria petrolífera consolidada (Angola, Timor Leste e Guiné Equatorial) podem advir proveitos económicos importantes da utilização de CO_2 em EOR, por incrementar o volume de petróleo recuperado e conferir um valor económico ao CO_2. A maturidade da indústria petrolífera aumenta a perceção das oportunidades de negócios existentes nas componentes de transporte e armazenamento de CO_2, e fornecem a base regulatória necessária.

Tabela 7– Motivações para a implementação de atividades em CCS nos países da CPLP em análise.

	Motivações
Angola	○ Economia altamente dependente da produção de petróleo. A tecnologia CCS permite dissociar o crescimento económico e as emissões de CO_2. ○ EOR pode constituir incentivo económico. ○ Créditos de MDL como Parte do Protocolo de Quioto. ○ Indústria petrolífera bem consolidada fornece a base para enquadramento regulatório. ○ Elevada vulnerabilidade ao impacto das alterações climáticas.
Cabo Verde	○ Potencial geotérmico poderia ser desenvolvido com recurso ao uso de CO_2 como fluido circulante.
Guiné-Bissau	○ Créditos de MDL como Parte do Protocolo de Quioto. ○ Elevada vulnerabilidade ao impacto das alterações climáticas.
Guiné Equatorial	○ Nível elevado de emissões *per capita*. ○ Economia altamente dependente da produção de petróleo. A tecnologia CCS permite dissociar o crescimento económico e as emissões de CO_2. ○ EOR pode constituir incentivo económico. ○ Créditos de MDL como Parte do Protocolo de Quioto. ○ Indústria petrolífera bem consolidada fornece a base para enquadramento regulatório.
Moçambique	○ A produção de gás natural será uma fonte importante de rendimento para o país durante próxima década. A exploração de carvão e a fundição de alumínio são também atividades importantes para a economia de Moçambique. A CCS permite dissociar o crescimento económico e as emissões de CO_2. ○ Créditos de MDL como Parte do Protocolo de Quioto. ○ A regulação da exploração de hidrocarbonetos e o plano de desenvolvimento do gás natural fornecem uma base para o enquadramento regulatório. ○ Modelo de negócio baseado no armazenamento de CO_2 da África do Sul, se o transporte e armazenamento transfronteiriço forem internacionalmente admissíveis e regulados. ○ Elevada vulnerabilidade ao impacto das alterações climáticas.
São Tomé e Príncipe	○ Créditos de MDL como Parte do Protocolo de Quioto. ○ Questões de armazenamento transfronteiriço com a Nigéria. ○ Elevada vulnerabilidade ao impacto das alterações climáticas.
Timor Leste	○ Economia altamente dependente da produção de petróleo. A tecnologia CCS permite dissociar o crescimento económico e as emissões de CO_2. ○ EOR pode constituir incentivo económico. ○ Créditos de MDL como Parte do Protocolo de Quioto. ○ Indústria petrolífera bem consolidada fornece a base para enquadramento regulatório. ○ Elevada vulnerabilidade ao impacto das alterações climáticas.

A inclusão de projetos CCS no portfólio de atividades admitidas no MDL pode constituir uma motivação, através da comercialização de Reduções Certificadas de Emissões (RCE) resultantes de projetos CCS. Porém, atualmente o valor das RCE é incipiente e o número de projetos no MDL (e consequente oferta de RCE) é muito grande.

No caso de Moçambique, uma motivação económica pode decorrer do armazenamento de CO_2 capturado em países vizinhos, concretamente na África do Sul (emissor de mais de 500 Mt em 2010). É provável que Moçambique tenha um potencial de armazenamento muito acima das suas necessidades e pode beneficiar economicamente do armazenamento do CO_2 da África do Sul. As regras atuais do MDL não permitem projetos com componente transfronteiriça (i.e. CO_2 capturado num país e transportado e armazenado noutro país), mas se esses critérios forem revistos – e há a expectativa de que isso suceda na 45ª sessão do *Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA)* do CQNUAC, em 2016 - poderá ser criada uma oportunidade económica para Moçambique.

O armazenamento transfronteiriço também pode ser relevante para São Tomé e Príncipe e Angola. São Tomé e Príncipe partilha uma bacia sedimentar *offshore* com a Nigéria, a bacia do Delta do Níger, e questões de armazenamento transfronteiriço podem colocar-se se a Nigéria optar por armazenar CO_2 naquela bacia. De modo similar, se Angola optar por armazenar CO_2 nos campos de petróleo do enclave de Cabinda, poderá necessitar de transportar CO_2 através de território da República Democrática do Congo.

3.5 Desafios para a implementação de atividades em CCS

Os desafios para implementar atividades em CCS nos países da CPLP, ou para desenvolver projetos de larga escala nos países (Portugal e Brasil) já envolvidos em I&D sobre CCS, são consideráveis e refletem muitos dos

Tabela 8 – Desafios à implementação de atividades CCS nos países da CPLP em análise.

Desafios técnicos e de conhecimento	Reduzido conhecimento sobre os detalhes da tecnologia entre os decisores e académicos, incluindo nos países em que já decorrem atividades CCS. A existência de um Centro de Excelência em CCS (CEPAC) permitiu enfrentar este desafio no Brasil.
	Incerteza sobre a capacidade de armazenamento em cada país e em vários casos (nos países exploração petrolífera significativa) escassez de informação sobre a geologia profunda.
	Ausência de capacidade técnica na cadeia de valor da CCS, uma característica provavelmente comum a todos os países da CPLP, mas facilmente ultrapassável nos países com uma indústria petrolífera consolidada (Angola, Brasil, Guiné Equatorial, Timor Leste) para as componentes de transporte e armazenamento da cadeia CCS.
	Ausência de transferência de conhecimentos sobre CCS de países desenvolvidos para os menos desenvolvidos.
	Necessidade de implementar projetos-piloto nos países que já avaliaram a sua capacidade de armazenamento (Brasil e Portugal), e que precisam de clarificar aspetos como a injetividade, sismicidade induzida, etc.
Desafios económicos	Não é claro qual o modelo de negócio para o CCS em países de baixo rendimento e as empresas ainda têm que assimilar o potencial em oportunidades de negócio associado à tecnologia CCS.
	Ausência de análises do valor económico da utilização do CO_2 em EOR nos países da CPLP produtores de petróleo.
	Abordagem "Esperar para ver", com os países da CPLP a aguardar pela implementação da CCS à escala internacional, apesar da especificidade local das opções de transporte e armazenamento.
	Futuro indefinido para o MDL e instabilidade do preço dos RCE e do CO_2.
	Ausência de informação sobre fontes de financiamento para atividades CCS, em particular em África.
Desafios de regulação e políticos	Ausência de estudos sobre o impacto da CCS nos planos estratégicos nacionais, pois na maior parte dos casos não existem metas de redução das emissões de CO_2. Todos os países da CPLP apresentaram ou estão a desenvolver estratégias de ação climáticas, mas a CCS apenas é mencionada nos planos de Portugal e de Moçambique.
	Conhecimento reduzido sobre os detalhes da tecnologia entre os decisores e potenciais reguladores.
	Ausência de uma avaliação sobre a inclusão da CCS na legislação nacional, um assunto resolvido em Portugal através da transposição da Diretiva Europeia sobre Armazenamento de CO_2.
	Indefinição da política internacional para mitigação das alterações climáticas.
	Regulação do transporte e armazenamento transfronteiriço de CO_2, o que pode constituir um obstáculo para modelos de negócio em Moçambique, Angola e São Tomé e Príncipe.

desafios que a tecnologia CCS enfrenta globalmente. A Tabela 8 enumera os desafios comuns aos países da CPLP.

O reduzido conhecimento sobre a CCS nos países da CPLP é um fator crítico e constitui o principal desafio técnico e de conhecimento. A reduzida informação sobre os detalhes da tecnologia impede os decisores de perceber o papel da CCS em cada país, e a comunidade científica de iniciar projetos de I&D (como a avaliação da capacidade de armazenamento) ou a organização de cursos de formação. Esta questão foi parcialmente resolvida no Brasil pela ação da PETROBRAS e do CEPAC.

Os programas de transferência de conhecimentos de projetos CCS a grande escala têm sido direcionados quase exclusivamente para a China, Índia e África do Sul, e não existem perspetivas de envolver os países menos desenvolvidos nesses programas.

O modelo de negócio para a CCS não é claro, sobretudo para países com o perfil ambiental e económico da maioria dos Estados-membros da CPLP, com exceção da utilização de CO_2 em EOR. O modelo de negócio óbvio para CCS países menos desenvolvidos, os créditos RCE do MDL, está estagnado e permanecerá assim até que o valor do CO_2 atinja valores mais atrativos.

As fontes de financiamento para projetos de CCS, mesmo para projetos de I&D, necessitam de ser clarificados, especialmente para os países africanos.

Quanto aos desafios políticos e de regulação, a questão mais premente é a ausência de estudos detalhados que esclareçam o papel que a CCS pode desempenhar em cada país a médio prazo (para além de 2030). Esta questão foi clarificada em Portugal pelo projeto *CCS-PT*, mas não foi ainda abordada nos outros países da CPLP.

4 Acções futuras – concretizar o potencial de cooperação

A cooperação entre os Estados-membros da CPLP decorre em múltiplas áreas da economia, tecnologia, saúde, ciência, e a vários níveis, desde acordos bilaterais até ao enquadramento mais amplo providenciado pelo secretariado da CPLP. A cooperação está enraizada das ligações culturais duradouras entre os Estados-membros e no elo unificador da língua comum.

4.1 Acções recomendadas

A tecnologia CCS não é considerada uma prioridade para os governos dos países da CPLP. No entanto, as motivações e desafios enfrentados pelos membros da CPLP têm muitas características comuns, e justificam uma cooperação sistemática em atividades relacionadas com a CCS, para a qual se apresentam algumas recomendações.

Sensibilização e partilha de conhecimento

O conhecimento e a informação sobre a CCS como tecnologia de mitigação de alterações climáticas são reduzidos nos países da CPLP, e a tecnologia tem que ser divulgada entre as autoridades e instituições dos países nos quais a CCS é potencialmente mais interessante. Esta sensibilização deve ser direcionada principalmente para os decisores, potenciais reguladores, ONGs ambientais, e gestores industriais e académicos, de modo a promover a discussão sobre o papel que a tecnologia pode desempenhar em cada país. A organização de atividades de sensibilização deve envolver todos os países da CPLP, mas focar-se inicialmente nos países já envolvidos em atividades em CCS - Brasil e Portugal - e naqueles com maior potencial para iniciar atividades em CCS: Moçambique, Angola e Guiné Equatorial.

A organização de um seminário anual, dirigido a decisores e gestores é uma forma adequada para promover a sensibilização e partilha de conhecimentos entre os países da CPLP. A organização do seminário deve alternar entre os diferentes países da CPLP, com aumento do conteúdo técnico entre seminários e culminando na realização de eventos de capacitação e cursos técnicos breves com o foco principal na aquisição de competências técnicas necessárias na tecnologia CCS.

Outras atividades de partilha de conhecimento válidas seriam a:

- Expansão do conteúdo sobre as oportunidades de CCS em cada um dos países da CPLP, apresentado na secção 3.1 desta publicação, e produção de folhetos com esse conteúdo;
- Tradução para Português de alguns dos muitos folhetos técnicos sobre CCS produzidos por diversas instituições (ex. GCCSI, CO2GEONET, CSLF, IEAGHG, etc.);
- Promoção de teses de mestrado e de doutoramento sobre temas da tecnologia CCS por estudantes das principais universidades de países da CPLP.

Avaliação da capacidade de armazenamento

A avaliação da capacidade de armazenamento é um passo essencial para lançar projetos CCS. Portugal e Brasil já efetuaram a inventariação da sua capacidade de armazenamento à escala regional e esse trabalho deve prosseguir para estudos mais detalhados.

Preconiza-se o lançamento de um estudo de avaliação da capacidade de armazenamento de CO_2 em formações geológicas e do ajuste com as fontes emissoras ou centros de desenvolvimento de cada país. O projeto deve visar principalmente os aquíferos salinos profundos e campos de petróleo e gás esgotados em Angola, Guiné-Bissau, Guiné Equatorial, Timor Leste e Moçambique. Em Moçambique deve ainda avaliar a capacidade de armazenamento em camadas de carvão não exploráveis.

O projeto deve envolver os Serviços Geológicos e/ou Reguladores do sector petrolífero em cada país, bem como geólogos das principais universidades para garantir a capacitação técnica. Brasil e Portugal participariam no projeto para garantir a transferência de conhecimentos dos estudos similares realizados nos seus territórios. A implementação desta atividade poderia iniciar-se no primeiro seminário de sensibilização, através da criação de uma equipa de trabalho que identifique a informação geológica existente, os recursos técnicos de cada país, as potenciais fontes de financiamento, e que elabore uma proposta de avaliação de capacidade de armazenamento.

Clarificar o papel da CCS em cada país

O projeto *CCS-PT* em Portugal permitiu avaliar o papel da tecnologia CCS no contexto económico, energético e de redução de emissões de Portugal. Estudos similares em cada país da CPLP, baseados na modelação do sistema energético, podem clarificar o papel da CCS e sua interação com outras opções de mitigação de alterações climáticas. O Brasil dispõe de informação suficiente para desenvolver um estudo desta natureza, mas os outros países da CPLP teriam ainda de identificar as capacidades de armazenamento e as fontes emissoras. Estes estudos poderiam culminar na identificação de oportunidades para projetos de CCS nos países da CPLP. A prioridade para os estudos obedeceria ao potencial para atividades CCS: Brasil, Moçambique, Angola e Guiné Equatorial.

Utilização de CO_2 em EOR

A utilização de CO_2 em EOR é bem conhecida entre a indústria e reguladores do sector petrolífero dos países produtores de petróleo da CPLP, nomeadamente Angola, Brasil, Guiné Equatorial e Timor Leste. A organização de um *workshop* específico sobre a utilização de CO_2 em EOR deve envolver as empresas e reguladores de gás e petróleo naqueles países. Um dos objetivos do *workshop* seria a constituição de uma equipa liderada pela indústria para avaliar a possibilidade de utilizar CO_2 em EOR nos países da CPLP.

A PETROBRAS e a PARTEX O&G têm uma vasta experiência em EOR, bem como várias das empresas que operam nos países produtores de petróleo e gás, pelo que as capacidades e recursos técnicos estariam garantidos desde o início.

CDM e projetos transfronteiriços

Duas questões relacionadas com a regulação e a política internacional sobre CCS deveriam ser discutidas e eventualmente concertadas entre as autoridades e os potenciais reguladores nos países da CPLP: i) a evolução da CCS no MDL, pois os créditos de carbono provenientes de projetos CCS no âmbito do MDL representam um possível modelo de negócio para a maioria dos países da CPLP; e ii) as regras sobre projetos CCS transfronteiriços, nomeadamente a possibilidade de um país armazenar as emissões de CO_2 de um país vizinho, um possível modelo de negócio para Moçambique, mas também relevante para São Tomé e Príncipe. Por outro lado, o transporte transfronteiriço pode ser importante para Angola.

4.2 Oportunidades de financiamento

Nenhum país da CPLP tem um programa específico para financiar atividades relacionadas com CCS, mas alguns mecanismos de cooperação e acordos de financiamento bilaterais incluam a mitigação das alterações climáticas entre as atividades financiadas. Existem também possibilidades de financiamento em programas internacionais e instituições com recursos especificamente direcionados para atividades de CCS.

Fundo Especial da CPLP

O Fundo Especial da CPLP é a principal fonte de financiamento de atividades de cooperação na CPLP. O financiamento é concedido para Projetos ou Ações Pontuais como seminários e conferências. A cooperação tem-se centrado nas áreas prioritárias da educação, saúde, cidadania e formação de recursos humanos, mas o ambiente e alterações climáticas também têm sido áreas financiadas. O financiamento do Fundo Especial requer o apoio de todos os pontos focais da CPLP e atividades devem envolver pelo menos três Estados-Membros. Atualmente, o Secretariado da CPLP pode participar como parceiro em projetos internacionais, permitindo um melhor enquadramento institucional.

Fundo Português de Carbono e programa FAST START

O Fundo Português de Carbono (FPC) foi implementado para facilitar o cumprimento das metas nacionais de emissões de CO_2 definidas no Protocolo de Quioto. O FPC prosseguiu após 2012 e centrou-se no financiamento de projetos e atividades em Portugal. No entanto, o fundo disponibilizou cerca de 36 M€ entre 2010-2012 para projetos de redução de emissões nos países da CPLP, através do programa FAST START. Não é clara a continuidade do programa FAST START para os próximos anos. Porém, nos objetivos do FPC permanece a cooperação com a CPLP, e em 2015 o FPC disponibilizou 500 000€ ao Secretariado da CPLP para atividades no domínio das alterações climáticas.

Fundo para Capacitação CCS do Banco Mundial

Em Dezembro de 2009, o Banco Mundial constituiu um *Trust Fund* para atividades em CCS, apoiado pelos governos da Noruega, Reino Unido e pelo *Global CCS Institute*. O fundo visa apoiar o financiamento de atividades de partilha de conhecimentos e a capacitação em CCS nos países parceiros do Banco Mundial. Este fundo já apoiou projetos no Botswana, África do Sul, China, Kosovo, Indonésia, Egipto, Jordânia, México e nos

países do Magrebe, incluindo *workshops* técnicos e a avaliação da capacidade de armazenamento. O fundo gere cerca de USD 52 milhões, permanece ativo, e entre as atividades previstas está o financiamento de projetos-piloto na África do Sul e México.

Programa de Desenvolvimento do *Global CCS Institute*

Nos objetivos de promoção da tecnologia do *Global CCS Institute* consta o financiamento de atividades de capacitação e de pequenos projetos em países em desenvolvimento. A maior parte dos recursos têm sido dedicados à cooperação com os grandes emissores de CO_2, como a China, Índia e África do Sul, mas o Brasil também beneficiou desses recursos para desenvolver o Atlas Brasileiro de Armazenamento de CO_2 e para a organização de cursos técnicos. *O Global CCS Institute* financiou também o *workshop* sobre cooperação em CCS entre os países da CPLP, que decorreu em Setembro de 2013, em Lisboa, e o projeto *CCS-PT* em Portugal.

Banco Africano de Desenvolvimento

O Banco Africano de Desenvolvimento (BAfD) não tem qualquer programa de financiamento específico para atividades em CCS, nem uma política oficial sobre a tecnologia. No entanto, no seu *Plano de Acão para as Alterações Climáticas 2011-2015* inclui o apoio a investimentos em "Desenvolvimento com Baixo Carbono". Embora a CCS não seja mencionada no plano, a possibilidade de apoio a atividades CCS não deve ser descartada, em especial se associada a projetos de bioenergia, uma tecnologia em que o BAfD vê um grande potencial em África. Dos nove Estados-membros da CPLP, seis são países africanos, pelo que é fundamental iniciar um diálogo sobre CCS com o BAfD.

Fundo CCS do Banco Asiático de Desenvolvimento

Timor Leste é o único país da CPLP com acesso ao Banco Asiático de Desenvolvimento (BAD) e, especificamente ao fundo CCS gerido por esta instituição. O fundo é financiado, na maior parte, pelos governos do Reino Unido e da Austrália e equivale a aproximadamente USD 74 milhões, direcionados sobretudo para projetos na Índia, China, Indonésia e Vietname. Porém, não é de descartar que atividades CCS, entre membros da CPLP, que incluam Timor Leste com um dos parceiros possam ser elegíveis para financiamento pelo BAD.

Carbon Sequestration Leadership Forum

O *Carbon Sequestration Leadership Forum* (CSLF) mantém um fundo de formação técnica de quadros à disposição dos países emergentes membros do CSLF, como é o caso do Brasil. Atividades de capacitação entre os países da CPLP em que o Brasil seja um parceiro podem ser elegíveis para financiamento pelo CSLF. Foi esse o caso do *workshop* sobre CCS entre os países da CPLP, que teve lugar em Setembro de 2013, em Lisboa, e os cursos técnicos sobre CCS organizados pelo CEPAC em 2012-2014 em Porto Alegre (Brasil).

Fundo Verde do Clima

O Fundo Verde do Clima, criado em 2010 pelo CQNUAC, incluiu explicitamente a tecnologia CCS entre a tipologia de projetos financiáveis. O nível de atividades em CCS que podem ser despoletadas em países da CPLP ainda está num estágio inicial. Porém, se os estudos preliminares (capacidade de armazenamento, papel da CCS em cada país…) permitirem a identificação de oportunidades de projetos-piloto ou à escala comercial, o Fundo Verde do Clima pode constituir uma fonte de financiamento relevante.

5 Conclusões

As estratégias ambientais e de mitigação das alterações climáticas dos Estados-membros da CPLP não incluem a tecnologia CCS com uma das prioridades. Não surpreende por isso, que o Brasil, responsável por cerca de 85% das emissões de CO_2 na CPLP, e Portugal sejam os únicos países da CPLP com atividades em CCS.

Uma análise das atuais emissões de CO_2 nos outros países da CPLP não permite encontrar muitas motivações para a implementação de uma tecnologia dispendiosa como é a CCS. Além disso, arquipélagos como Cabo Verde e São Tomé e Príncipe, com populações dispersas e custos de insularidade, descartam a CCS como uma tecnologia relevante para esses Estados-membros.

Contudo, a produção de combustíveis fósseis tem um papel crucial nas economias de Angola, Brasil, Timor Leste, Guiné Equatorial e Moçambique. A CCS garante um contexto económico estável caso sejam adotadas metas internacionais rigorosas e vinculativas de redução das emissões associadas aos combustíveis fósseis.

Acresce que quase todos os países da CPLP têm investimentos em curso, ou planeados, no sector industrial. É o caso da indústria cimenteira; dos setores de processamento de hidrocarbonetos (com investimentos previstos em refinarias, fábricas de processamento de gás e de GNL); e do setor electroprodutor, particularmente em Moçambique, com várias centrais a carvão ou gás natural planeadas. A CCS permite a dissociação entre as emissões de CO_2 e o crescimento económico dos países da CPLP.

Existem oportunidades de negócios na utilização do CO_2 em EOR, para os países da CPLP produtores de petróleo, ou para Moçambique, no armazenamento de CO_2 capturado na África do Sul. Finalmente, o potencial de bioenergia é elevado em vários países da CPLP e projetos bio-CCS podem constituir oportunidades promissoras.

Os desafios a superar para incluir a tecnologia CCS nas agendas dos países da CPLP são consideráveis. Os mais significativos são o reduzido conhecimento sobre a tecnologia, e a ausência de um modelo de negócio claro para a CCS em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos (excetuando a utilização de CO_2 em EOR), pois a inclusão da CCS no MDL não constituiu o incentivo previsto.

Brasil e Portugal já desenvolvem atividades significativas em CCS e os esforços para incluir esta tecnologia na agenda de outros países da CPLP devem concentrar-se em Angola, Guiné Equatorial, Moçambique e Timor Leste. As ações recomendadas incluem:

- Sensibilização dos decisores políticos, reguladores e demais partes interessadas, através da realização de em *workshops* e seminários sobre a tecnologia;
- Avaliação da capacidade de armazenamento CO_2 nos países da CPLP, com transferência de conhecimentos dos trabalhos já realizados no Brasil e Portugal;
- Clarificação do papel da CCS no contexto económico, energético e de redução de emissões de cada país, garantindo a transferência de conhecimentos do projeto *CCS-PT* em Portugal. Esta clarificação seria particularmente útil para o Brasil, mas também para Moçambique e Angola;
- Discussão das oportunidades resultantes da utilização de CO_2 em EOR nos países com indústrias petrolíferas consolidadas, como Angola e Guiné Equatorial, e garantindo a transferência de conhecimentos de empresas portuguesas e brasileiras;
- Desenvolvimento de abordagens comuns para questões de regulação, como o papel da CCS no MDL e o transporte e armazenamento transfronteiriço, uma questão importante para Moçambique, e possivelmente para Angola e São Tomé e Príncipe.

Quanto mais cedo a tecnologia CCS for incluída no leque de atividades de cooperação entre os estados-membros da CPLP, melhores serão as possibilidades de identificação das oportunidades decorrentes da implementação da CCS como uma tecnologia de mitigação das alterações climáticas.

Bibliografia

1. CPLP, *Estatutos da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa*. 2007: Lisboa. p. 12.
2. World Bank. *World Bank Databank*. 2014 December 2014]; Available from: http://databank.worldbank.org/data/home.aspx.
3. United Nations DESA, *List of Least Developed Countries*, in *United Nations*, U.N. ECOSOC, Editor. 2014. p. 1.
4. Joint Research Centre, *Emission database for global atmospheric research (EDGAR). CO2 time series 1990-2013 per region/country*. 2014, JRC/PBL Netherlands Environmental Assessment Agency: Netherlands.
5. DARA. *CVM - Climate Vulnerability Monitor*. 2014 December 2014]; Available from: http://daraint.org/climate-vulnerability-monitor/climate-vulnerability-monitor-2012/.
6. Maplecroft. *CCVI - Climate Change Vulnerability Index* 2013 December 2014]; Available from: http://maplecroft.com/portfolio/new-analysis/2013/10/30/31-global-economic-output-forecast-face-high-or-extreme-climate-change-risks-2025-maplecroft-risk-atlas/.
7. ND-GAIN. *ND-GAIN Notre Dame Global Adaptation Index*. 2014 December 2014]; Available from: http://index.gain.org/.
8. Center for Global Development. *Mapping the Impacts of Climate Change*. 2011 December 2014]; Available from: http://www.cgdev.org/page/mapping-impacts-climate-change.
9. Alliance Development Works, *World Risk Report 2013*. 2013, Alliance Development Works: Berlin, Germany. p. 73.
10. CDIAC. *Carbon Dioxide Information Analysis Center - Fossil-Fuel CO2 Emissions Global, Regional, and National Annual Time Series*. 2014 December 2014]; Available from: http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview_2010.html.
11. Iglesias, R. *O estado da P&D sobre CCS no Brasil.* in *CCS no Mecanismo e Desenvolvimento Limpo - oportunidades na CPLP*. 2013. Lisbon.
12. GCSSI, *Global status CCS 2014*. 2014: Melbourne, Australia. p. 192.
13. ZERO. *ZERO – the Zero Emissions Resource Organisation*. 2014 December 2014]; Available from: ZERO – the Zero Emissions Resource Organisation.
14. Seabra, P.N. and W.M. Grava. *Brazil - CCS technologies and projects for emerging economies.* in *CSLF Technical Group Meeting*. 2014. Seoul, Korea.
15. Ketzer, J.M., et al., *Water-rock-CO2 interactions in saline aquifers aimed for carbon dioxide storage: Experimental and numerical modeling studies of the Rio Bonito Formation (Permian), southern Brazil.* Applied Geochemistry, 2009. **24**(5): p. 760-767.
16. Romeiro, V., *CCS provides low-emissions extraction for Brazil's pre-salt layer oilfields*, in *GCCSI Insights*. 2014: Melbourne, Australia.
17. Ketzer, J.M., et al., *Brazilian atlas of CO2 capture and geological storage*, ed. EDIPUCRS. 2014, Porto Alegre, Brazil. 66.
18. Mano, A. *Current CO2 capture projects at EDP*. in *CCS in portugal and Norway: status and future prospects.* 2012. Lisbon.
19. UNFCCC, *Modalities and procedures for carbon dioxide capture and storage in geological formations as clean development mechanism project activities.* 2011: Durban. p. 20.
20. Energy Information Administration. *International Energy Statistics*. 2014 December 2014]; Available from: http://www.eia.gov/countries/.
21. International Energy Agency. *International Energy Agency Statistics*. 2014 December 2014]; Available from: http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/.
22. Silva, L.M. *O mercado de electricidade em Angola - situação actual e evolução.* in *Terceira conferência anual da RELOP*. 2010. Rio de Janeiro, Brasil.
23. Brito, E. *Programa de Transformação do Sector Eléctrico*. in *Quinta Conferência da RELOP*. 2013. Luanda. Angola.
24. Barros, M. *A Regulação no Sector dos Petróleos,*. in *Quinta Conferência da RELOP*. 2013. Luanda. Angola.
25. CEMNET. *The global database.* . 2014 December 2014]; Available from: http://www.cemnet.com.
26. African Development Bank, *Angola - Private Sector Country Profile*. 2012. p. 103.
27. Sonangol. *Website SONANGOL, Exploração e Produçao*. 2014 December 2014]; Available from: http://www.sonangol.co.ao/.
28. Évora, R. *A Qualidade da Regulação e Serviços no Sector Energético Cabo-verdiano*. in *VI Conferência da RELOP*. 2013. Luanda, Angola.
29. MECC, *Politica Energética de Cabo Verde*. 2008, Ministério da Economia, Crescimento e Competitividade: Praia, Cabo Verde. p. 24.
30. Gesto Energy, *Plano energético renovável, Cabo Verde*. 2011: Algés, Portugal. p. 142.
31. Pruess, K., *On production behavior of enhanced geothermal systems with CO2 as working fluid.* Energy Conversion and Management, 2008. **49**(6): p. 1446-1454.
32. REEGLE. *Energy Profile Guinea-Bissau*. 2014 December 2014]; Available from: http://www.reegle.info/countries/guinea-bissau-energy-profile/GW.
33. International Renewable Energy Agency, *Renewable Energy Country Profile: Guinea-Bissau.* 2011, IRENA. p. 2.
34. AfDB, et al., *African Economic Outlook 2011 – Guinea Bissau*. 2011. p. 17.
35. Gazeta de Notícias, *Fábrica de cimento de bissau produzirá 500 mil toneladas de cimento/ano.*, in *Gazeta de Notícias*. 2014: Bissau.
36. Alves, P.H., *Geologia da Guiné-Bissau.*, in *X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*. 2010: Porto, Portugal. p. 3-10.
37. Alves, P.H., B.M. Catelimbo, and V. Figueiredo, *Carta Geológica da Guiné-Bissau.*, in *Colóquio Internacional Ciência nos Trópicos : olhares sobre o passado, perspectivas de futuro*. 2012: Lisboa. Portugal.
38. AfDB, OCDE, and UNDP, *African Economic Outlook 2014 – Equatorial guinea*. 2011. p. 12.
39. International Renewable Energy Agency, *Renewable Energy Country Profile: Equatorial Guinea.* 2010, IRENA. p. 2.
40. Agency;, I.E., *Africa Energy Outlook*, in *World Energy Outlook*. 2014, IEA: Paris, France. p. 242.
41. Offshore Energy Today. *Ophir Energy to make Block R FID in 2015. FLNG deal blooming.* 2014 March 20, 2014 December 2014]; Available from: http://www.offshoreenergytoday.com/ophir-energy-to-make-block-r-fid-in-2015-flng-deal-looming/.
42. FLSmidth. *FLSmidth receives order for cement plant in Equatorial Guinea.* 2013 December 2014]; Available from: http://www.flsmidth.com/News+and+Press/Company+Announcements?feeditem=1701610.
43. REEGLE. *Energy Profile Equatorial Guinea*. 2014 December 2014]; Available from:

http://www.reegle.info/countries/equatorial-guinea-energy-profile/GQ.
44. International Renewable Energy Agency, *Estimating the Renewable Energy Potential in Africa - A GIS-based approach.* 2014, IRENA. p. 73.
45. Brownfield, M.E. and R.R. Charpentier, *Geology and Total Petroleum Systems of the West-Central Coastal Province (7203), West Africa.* 2006, U.S. Geological Survey: Reston, Virginia, USA.
46. Bruso, J.M., S.L. Getz, and R.L. Wallace, *Gulf of Guinea geology.* 2004. **Week of Feb 16**: p. 8.
47. Clean Carbon Industries, *Preliminary information memorandum; a 65 000 bbl/d coal to liquids project in tete mozambique producing spak (synthetic pariffinic aromatic kerosene) for export and diesel for local markets.* 2013. p. 24.
48. International Monetary Fund, *Republic of Mozambique, IMF Country Report No. 13/200.* 2013: Washington, D.C., USA. p. 128.
49. Macauhub. *Petrobras vai iniciar produção de etanol em Moçambique em 2014*. 2012 December 2014]; Available from: http://www.macauhub.com.mo/pt/2012/11/21/petrobras-vai-iniciar-producao-de-etanol-em-mocambique-em-2014/.
50. Diário de Notícias. *Biocombustíveis. Galp quer refinaria em Moçambique*. 2009 December 2014]; Available from: http://www.dn.pt/bolsa/interior.aspx?content_id=1303048.
51. Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental, *Estrategia Nacional de Adaptacao e Mitigacao das Mudancas Climaticas versao final.* 2013: Maputo.Moçambique. p. 71.
52. Empresa Nacional de Hidrocarbonetos S.A. *Website ENH - pesquisa de hidrocarbonetos.* 2014 December 2014]; Available from: http://www.enh.co.mz/Pesquisa-de-Hidrocarbonetos.
53. Vasconcelos, L. *Coal in Mozambique*. in *3rd Symposyum on Gondwana coals.* 2099. Porto Alegre, Brazil.
54. Carneiro, J. and M. Alberto, *Preliminary assessment of CO2 storage potential in the Rovuma sedimentary basin, Mozambique.*, in *GHGT-12*. 2014: Austin, Texas, USA. p. 12.
55. African Development Bank, *São Tomé and Principe - Maximizing oil wealth for equitable growth and sustainable socio-economic evelopment.* 2012, African Development Bank. p. 28.
56. UNEP, *Final country profile São Tomé and Príncipe*. 2013, Unep Risø Centre: Roskilde, Denmark. p. 13.
57. ANP-STP, *1st Licensing Round - Presentation*. 2010: Houston, Texas, USA.
58. REEGLE. *Energy Profile Timor Leste*. 2014 December 2014]; Available from: http://www.reegle.info/policy-and-regulatory-overviews/tl.
59. Governo da República de Timor Leste, *Plano Estrategico de Desenvolvimento 2011-2030.* 2011: Dili, Timor Leste. p. 279.
60. Macauhub. *Australian companies plan to build cement factory in Timor Leste*. Macauhub 2014 December 2014]; Available from: http://www.macauhub.com.mo/en/2014/03/11/australian-companies-plan-to-build-cement-factory-in-timor-leste/.
61. Thompson, S.J., *Geology and soils in Timor-Leste*. 2011, Seeds of Life: Dili,East Timor. p. 39.
62. Baillie, P., G. Duval, and C. Milne, *Geological Development of the Western End of the Timor Trough.*, in *Seapex Conference April 2013.* 2013: Singapore.
63. IEA and UNIDO, *Technology Roadmap. Carbon Capture and Storage in Industrial Applications*. 2011. p. 52.

CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE CO_2 NA COMUNIDADE DE PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA

OPORTUNIDADES E DESAFIOS

UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

BELLONA

REN Redes Energéticas Nacionais

Maio | 2015