

6. Emissão e Remoção de GEE Associados às Alterações de Uso e Ocupação do Solo

Joana Melo; Maria José Vasconcelos; Maria José Vale; Rui Reis

6.1. Introdução

De acordo com os Artigos 4.º e 12.º da Convenção-Quadro das Nações Unidas relativa às Alterações Climáticas²⁵ (UNFCCC, adotada em Nova Iorque a 9 de Maio de 1992), todas as Partes devem desenvolver, atualizar, publicar e disponibilizar para a Conferência das Partes da Convenção (COP), relatórios de inventários nacionais (NIR) de emissões antropogénicas por fontes e remoções por sumidouros de todos os gases com efeito de estufa (GEE) não controlados pelo Protocolo de Montreal²⁶, na medida das suas possibilidades, e usando metodologias comparáveis.

Estas metodologias deverão ser promovidas pelo Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC) e acordadas pela COP.

Apesar dos principais GEE (e.g. CO₂, CH₄, N₂O) ocorrerem naturalmente na atmosfera, as atividades humanas têm vindo a contribuir significativamente para o aumento da sua concentração atmosférica desde a era pré-industrial. Desta forma, cada país deve reportar as emissões e remoções antropogénicas de GEE em seis sectores: 1. Energia, 2. Processos Industriais, 3. Uso de solventes e outros produtos, 4. Agricultura, 5. Alteração do Uso do Solo e Florestas (LULUCF), e 6. Tratamento de Resíduos.

Apesar das emissões de GEE serem comumente associadas à queima de combustíveis fósseis, a alteração do uso do solo representa um contributo fundamental nesta arquitetura, uma vez que este é o único sector que no seu todo pode representar um sumidouro de GEE da atmosfera. Adicionalmente, entre todos os sectores, este é aquele sobre o qual maior incerteza existe relativamente à influência antropogénica no aumento da concentração de GHG na atmosfera.

A avaliação das alterações do uso e coberto do solo levada a cabo no Projeto LANDYNN responde na íntegra aos esforços de Portugal, enquanto Parte constante do Anexo I do Protocolo de Quioto, e da comunidade científica em geral, no sentido de contribuir para a quantificação das alterações do uso e coberto do solo. Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação de uma abordagem metodológica simples e direta, proposta pelo IPCC, para a quantificação das emissões e remoções de GEE associados às conversões de uso do solo quantificadas e reportadas no projeto LANDYNN.

Este exercício preliminar foi desenvolvido no sentido de explorar os dados produzidos na tarefa 2 do projeto, propondo um primeiro exercício de contabilização de emissão e remoção de GEE associados ao Sector LULUCF entre 1980 e 2010. As matrizes de

²⁵ Artigo 4 disponível em http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1362.php;
Artigo 12 disponível em https://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1379.php.

²⁶ Protocolo de Montreal sobre as Substâncias que Empobrecem a Camada de Ozono foi adotado em Montreal a 16 de Setembro de 1987. Neste protocolo as Partes reconhecem a necessidade de limitar a produção e o consumo de todas as substâncias que possam contribuir para o empobrecimento da camada de ozono (por exemplo CFC, HSF, etc.).

transição entre o período de referência, utilizando metodologias consistentes ao longo do tempo, asseguram a consistência da série temporal desta análise.

Este estudo consubstanciou-se em:

- 1) compilação e ajuste dos dados cartográficos produzidos na tarefa 2 de acordo com as classes de uso do solo e categorias de alteração do uso do solo recomendadas pelo IPCC (*Activity Data*);
- 2) revisão de literatura e consulta de bases de dados nacionais e internacionais para seleção dos fatores de emissão mais adequados às categorias de alteração do uso do solo em análise;
- 3) estimativa das emissões e remoções de GEE associados às alterações de uso e ocupação do solo em Portugal Continental no período de referência 1980-2010 por análise dos subperíodos 1980-1995 e 1995-2010 e;
- 4) análise de incerteza mediante a disponibilidade de informação dos dados obtidos no ponto 2, com cálculo de medidas de erro da estimativa de emissões de GHG.

6.2. Metodologia

Este estudo segue a orientação metodológica descrita no Guia de Boas Práticas do IPCC para o Sector LULUCF (IPCC, 2003), sendo também consistente com a abordagem descrita nas diretrizes de 1996 (IPCC, 1997). Todos os pressupostos metodológicos identificados nestas diretrizes foram assumidos, nomeadamente o pressuposto de que o impacto da alteração do uso do solo nos reservatórios *folhada* e *matéria orgânica do solo* ocorre por um período de 20 anos até que um novo equilíbrio seja atingido.

O método da diferença de stocks foi utilizado para estimar as emissões e remoções de CO₂ do sector LULUCF. Com este método simples e prático, as matrizes de transição do uso do solo produzidas neste projeto são utilizadas em conjunto com os fatores de emissão estimados através dos valores de biomassa recolhidos na literatura.

A equação 1 ilustra genericamente a forma como a alteração do carbono armazenado ou emitido é estimado, sendo a alteração anual da biomassa num dado reservatório dada pela diferença entre a biomassa presente numa dada área entre o período t2 e t1, dividido pelo número de anos em que essa transição é estimada (ou seja, t2 menos t1).

$$\Delta C_{i,j} = \frac{(C_{i,j,t_2} - C_{i,j,t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Em que:

C_{i,j,t_1} = carbono armazenado no reservatório j no período t_1 ; por categoria i reservatório de carbono j , em toneladas de C ano⁻¹

C_{i,j,t_2} = carbono armazenado no reservatório j no período t_2 ; por categoria i reservatório de carbono j , em toneladas de C ano⁻¹

O mesmo método é utilizado para estimar as alterações no carbono armazenado em todos os reservatórios (isto é, biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, folhada e solo). As emissões e remoções anuais de GEE em cada categoria são dadas pela Equação 2 (IPCC, 2003).

$$\Delta C_i = (\Delta C_{i_B} + \Delta C_{i_{DOM}} + \Delta C_{i_{Soils}}) \quad [\text{Eq. 2}]$$

Em que:

ΔC_i = alteração anual no carbono armazenado na categoria i , toneladas C ano⁻¹;

ΔC_{i_B} = alteração anual no carbono armazenado nos reservatórios biomassa acima e abaixo do solo na categoria i , toneladas C ano⁻¹;

$\Delta C_{i_{DOM}}$ = alteração anual no carbono armazenado no reservatório matéria orgânica morta (inclui folhada e madeira morta) na categoria i , toneladas C ano⁻¹; e

$\Delta C_{i_{Soils}}$ = alteração anual no carbono armazenado no reservatório matéria orgânica no solo na categoria i , toneladas C ano⁻¹.

É importante referir que com este método de estimar as diferenças de carbono armazenado em dois períodos no tempo, as emissões associadas, por exemplo, à ocorrência de incêndios e à exploração de madeira, são contabilizados indiretamente através das alterações observadas em cada período na categoria apropriada.

Por oposição, caso o método IPCC de *ganhos e perdas* fosse utilizado, alterações e ajustes específicos seriam feitos com base em estatísticas anuais de perturbações (nomeadamente estatísticas de ocorrência de incêndio) e incrementos de biomassa nas classes de uso do solo de forma a determinar e ajustar os fatores de emissão associados a cada transição. Desta forma, é importante notar que, caso exista uma grande variabilidade inter-anual no uso do solo e emissões/remoções associadas, o método aplicado nesta análise preliminar, deverá ser associado a informação complementar relevante por forma a captar essa variabilidade.

De forma a possibilitar a comparação com os fluxos de GEE provenientes dos outros sectores, as unidades de reporte deverão ser Gg de CO₂ equivalente. Os resultados desta análise preliminar são reportados nestas unidades. Para converter toneladas de carbono para Gg CO₂, basta multiplicar o valor obtido em carbono por 44/12 (ou 3,67) e 10⁻³. Para converter matéria seca em carbono, utiliza-se o fator de conversão padrão 0,47 (exceto no caso da folhada, onde o valor padrão é 0,37) (IPCC, 2006).

De forma semelhante, ao compilar as estimativas de emissão e remoção do sector LULUCF com os restantes elementos do inventário de GEE, é necessário garantir a consistência dos sinais positivo (+) e negativo (-). Desta forma, nos resultados finais, a emissão de GEE (equivalente a decréscimo do carbono armazenado) é apresentada com sinal positivo (+) e a remoção de GEE (equivalente a um aumento no carbono armazenado) com sinal negativo (-). No entanto, nas estimativas iniciais de aumento e decréscimo do carbono armazenado os valores são respetivamente positivos (+) e negativos (-), só sendo convertidos nas tabelas finais para manter a consistência com os restantes sectores do reporte.

6.3. Dinâmica de LULC

Esta secção apresenta a compilação e ajuste dos dados cartográficos produzidos na tarefa 2 do Projeto LANDYN, de acordo com as classes de uso do solo e categorias de alteração do uso do solo recomendadas pelo IPCC.

As boas práticas do IPCC (IPCC, 2003) descrevem uma estrutura uniforme para o reporte das emissões e remoções de GEE. No contexto deste estudo preliminar, o Sector LULUCF é subdividido nas categorias de uso do solo Floresta (5.A), Agricultura (5.B), Pastagens (5.C), Zonas alagadas (5.D), Áreas Urbanas (5.E), e outro uso do solo (5.F). Seguindo esta classificação do uso do solo, toda a área de Portugal Continental é identificada como tendo pertencido a uma destas seis classes de uso do solo ou como tendo sido convertida para uma das outras seis classes nos períodos 1980-1995 e 1995-2010. Para isso, o sistema de classificação do uso do solo utilizado (legenda LANDYN) e as matrizes de transição produzidas pelo projeto, são usadas nesta análise, após a atribuição de cada uma das classes de uso do solo LANDYN à categoria IPCC correspondente (Tabela 50).

Tabela 50 – Correspondência entre as classes de uso do solo LANDYN e as categorias de uso do solo IPC.

Classe LANDYN	Categoria IPCC
L18 Sistemas agroflorestais	5.A Floresta
L19 Florestas de folhosas menos o eucalipto e espécies invasoras	
L20 Florestas de resinosas	
L21 Florestas de eucalipto e espécies invasoras	
L24 Outras formações lenhosas; Cortes e novas plantações; Viveiros florestais; Aceiros e/ou corta-fogos	
L26 Áreas áridas	
L27 Florestas abertas folhosas (sem eucalipto e folhosas de espécies invasoras)	
L28 Florestas abertas resinosas	
L29 Florestas abertas eucalipto e espécies invasoras	
L10 Culturas temporárias de sequeiro	
L11 Culturas temporárias de regadio	
L12 Arrozais	
L13 Vinhas	
L14 Pomares	
L15 Olivais	
L17 Áreas agrícolas heterogéneas	
L16 Pastagens permanentes	5.C Matos e Pastagens permanentes
L22 Vegetação herbácea natural	
L23 Matos	
L32 Campos de golf	5.D Zonas alagadas
L30 Zonas húmidas	
L31 Corpos de água	5.E Áreas Urbanas
L1 Tecido urbano contínuo	
L2 Tecido urbano descontínuo	
L3 Indústria, comércio e equipamentos gerais	
L4 Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	
L5 Áreas portuárias	
L6 Aeroportos e aeródromos	
L7 Áreas de extração de inertes	
L8 Áreas de deposição de resíduos	
L9 Áreas em construção	5F. Outro uso do solo
L25 Zonas descobertas e com pouca vegetação	

O IPCC utiliza o conceito de categoria-chave no seu sistema de inventário para identificar os sectores e itens que desempenham um papel preponderante na emissão global de GEE, isto é, que justificam 95% das emissões por fontes e remoções por sumidouros. Neste estudo preliminar, as categorias-chave identificadas na Tabela 51 foram analisadas. Estas categorias não incluem emissões de outro GEE para além do CO₂.

Tabela 51 – Categorias-chave IPCC.

Categorias-chave IPCC de emissões/remoções	Emissões/remoções de
5.A.1 Forest Land remaining Forest Land	CO ₂
5.A.2 Land converted to Forest Land	CO ₂
5.B.2 Land converted to Cropland	CO ₂
5.C.1 Grassland remaining Grassland	CO ₂
5.C.2 Land converted to Grassland	CO ₂
5.E.2 Land converted to Settlements	CO ₂

O passo seguinte consistiu na análise das matrizes de transição tendo em conta as categorias-chave identificadas sendo estimadas as transições em hectares por ano.

6.4. Estimativa dos Fatores de Emissão

Foi realizada uma ampla revisão de literatura (Olson, 1963; Johnson and Gutsell, 1994; Rambal, 2001; Silva *et al.*, 2006; Simões, 2006; Rosa *et al.*, 2009; AFN, 2010; Oliveira, 2010; Rosa *et al.*, 2011; APA, 2013) de forma a compilar e atribuir valores de biomassa por categoria de uso do solo, uma tarefa imprescindível para determinação dos fatores de emissão atribuídos a cada categoria-chave. De acordo com a Tabela 3.1.2 do Guia de Boas Práticas do IPCC para o Sector LULUCF (IPCC, 2003), e de acordo com os dados disponíveis na literatura, os seguintes reservatórios foram considerados nesta análise:

- i) Biomassa Acima do Solo: incluindo a biomassa acima do solo das árvores e subcoberto, tanto vivo como morto;
- ii) Biomassa Abaixo do Solo: incluindo a biomassa abaixo do solo das árvores vivas e mortas;
- iii) Folhada;
- iv) Matéria Orgânica do Solo.

6.5. Estimativa de Emissões e Remoções de CO₂ do Setor LULUCF

As emissões e remoções de GEE associados às alterações de uso e ocupação do solo em Portugal Continental para o período de referência 1980-2010 são estimadas através da

análise das matrizes de transição produzidas para os subperíodos 1980-1995 e 1995-2010 combinadas com os fatores de emissão das respetivas transições. As emissões e remoções de CO₂ do sector LULUCF são apresentados por categoria-chave, e subcategoria (em tCO₂e ano⁻¹) para o período de referência 1980-2010 (subperíodos 1980-1995 e 1995-2010). Emissões (decréscimo do carbono armazenado em determinado reservatório) são apresentadas com o sinal positivo (+) e remoções (aumento do carbono armazenado em determinado reservatório) com o sinal negativo (-).

Na sua globalidade o sector LULUCF passou de emissor a sumidouro (Figura 19), isto é, passou de um emissor de 39 GgCO₂e para - 362 GgCO₂ e por ano entre 1980 (ou 1990) e 2010, o que corresponde a aproximadamente -1.028% de emissões em 2010 comparativamente ao nível de 1990.

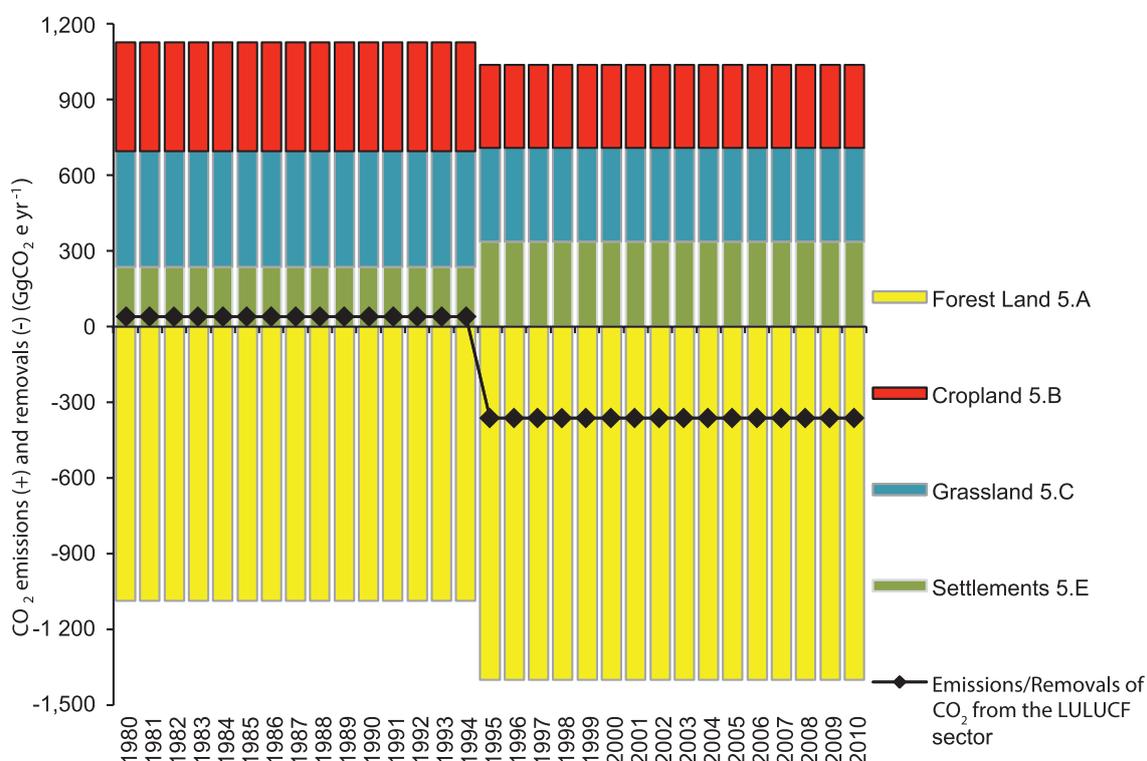


Figura 19 – Emissões e remoções (GgCO₂ e ano⁻¹) por categoria de uso do solo do sector LULUCF entre 1980 e 2010.

As emissões de CO₂ (GgCO₂e ano⁻¹) das seis categorias-chave individuais do sector LULUCF são apresentadas nas Figura 20 até à Figura 23.

A Figura 20 indica que, apesar de em termos líquidos a categoria de uso do solo 5.A2 (*Forest Land*) ser um sumidouro, a categoria-chave 5.A1 *Forest Land remaining Forest Land* é uma fonte de CO₂, particularmente no primeiro subperíodo analisado (1980-1995).

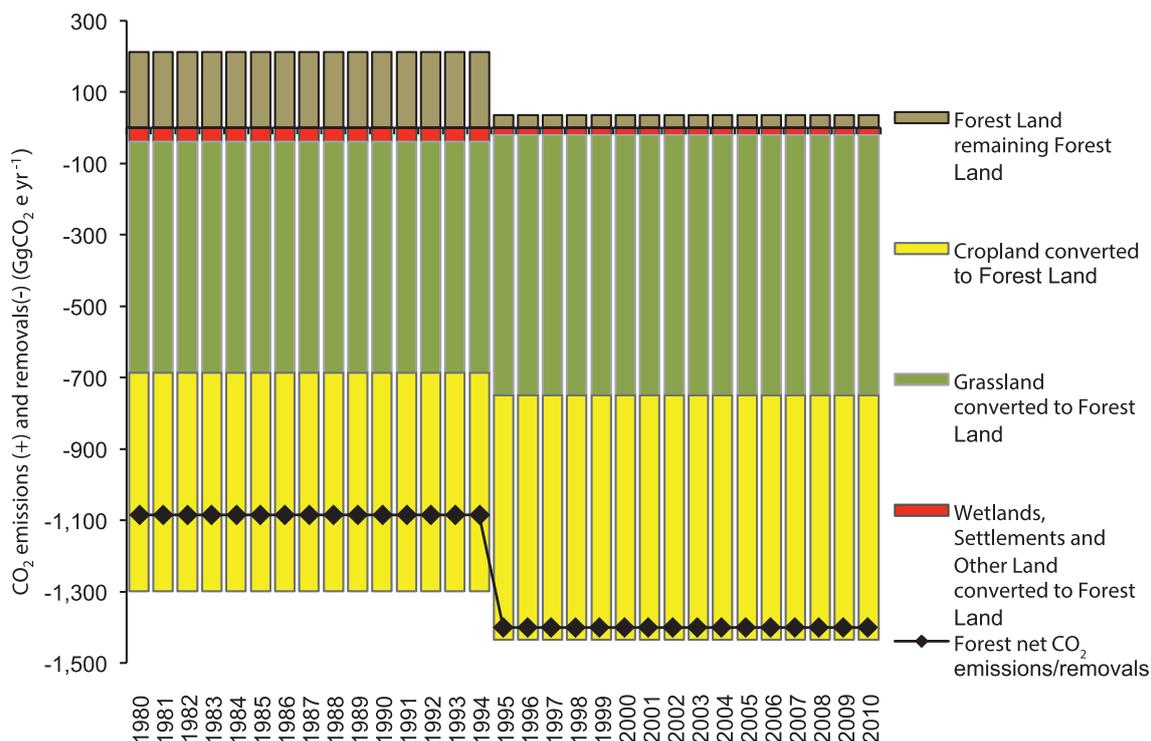


Figura 20 – Emissões e remoções (GgCO₂ e ano⁻¹) das categorias Forest Land remaining Forest Land (5.A1) e Land converted to Forest Land (5.A2) entre 1980 e 2010.

A categoria-chave Land converted to Cropland é uma fonte de emissões com uma tendência decrescente entre os dois subperíodos analisados. A subcategoria mais responsável por este efeito é a *Forest Land converted to Cropland*, seguida pela subcategoria *Grassland converted to Cropland*.

Em termos líquidos a categoria de uso do solo Pastagens (5.C) é uma fonte de CO₂, embora com uma tendência decrescente entre os subperíodos analisados. A principal fonte provém da subcategoria *Forest Land converted to Grassland* que é parcialmente compensada pelo efeito de sumidouro da subcategoria *Cropland converted to Grassland*. A categoria-chave *Grassland remaining Grassland* é uma categoria estável, apesar de ter variado de sumidouro para fonte entre os dois subperíodos.

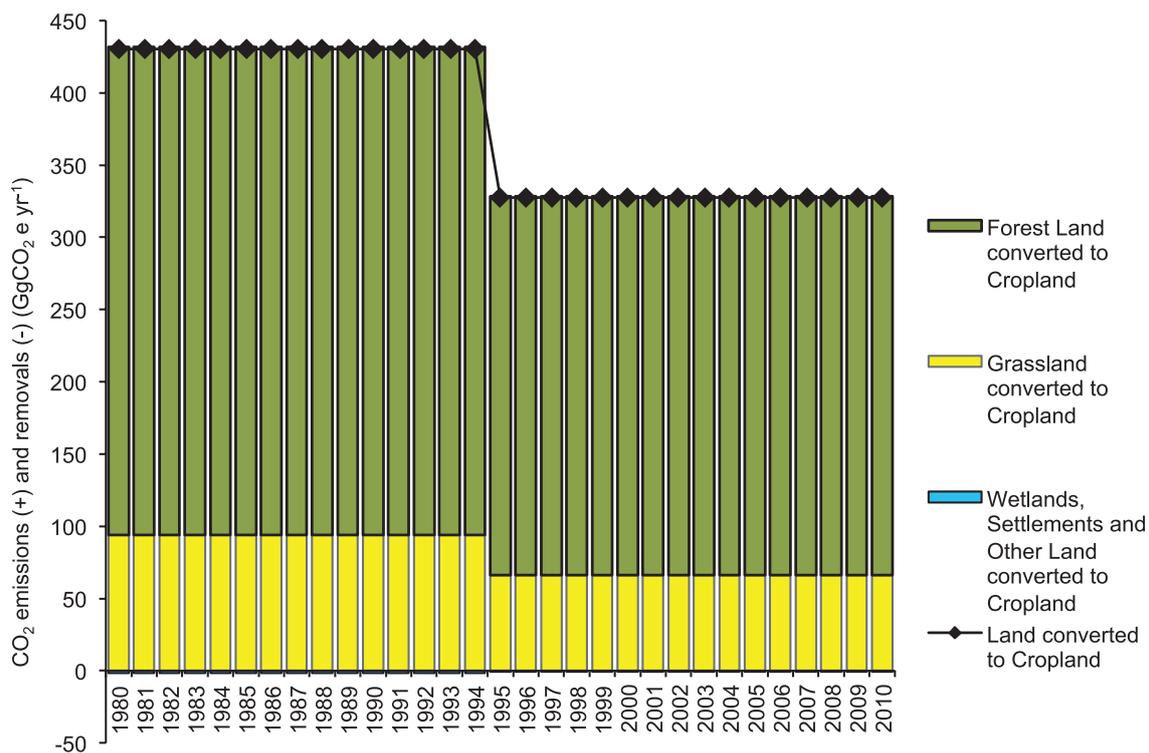


Figura 21 – Emissões e remoções (GgCO₂ e ano⁻¹) da categoria Land converted to Cropland (5.B2) entre 1980 e 2010.

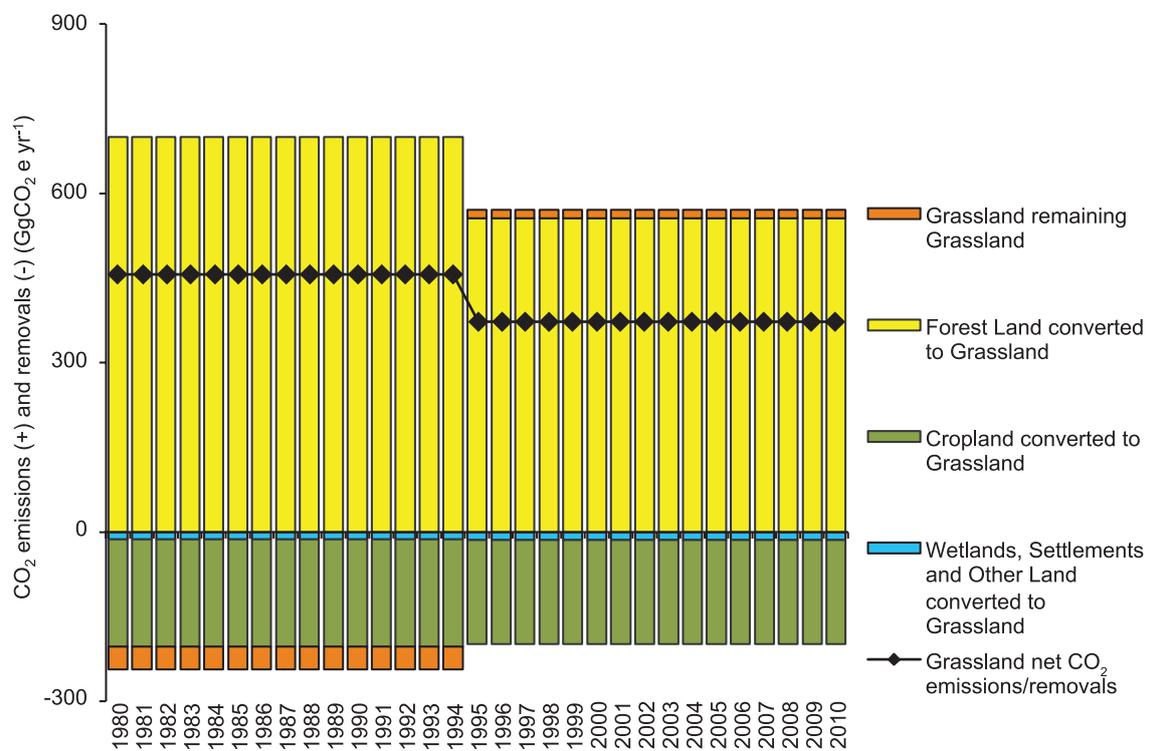


Figura 22 – Emissões e remoções (GgCO₂ e ano⁻¹) das categorias Grassland remaining Grassland (5.C1) e Land converted to Grassland (5.C2) entre 1980 e 2010.

A categoria-chave *Land converted to Settlements* é uma fonte de emissões com tendência crescente entre os dois subperíodos. A maior contribuição vem das subcategorias *Grassland to Settlements* e *Cropland to Settlements*.

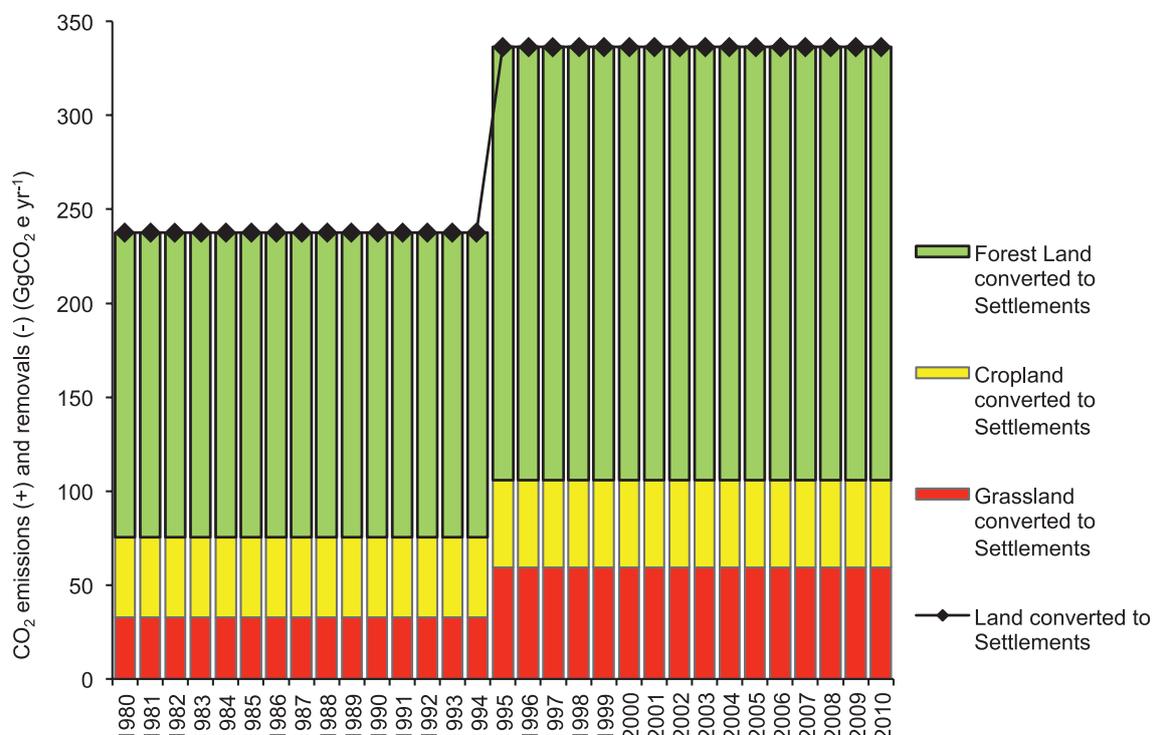


Figura 23 – Emissões e remoções (GgCO₂e ano⁻¹) da categoria-chave Land converted to Settlements (5.D2) entre 1980 e 2010.

6.6. Estimativas de Erro

Seguindo o método da propagação do erro (Tier 1 do IPCC, 2006), o erro de cada valor de biomassa reportado na literatura foi combinado por reservatório, e por categoria LANDYD e categoria-chave IPCC de forma a determinar o erro total da estimativa das emissões/remoções de CO₂ no sector LULUCF. O erro da componente *Activity Data* não é incluído nesta análise.

O IPCC sugere a utilização do intervalo de confiança 95%, definido como metade da largura do intervalo de confiança (i.e., margem de erro) e expresso em percentagem de incerteza em relação ao valor médio da estimativa.

Com um erro total de 1% para o período 1980-1995 e 2% para o período 1995-2010, o sector LULUCF passou de uma fonte a sumidouro, de $39 \pm 0,4$ GgCO₂e a $-362 \pm 3,8$ GgCO₂e emissões por ano (intervalo de confiança de 95%) entre 1980 (ou 1990) e 2010.

Este trabalho representa uma análise demonstrativa de um método de contabilização de emissões alternativo a considerar no futuro. Carece em termos quantitativos de ser confrontada com análise complementares. Devemos no entanto reter o que ela mais relevante nos mostra: a relevância da floresta na gestão de emissões.

Deve ser detalhada e ampliada com recurso a informação complementar, se suporte à validação dos dados de partida, mas claramente é um novo campo a explorar no domínio da contabilização de emissões.