

Mecanismos de certificação para o desenvolvimento de uma agricultura com potencial de mitigação das mudanças climáticas

Luiz Gustavo Lovato¹

Jean Philippe Palma Revillion²

RESUMO

Os aumentos de temperaturas médias globais e da ocorrência de eventos climáticos extremos poderão afetar a oferta de alimentos a médio e longo prazos. A agricultura, a pecuária e as atividades florestais respondem por quase 30% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) – os principais causadores do aquecimento global. As mudanças climáticas decorrentes de processos antrópicos geram a necessidade do desenvolvimento de uma agricultura com potencial de mitigação e redução dos GEE. Assim, o objetivo deste artigo foi identificar ferramentas e metodologias de cálculo de emissões, bem como seu uso, para subsidiar sistemas de certificação climáticos para sistemas agrícolas e alimentos. Verificou-se que existem plataformas suficientes para o desenvolvimento de mecanismos de certificação, que seguem principalmente as diretrizes do IPCC para inventários de GEE e a avaliação de ciclo de vida. Apesar do grande número de rótulos ecológicos existentes, apenas um deles foi identificado como selo de certificação climática para cadeias produtivas agrícolas – o selo sueco *Klimatcertifiering för Mat*. Embora existam oportunidades de mercado, uma eficiente comunicação do propósito dos selos climáticos ainda demanda aperfeiçoamentos.

Termos para indexação: agricultura de baixo carbono, calculadora de emissões, climate-smart agriculture, comportamento do consumidor, sequestro de carbono.

Certification mechanisms for the development of an agriculture with a potential for climate change mitigation

ABSTRACT

The average increase of global temperatures and of the occurrence of extreme climatic events may affect the supply of food in the medium and long terms. Agriculture, livestock, and forestry activities account for almost 30% of greenhouse gas (GHG) emissions – the main causes of global warming. The climatic changes resulting from anthropic processes generate the need to develop an agriculture with the potential to mitigate and reduce GHG. Therefore, the objective of this work was to identify tools for the emission calculation and methodologies, as well as their use to support climate certification systems for agricultural systems and food. It has been found that there are sufficient devices for the development of certification mechanisms, which follow mainly the IPCC guidelines for GHG inventories and the life cycle assessment. Despite the large number of existing eco-labels, only one has been identified as a climatic certification seal for agricultural production chains – the Swedish seal *Klimatcertifiering för Mat*. Although there are market opportunities, an efficient communication of the purpose of the climate seals still requires improvements.

Index terms: low-carbon agriculture, emission calculator, climate-smart agriculture, consumer behavior, carbon sequestration.

Ideias centrais

- As certificações para emissões de gases de efeito estufa comunicam o impacto ambiental gerado no processo produtivo
- As principais metodologias para o cálculo e verificação das emissões são baseadas nas diretrizes do IPCC e na Avaliação de Ciclo de Vida
- Os mecanismos existentes têm potencial para certificar práticas agrícolas de baixa emissão de carbono
- Permanecem desafios para a comunicação do impacto ambiental e engajamento do consumidor

Recebido em
06/03/2019

Aprovado em
14/10/2019

Publicado em
06/12/2019



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

¹ Enólogo, mestrando em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS. E-mail: luizglovato@gmail.com.

² Agrônomo, doutor em Agronegócios, Professor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS. E-mail: jeanppr@gmail.com.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas decorrentes do processo antrópico de aquecimento global representam o maior desafio para a segurança alimentar da humanidade e para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas no planeta. A agricultura, a pecuária e o desflorestamento respondem por 25 a 30% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, e são os principais causadores do aquecimento global (Vermeulen et al., 2012; Smith et al., 2014; Tubiello et al., 2015).

As emissões de GEE nas atividades agrícolas decorrem principalmente da liberação de gás carbônico nas culturas vegetais, com maior intensidade quanto menor for a incorporação de matéria orgânica do cultivo ao solo, e liberação de óxido nitroso na atmosfera, em razão do uso de fertilizantes sintéticos amoniacais, liberação de metano, principalmente em sistemas de cultivos alagados (IPCC, 2015; Paustian et al., 2016). As emissões anuais de GEE, em consequência das atividades agrícolas e pecuárias, devem crescer de 6 milhões de toneladas de CO₂ para 8,3 milhões de toneladas de CO₂ em 2030 – ou seja, cerca de 38% (Smith et al., 2007).

Estudos do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dos EUA (Karl et al., 2015) e da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (Smith et al., 2015) trouxeram evidências de que estamos em uma etapa de aceleração acentuada do aumento das temperaturas globais, acima das previsões do *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC. Segundo essas agências, entre 2014 e 2016, as temperaturas médias globais atingiram recordes sucessivos de alta. Em 2016, a temperatura anual média das superfícies de terra e oceanos foi 0,94°C acima da temperatura média global observada no planeta durante o século XX. Em 2017 e 2018, essa tendência de forte aceleração foi mantida, com um aumento observado de 0,84°C e 0,98°C (estimativa), respectivamente, acima da temperatura média global observada no planeta durante o século XX.

Essa aceleração do aquecimento global se traduz no aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas (Ault et al., 2014; Sheffield & Wood, 2008), tempestades (Diffenbaugh et al., 2013) e precipitações concentradas (IPCC, 2015), que impactam fortemente a produção agrícola (Lobell et al., 2012; Porter et al., 2014; Scheelbeek et al., 2018; Zhao et al., 2017).

Zhao et al. (2017) investigaram os impactos da temperatura na produtividade de quatro culturas base da alimentação humana, compilando resultados de estudos que utilizaram diferentes métodos analíticos; os resultados foram consistentes em apontar impactos negativos na produtividade agrícola: em uma escala global, cada aumento de 1° C na temperatura média global reduziu as produtividades de trigo em 6,0%, arroz em 3,2%, milho em 7,4%, e soja em 3,1%. Para Porter et al. (2014), as perspectivas de aquecimento global a médio prazo (antes do fim do século XXI) podem se traduzir nas seguintes perdas de produtividade: 35%, arroz; 20%, trigo; e até 60%, milho. Scheelbeek et al. (2018) relatam evidências de que um aumento de 4°C na temperatura média anual pode representar uma diminuição de 30% na produção de grãos e legumes em regiões tropicais.

Em particular, nas regiões tropicais, as temperaturas durante as estações mais quentes já se encontram próximas do limite adequado, para a manutenção de patamares esperados de produtividade de muitas culturas importantes; por isso, pequenos aumentos nessas temperaturas terão grande impacto sobre a oferta de alimentos (Elbehri, 2015). No Brasil, a previsão de mudanças na produtividade agrícola entre 2040 e 2070, decorrentes das mudanças climáticas, mantidas as características atuais dos sistemas produtivos, podem envolver perdas significativas em grande parte do território nacional (Deconto, 2008; Wheeler & Von Braun, 2013; Nakai et al., 2014).

Diante dessas evidências, é prudente afirmar que as mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global causarão impactos negativos cada vez mais importantes na produção agrícola mundial, o que deverá estabelecer um desafio fundamental para a segurança alimentar da população (Lobell et al., 2011).

Nesse contexto, cresce a discussão científica sobre sistemas de produção agrícola capazes de mitigar, anular ou reverter o impacto das atividades desse setor, em razão da liberação de GEE, e apresentar características de maior resiliência diante das intempéries climáticas associadas com os patamares inéditos de concentração de GEE na atmosfera. As alternativas de mitigação da emissão de GEE envolvem tanto a preservação de áreas florestais e ecossistemas naturais (não considerados no presente estudo) como a adoção de práticas culturais que promovam o sequestro do gás carbônico atmosférico e minimizem a liberação de metano e óxido nitroso nesses sistemas.

Na maioria das situações, a adoção de práticas culturais que incorporam matéria orgânica ao solo também representa um ganho de resiliência em situações climáticas extremas, como secas ou precipitações excessivas (UNCTAD, 2007, 2013), e podem promover a manutenção de níveis de produtividade equivalentes ou próximos dos sistemas convencionais (De Ponti et al., 2012; Seufert et al., 2012; Ponisio et al., 2015).

A emergência de sistemas agrícolas adaptados às novas condições climáticas de um mundo em aquecimento alinham-se também à crescente preocupação dos consumidores em privilegiar o consumo de alimentos oriundos de sistemas produtivos capazes de mitigar os efeitos desse fenômeno (Chuanmin et al., 2014; Feucht & Zander, 2018). Essa demanda se distribui entre diversos sistemas de certificação considerados representantes de sistemas de produção alinhados com uma agricultura mais resiliente e de baixo nível de emissão de GEE (Czarnecki, 2011; Birkenberg & Birner, 2018).

Em um estudo conduzido em 6 países europeus, Feucht & Zander (2018) mostram que a presença de selos de carbono pode aumentar a probabilidade de compra e a propensão a pagar mais por produtos certificados em até 20%, embora as autoras também evidenciem, no mesmo estudo, que haja maior predileção por produtos locais do que por aqueles com selos de carbono. Em outro estudo, conduzido na Alemanha, Emberger-Klein & Menrad (2018) mostram que prover informações adicionais àquelas constantes nos rótulos aumenta o foco do consumidor nos selos de carbono, que podem passar a ser um critério de compra. Um estudo conduzido na Suécia, por Blomqvist (2009), mostra que selos de certificação ambiental que explicitam a percentagem de redução de carbono no sistema produtivo considerado, aumentam a probabilidade de o consumidor pagar mais pelo produto certificado e, até mesmo, cogitar a mudança de hábitos alimentares a favor desses produtos.

O presente estudo procura elencar os mecanismos relacionados ao desenvolvimento de uma agricultura de baixo nível de emissão de GEE, indicando metodologias de análise de desempenho que subsidiam sistemas de certificação. A definição desse quadro pode contribuir com a identificação de mecanismos tecnológicos e oportunidades de mercado, para o desenvolvimento de uma “agricultura de baixo carbono” ou “*climate-smart agriculture*”, atendendo a um mercado consumidor crescentemente interessado em privilegiar o consumo de alimentos obtidos em sistemas de baixo impacto ambiental.

INDICADORES DE UMA AGRICULTURA DE BAIXO NÍVEL DE EMISSÃO DE GEE

O mecanismo básico para o sequestro de carbono na agricultura diz respeito à possibilidade de as plantas utilizarem gás carbônico da atmosfera para crescer e de imobilizar esse carbono, uma vez que ele é integrado ao solo na forma de matéria orgânica. O sequestro de carbono na agricultura, de forma isolada, tem o potencial de anular toda a emissão anual de GEE desse setor, zerando seu impacto no aquecimento global (Smith et al., 2007; Bellarby et al., 2008).

A capacidade de sequestro de carbono atmosférico pela agricultura depende da relação entre a taxa de sua incorporação ao solo, na forma de resíduos da cultura, e a taxa de perda de carbono para a atmosfera, em função da respiração vegetal e sua liberação por processos de decomposição da matéria orgânica. Assim, mantidas as características de cada sistema produtivo, quanto maior o aporte de matéria orgânica no solo, maior a taxa de sequestro de gás carbônico atmosférico (Paustian et al., 1997).

As práticas que aumentam a taxa de incorporação de carbono ao solo envolvem: i) a incorporação da biomassa ao solo; ii) o uso de espécies vegetais que apresentem um sistema radicular volumoso e profundo, de maneira a atingir camadas de solo mais profundas, onde a degradação da matéria orgânica é mais lenta; iii) a adoção de rotação de culturas agrícolas de maneira a incrementar o aporte de massa vegetal ao solo; iv) a manutenção da cobertura vegetal do solo, nas diferentes estações do ano, evitando-se a perda de matéria orgânica e nutrientes; v) a minimização de práticas culturais que desagregam a estrutura dos solos; vi) a manutenção de uma microbiota diversificada capaz de estabilizar a matéria orgânica no solo; vii) a utilização do biocarvão (“*biochar*”) na agricultura (Woolf et al., 2010; Field et al., 2012; Vermeulen et al., 2012; FAO, 2013; Lehmann & Joseph, 2015; Paustian et al., 2016).

Em particular, a adoção de práticas que mantenham uma taxa de umidade constante no solo, em condições de variabilidade pluvial e temperatura ambiente, em grande parte dependente da manutenção de teores elevados de matéria-orgânica no solo, representa um fator crítico na potencialidade dos solos de sequestrar o gás carbônico atmosférico de forma eficiente (Green et al., 2019).

A perspectiva de desenvolvimento de metodologias aplicáveis, para quantificar e monitorar o impacto dessas práticas na diminuição da emissão de GEE, sob as diversas condições edafoclimáticas e culturais, representa um desafio considerável para a seleção das melhores alternativas e para o desenvolvimento de um sistema de certificação capaz de promover um mercado específico para produtos oriundos desse sistema (Paustian et al., 2016).

Mesmo assim, foram desenvolvidos aplicativos computacionais de linguagem e operação acessíveis, no sentido de permitir que os próprios agricultores compartilhem informações, selecionem as melhores práticas e montem indicadores capazes de certificar suas unidades produtivas como “de baixo nível de emissão de GEE”. Em um relatório em que se comparam diferentes ferramentas de cálculo de emissões de GEE disponíveis, Denef et al. (2012) compilaram informações referentes às características básicas de calculadoras, protocolos e modelos utilizados para esse propósito. O panorama traçado pelos autores permite ao usuário enxergar uma vasta gama de metodologias aplicáveis à contabilização de emissão de GEE, em sistemas agrícolas e florestais e em diferentes escalas – propriedade, instituições e projetos. Exemplos como o *Cool Farm Tool*³, desenvolvido pela organização *Cool Farm Alliance*, e o *COMET-Farm*⁴, fruto de uma parceria entre o United States Departamento of Agriculture (USDA) e a Colorado State University, podem ser explorados, entre vários outros, como calculadoras de emissões de GEE por sistemas agrícolas (Tabela 1). Esses aplicativos incorporam modelos baseados em fatores de emissão empíricos ou modelos que sejam empíricos e baseados em processos que simulem emissões de GEE por atividades agrícolas e florestais, o que permite integrar o conhecimento local na gestão das melhores práticas, com mapas detalhados de solo e indicadores climáticos, sensoriamento remoto e modelos sofisticados de cálculo das emissões de GEE.

Tabela 1. Sistemas de cálculo de emissão de GEE para sistemas produtivos agrícolas.

Ferramenta	País de origem	Metodologia	Sistemas produtivos
COMET-Farm	EUA	IPCC	Agropecuária
Cool Farm Tool	Reino Unido	ACV/IPCC	Agropecuária
RenovaCalc	Brasil	ACV	Biocombustíveis
Vegetable Carbon Calculator	Austrália	IPCC	Horticultura

Entre as metodologias aplicadas nas ferramentas de contabilização de emissões de GEE, duas em especial se propõem a guiar o desenvolvimento de sistemas de cálculo, protocolos e modelos: as

³ Mais informações podem ser encontradas no site <http://www.coolfarmtool.org>

⁴ Mais informações podem ser encontradas no site <http://cometfarm.nrel.colostate.edu>

diretrizes do IPCC para inventários nacionais de GEE e as bases de dados para a avaliação de ciclo de vida (ACV) (Richards, 2018).

DIRETRIZES DO IPCC PARA INVENTÁRIOS NACIONAIS DE GEE

A metodologia do IPCC, publicada em 2006, traz em seu quarto volume as diretrizes para a contabilização de emissões da agricultura, floresta e outros usos da terra. O método apresenta o cálculo de emissão de uma determinada atividade agrícola baseado em seu fator de emissão. A seguinte fórmula resume o cálculo: emissão = dados da atividade x fator de emissão.

Os dados da atividade decorrem de intervenções humanas que resultem em emissões de GEE ou em remoções de carbono, durante um período determinado. Os resultados expressam as emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). A base de dados do fator de emissão do IPCC é o padrão global seguido para atividades agrícolas individuais (Eggleston et al., 2006; Richards, 2018).

O IPCC divide seus métodos para a construção de um inventário de emissões de GEE conforme três níveis de complexidade. Esses níveis são chamados de *tiers*: *tier 1* - é o método mais simples, que fatores de emissão baseados em médias regionais ou globais; *tier 2* - utiliza dados mais desagregados e de locais específicos; *tier 3* - refere-se a modelos e medidas mais complexos e específicos e produz resultados mais acurados (Eggleston et al., 2006).

Um exemplo da aplicação dessa metodologia, no desenvolvimento de uma ferramenta de contabilização da pegada de carbono de um sistema de produção agrícola, pode ser encontrado na Austrália: o *Vegetable Carbon Calculator*⁵, desenvolvido a partir de uma parceria entre o governo australiano, associações de produtores e órgãos de pesquisa, calcula as emissões de GEE para a horticultura e utiliza os fatores de emissão disponibilizados pelas diretrizes do IPCC (Deuter, 2008).

A publicação de uma nova versão desse protocolo do IPCC, propondo um refinamento da metodologia empregada para estabelecer essas diretrizes, está prevista para 2019 (IPCC, 2019).

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

Geralmente utilizada como produto, a ACV pode expressar a quantidade de GEE combinados (CO₂ equivalente) que foi emitida para produzir uma unidade de um determinado produto – 1 kg de batata, por exemplo. Pode ser aplicada a diferentes elos da cadeia produtiva e requer dados específicos e exigentes em acurácia, o que possibilita a identificação da pegada de carbono separada por tipo de atividade, prática ou tecnologia. A ACV fornece um retrato das emissões de CO₂ equivalente, em um determinado espaço geográfico e sob uma dinâmica específica, subsidiando decisões estratégicas em diferentes escalas, desde o gestor de uma unidade produtiva a um grupo político local ou regional (Notarnicola et al., 2015; Birkenberg & Birner, 2018).

Para prover medidas e monitoramento de emissões de GEE, duas ferramentas podem ser utilizadas como base de dados de ACV específicas para sistemas produtivos agrícolas e de alimentos: a *World Food Life Cycle Assessment Database* (WFLDB) (Quantis, 2019) e a *Agri-footprint* (Blonk Consultants, 2019). Nesses bancos de dados, é possível, por exemplo, consultar o fator de emissão para algumas práticas agrícolas. Para o cultivo de arroz em áreas não alagadas, o fator de emissão considerado pelo WFLDB é 1,3 kg CH₄ ha⁻¹ por dia, que é ajustado de acordo com o regime hídrico da região analisada, antes da semeadura, e com a duração e frequência dos ciclos produtivos para

⁵ Mais informações podem ser encontradas no site <http://www.vegiecarbontool.com>

essa cultura. Com base nessa metodologia, as emissões anuais de metano pelo cultivo de arroz podem chegar a 71 kg na China e 219 kg na Índia, por exemplo (Bengoa et al., 2015).

No Brasil, a ACV serve como base para o cálculo da intensidade de carbono do biocombustível. A ferramenta desenvolvida para realizar os cálculos se chama *RenovaCalc* e é parte da Política Nacional de Biocombustíveis, o RenovaBio, conforme a Lei n.º 13.576, de 26 de dezembro de 2017 (Brasil, 2017; Matsuura et al., 2018). A calculadora abrange todos os elos da cadeia produtiva e calcula as emissões e fluxos de materiais e energia gerados desde a produção da matéria-prima vegetal, para a produção do biocombustível, até seu processamento, transporte e uso como combustível para motores.

A padronização e a normalização das metodologias que buscam quantificar a pegada de carbono de produtos e processos são guiadas internacionalmente pelos protocolos de ACV da *International Organization for Standardization* (ISO). O *Publicly Available Specification* (PAS) 2050, desenvolvido pelo *British Standards Institute*, e o *GHG Protocol Product Life Cycle Standard*, elaborado pelas organizações *World Resources Institute* (WRI) e *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), são exemplos de metodologias utilizadas para a contabilização de GEE com base nos protocolos de ACV da ISO.

O desenvolvimento de indicadores para uma agricultura de baixo nível de emissão de GEE passa pela construção de protocolos e diretrizes baseados em referências, normas, padrões e fatores de emissões bem estruturados e, na maioria das vezes, calculados empiricamente. A quantificação desses impactos, por parte dos produtores ou consultorias especializadas, pode subsidiar mecanismos de certificação que buscam comunicar o efeito, sobre o meio ambiente, de tecnologias e práticas agrícolas mitigadoras das mudanças climáticas. Havendo a possibilidade de engajar o consumidor na temática, surge uma perspectiva animadora para o desenvolvimento de uma agricultura de baixo carbono.

PERSPECTIVAS DE CERTIFICAÇÃO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS ORIUNDOS DE SISTEMAS DE BAIXO CARBONO

O desenvolvimento de uma agricultura de baixo carbono ou de uma *climate-smart agriculture* passa pela compreensão, por parte do consumidor final e, inclusive, do comprador institucional, dos impactos que os sistemas produtivos agrícolas exercem sobre as mudanças climáticas (Climate Smart Businesses, 2012). Todos os esforços de mitigação, por parte do elo produtivo da cadeia, apenas podem surtir efeito quando demandados por um consumo consciente da necessidade de redução das emissões de GEE e do uso eficiente dos recursos naturais utilizados no sistema produtivo.

Um mecanismo capaz de servir como interface entre produtores e consumidores é o da certificação. O desenvolvimento de rótulos e selos que forneçam informações, sobretudo quantificadas, pode aumentar a propensão de compra e a fidelização do consumidor preocupado com o impacto das mudanças climáticas na sociedade. Além de diminuir a assimetria de informações e permitir a transparência do processo produtivo, selos que comunicam a pegada de carbono ou as emissões de GEE, dão ao consumidor a oportunidade de maximizar a utilidade de sua escolha, ao optar por um produto que emitiu menos GEE do que produtos similares não certificados (Cohen & Vandenberg, 2012). Entre os vários rótulos ecológicos existentes, os quais contemplam os mais diferentes setores, vários estão relacionados à agricultura e aos alimentos, conforme pontuam Emberger-Klein & Menrad (2018): “baixo carbono”, “intensidade de carbono”, “classificação do carbono”, “redução de carbono” e rótulos de “carbono neutro” (Tabela 2). Os objetivos e metodologias que subsidiam o desenvolvimento desses rótulos são (Tabela 2): i) rótulos de baixo carbono comunicam a gestão do carbono de um produto específico, baseado em uma avaliação singular de seu ciclo de vida; ii) a intensidade de carbono é medida através da relação entre as emissões pelo produto, durante seu ciclo de vida, e sua conversão em uma unidade final de produto – quilo ou litro, por exemplo – e é comparada com produtos concorrentes; iii) o rótulo de classificação de carbono baseia-se no cálculo médio da intensidade

de carbono, a partir de práticas mitigadoras-padrão, o que resulta em uma classificação antecipada da intensidade de carbono; iv) os rótulos que comunicam a redução de carbono também são baseados na ACV e significam a contribuição para a redução de emissões, em nível nacional ou global; v) para ser enquadrado como carbono neutro, o produto compensa suas emissões, em nível global, por meio da compra de créditos de carbono. Para ser rotulado como carbono neutro, o conhecimento prévio da pegada de carbono ou ACV do sistema ou produto é necessário (Walter & Schmidt, 2008). Entre esses, o modelo de governança dos sistemas de certificação, decorrente da natureza pública ou privada dos órgãos executores, pode ser variável (Climate Smart Businesses, 2012).

Tabela 2. Modelos de governança exercidos e tipos de rótulos gerados em mecanismos de certificação climática para sistemas agrícolas.

Modelos de governança ⁽¹⁾	Principalmente público	Executado pelo privado e apoiado pelo público		Principalmente privado	
Tipos de rótulos ⁽²⁾	Baixo carbono	Intensidade de carbono	Classificação do carbono	Redução de carbono	Carbono neutro
Objetivos ⁽³⁾	Comunica emissões de um único produto ou sistema	Relação de emissões com conversão em produto final – compara produtos e sistemas	Média da intensidade de carbono – informa as emissões antecipadamente	Contribuição para a redução de emissões nacionais e globais	Compensação de práticas mitigadoras não suficientes por meio de créditos de carbono
Metodologia ⁽³⁾	ACV	ACV	ACV	ACV	ACV e pegada de carbono

⁽¹⁾Climate Smart Businesses (2012). ⁽²⁾Emberger-Klein & Menrad (2018). ⁽³⁾Walter & Schmidt (2008).

Grande parte dos mecanismos de certificação de produtos agrícolas oriundos de sistemas comprometidos com a redução e comunicação de suas emissões de GEE é baseada em ACV e considera todo o ciclo do produto (ex-ante e ex-post). Tal metodologia é adequada principalmente para bens manufaturados. Entretanto, para a produção agrícola, ela pode-se tornar genérica e carente de contabilizações confiáveis, visto que o modo de preparo e descarte dos resíduos dos alimentos pode variar consideravelmente para um mesmo produto, conforme os hábitos peculiares a cada consumidor, como o de tomar café, por exemplo (Birkenberg & Birner, 2018). Sabendo-se da importância da adoção de práticas agrícolas que reduzem as emissões de GEE e, ao mesmo tempo, da inserção da pegada de carbono como critério influente sobre o comportamento do consumidor, o desenvolvimento de mecanismos de certificação, adaptados aos modelos de produção agrícola, torna-se essencial. Assim, as iniciativas setoriais poderão reduzir os custos de transação inerentes à implantação de um sistema certificador e transmitir com maior assertividade as informações para o comprador ou consumidor (Blomqvist, 2009; Cohen & Vandenbergh, 2012).

Um exemplo de mecanismo de certificação, que visa garantir a redução dos impactos dos sistemas produtivos agrícolas nas mudanças climáticas e, ao mesmo tempo, maximizar a utilidade da escolha do consumidor por produtos que mitiguem ou anulem emissões de GEE é o selo sueco *Klimatcertifiering för Mat* – KFM⁶, que pode ser traduzido como “certificação climática para alimentos”. O selo é fruto da iniciativa de dois órgãos suecos de certificação: KRAV e *Swedish Seal* (Svenskt Sigill). O selo abrange diversos setores relacionados à produção agrícola e de alimentos. As cadeias produtivas de flores, grãos e vegetais produzidos em estufas, pescados, leite e pecuária são contempladas pelo selo. Além disso, são considerados os impactos das mudanças climáticas sobre o transporte e a logística. O cálculo das emissões de GEE para cada cadeia produtiva obedece a perspectiva da ACV, e somente pode ser certificado como climaticamente eficiente aquele produtor que estiver atrelado a outro programa de certificação que vise produções sustentáveis. Por exemplo, o selo KRAV certifica produtos orgânicos, e a obtenção da certificação climática para alimentos KFM é uma evolução do sistema já existente. Embora a quantificação das emissões de GEE não seja um

⁶ Mais informações podem ser encontradas no site <http://www.klimatmarkningen.se/in-english>.

requisito obrigatório, o selo KFM estabelece alguns critérios rígidos como, por exemplo, a utilização de 100% de energia elétrica proveniente de fontes renováveis e a presença de, no mínimo, 90% do seu peso em matéria-prima climaticamente certificada para produtos compostos (Klimatmarkning för mat, 2010).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dispõe de documentos que referenciam e certificam empresas e produtos, que estejam engajados na quantificação de suas pegadas de carbono e emissões de GEE e na comunicação da responsabilidade ambiental por meio de rótulos ecológicos (ABNT, 2019). Os critérios para certificação de produtos com baixo impacto ambiental são delineados por um comitê técnico que apoia a entidade executora, no caso a ABNT, nas análises de emissões e conformidades ecológicas. Esses critérios são baseados na ACV e em práticas ambientalmente corretas, como a priorização do uso de energias renováveis, descarte adequado de resíduos e controle sobre o uso e descarte de defensivos agrícolas e fertilizantes. A produção vegetal é contemplada em um documento que regimenta a pegada de carbono para a produção de poliol vegetal, que utiliza óleos vegetais, como o de mamona e soja, alternativamente a compostos químicos, na geração de poliuretanos (ABNT, 2016). As mesmas diretrizes podem ser seguidas para enquadrar a produção de café, chás e outros produtos agrícolas que pretendam comunicar a baixa emissão de GEE em um rótulo ecológico, chamado *Qualidade Ambiental* (ABNT, 2017).

DISCUSSÃO

Mecanismos de certificação para sistemas agrícolas, remetidos especificamente para a questão das mudanças climáticas, propondo a contabilização das emissões de GEE e da pegada de carbono, vêm sendo desenvolvidos em diferentes partes do mundo. Isso pode levar à reflexão de que exista uma preocupação coletiva com a validação de práticas e tecnologias agrícolas com capacidade de mitigação das mudanças climáticas. Essa preocupação, por parte do elo produtivo do sistema agroalimentar, baseia-se em previsões de mudanças climáticas que podem afetar a produção de alimentos em diferentes escalas – local, regional e global. Isso incita a análise de formas de adaptação e mitigação dessas mudanças.

Atuando como interface entre as práticas mitigadoras e redutoras de riscos dos produtores e a estimulação de um consumo climaticamente consciente, os mecanismos de certificação podem assegurar a transmissão de informações de forma transparente para o consumidor, ao mesmo tempo em que permitem, por meio de suas ferramentas de cálculos de emissões, que o gestor da unidade produtiva identifique pontos fracos (aqueles com maior impacto ambiental) em seu sistema agrícola e promova práticas ou adote tecnologias que reduzam as emissões de GEE.

A construção de um sistema de certificação pode enfrentar desafios de ordem institucional, uma vez que pode envolver atores públicos e privados (Cohen & Vandenberg, 2012). O ajuste da consonância dos objetivos, bem como das justificativas para a adesão a um sistema de certificação climático, pode derivar debates sobre a definição dos padrões e referências que guiarão a certificação (Bonnedahl & Eriksson, 2011). Alguns pontos como o caráter voluntário e não compulsório da adesão à certificação climática devem ser considerados. Apesar de a oportunidade de mercado gerada pelo selo de carbono estar relacionada à agregação de valor ao produto e ao aumento da probabilidade de compra pelo consumidor, em setores de produção de commodities agrícolas, por exemplo, esse mecanismo pode afetar a competitividade do produto, visto que, nesse mercado pautado pelo preço, qualquer aumento de custo fixo pode resultar em margens de lucro reduzidas para o produtor (Climate Smart Businesses, 2012).

Além do exemplo brasileiro, dirigido pela ABNT, apenas um sistema de certificação climática para alimentos foi identificado por este estudo: é o selo sueco Klimatcertifiering för Mat. Embora existam mais de 460 rótulos ecológicos catalogados pelo Eco Label Index, a maioria está vinculada aos setores da indústria de bens manufaturados e de energia. Aqueles associados à agricultura, especialmente, estão relacionados à certificação de produtos orgânicos ou provenientes de práticas

agroecológicas. O único selo com objetivo claro de certificar produtores comprometidos com a questão das mudanças climáticas é o KFM. Mostrando uma possível tendência, em 2018, o governo da Dinamarca anunciou uma proposta de rotulagem obrigatória de alimentos, nos quais serão incluídas informações sobre os impactos ambientais, emissões de GEE e o ciclo de vida dos produtos (Clarke, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de uma agricultura de baixo carbono ou *climate-smart agriculture* passa pela análise do potencial de mitigação das mudanças climáticas embutidos em mecanismos tecnológicos e práticas agrícolas. A frequente ocorrência de eventos climáticos extremos, além do aumento das temperaturas médias globais, afetarão a oferta de alimentos. Estas evidências pontuadas no presente estudo servem como justificativa para a criação de sistemas de certificação climáticos, que visam atender uma demanda mais consciente e preocupada com os impactos ambientais gerados pelos hábitos de consumo.

As ferramentas para o cálculo das emissões de GEE por sistemas agrícolas ou produtos existem e estão disponíveis. Em sua maioria, essas ferramentas são abertas e de fácil manuseio, embora sejam exigentes quanto à quantidade e à acurácia dos dados e variáveis considerados. Tais dados podem ser gerados por meio de medições empíricas ou por sistemas que utilizam modelos de simulação de emissões. Duas metodologias principais foram identificadas como base para o desenvolvimento dessas ferramentas de cálculo de emissões: as diretrizes do IPCC para inventários de GEE e a ACV.

A utilização dessas ferramentas e metodologias deve subsidiar o desenvolvimento de sistemas de certificação climáticos para produtos agrícolas, diferenciando-se de outros selos de certificação de alimentos, por balizar critérios específicos que comuniquem o comprometimento da empresa ou unidade produtiva em mitigar as mudanças climáticas por meio da redução da emissão de GEE.

Os desafios postos para o desenvolvimento desses sistemas de certificação climáticos estão na elaboração de uma eficiente comunicação da importância do selo junto ao consumidor, bem como na disponibilização de ferramentas e capacitação para uso correto pelo produtor. Além disso, as metodologias empregadas, em grande parte baseadas em ACV, não suprem de forma satisfatória a mensuração do potencial e efetivo sequestro e fixação do carbono, que pode ser realizada especialmente em cultivos vegetais, os quais influenciam diretamente as emissões líquidas de GEE por sistemas produtivos agrícolas.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **PE-366.01**: Regra de categoria do produto para poliol vegetal. 2016. Disponível em: <https://www.abntonline.com.br/CERTODADOS/Document.aspx?a=vwXDeskC%2Bzao9Th8JhQy0A%3D%3D>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **PE-392.0A**: Rótulo ecológico para produtos agrícolas. 2017. Disponível em: <https://www.abntonline.com.br/sustentabilidade/Document?a=YHq%2FCkRanFLTPqyJzlOs3Q%3D%3D>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Rótulo Ecológico**: Portal da Sustentabilidade. 2019. Disponível em: <https://www.abntonline.com.br/sustentabilidade/Rotulo/Default>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- AULT, T.R.; COLE, J.E.; OVERPECK, J. T.; PEDERSON, G.T.; MEKO, D.M. Assessing the risk of persistent drought using climate model simulations and paleoclimate data. **Journal of Climate**, v.27, p.7529-7549, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00282.1>.
- BELLARBY, J.; FOEREID, B.; HASTINGS, A.; SMITH, P. **Cool Farming**: Climate impacts of agriculture and mitigation potential. Amsterdam: Greenpeace International, 2008. 44p.

- BENGOA, X.; ROSSI, V.; HUMBERT, S.; NEMECEK, T.; LANSCH, J.; MOURON, P.; RIEDENER, E. **Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products**. version 3.0. Lausanne: World Food LCA Database, 2015. 84p.
- BIRKENBERG, A.; BIRNER, R. The world's first carbon neutral coffee: lessons on certification and innovation from a pioneer case in Costa Rica. **Journal of Cleaner Production**, v.189, p.485-501, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.226>.
- BLOMQUIST, O. **Different types of climate labels for food products**. 2009. 71p. Thesis (Master) - Lunds Universitet, Lunds.
- BLONK CONSULTANTS. **Agri-footprint**: About. Disponível em: <<http://www.agri-footprint.com/users/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- BONNEDAHN, K.J.; ERIKSSON, J. The role of discourse in the quest for low-carbon economic practices: A case of standard development in the food sector. **European Management Journal**, v.29, p.165-180, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.emj.2010.10.008>.
- BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 27 dez. 2017. Seção 1, p.4-5.
- CHUANMIN, S.; XIAOMIN, Y.; YUKUN, Z.; CHUANXI, S.; PENGHUI, D. Consumer behaviour on low-carbon agri-food purchase: a carbon labelling experimental study in China. **Agricultural Economics (Czech Republic)**, v.60, p.133-146, 2014. DOI: <https://doi.org/10.17221/20/2013-AGRICECON>.
- CLARKE, H. Denmark discusses labeling food for climate impact. **CNN**, Oct. 9 2018. Disponível em: <<https://edition.cnn.com/2018/10/09/health/denmark-climate-food-intl/index.html>>. Acesso em: 13 out. 2019.
- CLIMATE SMART BUSINESSES INC. **Carbon Footprints and Labels in a BC agriculture context**. Vancouver, 2012. 43p.
- COHEN, M.A.; VANDENBERGH, M.P. The potential role of carbon labeling in a green economy. **Energy Economics**, v.34, p.S53-S63, 2012. Suppl. 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.08.032>.
- CZARNEZKI, J.J. The future of food eco-labeling: organic, carbon footprint, and environmental life-cycle analysis. **Stanford Environmental Law Journal**, v.30, p.3-49, 2011.
- DE PONTI, T.; RIJIK, B.; VAN ITTERSUM, M.K. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. **Agricultural Systems**, v.108, p.1-9, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2011.12.004>.
- DECONTO, J.G. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. [Brasília]: Embrapa; [Campinas]: Unicamp, 2008. 82p.
- DENEK, K.; PAUSTIAN, K.; ARCHIBEQUE, S.; BIGGAR, S.; PAPE, D. **Report of Greenhouse Gas Accounting Tools for Agriculture and Forestry Sectors**. [S.l.: s.n.], 2012. Interim report to USDA under Contract No. GS-23F-8182H.
- DEUTER, P. **Who will use the vegetable carbon tool?** 2008. Disponível em: <https://www.daf.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/56280/Hort-Fruit-Drought-Carbon-Report5.pdf%5Cnhttp://ausveg.com.au/intranet/technical-insights/docs/130044_VG09190-Final-Report-Complete.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2019.
- DIFFENBAUGH, N.S.; SCHERER, M.; TRAPP, R.J. Robust increases in severe thunderstorm environments in response to greenhouse forcing. **Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America**, v.110, p.16361-16366, 2013.
- EGGLESTON, H.S.; BUENDIA L.; MIWA K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama: IGES, 2006.
- ELBEHRI, A. (Ed.). **Climate change and food systems**: global assessments and implications for food security and trade. Rome: FAO, 2015.
- EMBERGER-KLEIN, A.; MENRAD, K. The effect of information provision on supermarket consumers' use of and preferences for carbon labels in Germany. **Journal of Cleaner Production**, v.172, p.253-263, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.105>.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Climate-smart agriculture sourcebook**. Rome, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i3325e/i3325e.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2019.
- FEUCHT, Y.; ZANDER, K. Consumers' preferences for carbon labels and the underlying reasoning. A mixed methods approach in 6 European countries. **Journal of Cleaner Production**, v.178, p.740-748, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.236>.
- FIELD, C.B.; BARROS, V.; STOCKER, T.F.; DAHE, Q.; DOKKEN, D.J.; EBI, K.L.; MASTRANDREA, M.D.; MACH, K.J.; PLATTNER, G.-K.; ALLEN, S.K.; TIGNOR, M.; MIDGLEY, P.M. (Ed.). **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- GREEN, J.K.; SENEVIRATNE, S. I.; BERG, A.M.; FINDELL, K.L.; HAGEMANN, S.; LAWRENCE, D.M.; GENTINE, P. Large influence of soil moisture on long-term terrestrial carbon uptake. **Nature**, v.565, p.476-479, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0848-x>.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fifth Assessment Report**. 2015. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>>. Acesso em: 3 mar. 2019.

- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2019. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>>. Acesso em: 6 fev. 2019.
- KARL, T.R.; ARGUEZ, A.; HUANG, B.; LAWRIEMORE, J.H.; MCMAHON, J.R.; MENNE, M.J.; PETERSON, T.C.; VOSE, R.S.; ZHANG, H.-M. Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus. **Science**, v.348, p.1469-1472, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaa5632>.
- KLIMATMARKNING FÖR MAT. **Criteria for mitigation of climate impact from food production and distribution**. 2010. Disponível em: <<http://www.klimatmarkningen.se/wp-content/uploads/2009/02/Climate-Certification-of-Food-2010-3.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2019.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. 2nd ed. New York: Taylor & Francis, 2015. p.235-282.
- LOBELL, D.B.; SCHLENKER, W.; COSTA-ROBERTS, J. Climate trends and global crop production since 1980. **Science**, v.333, p.616-620, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1204531>.
- LOBELL, D.B.; SIBLEY, A.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I. Extreme heat effects on wheat senescence in India. **Nature Climate Change**, v.2, p.186-189, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1356>.
- MATSUURA, M.I.S.F.; SCACHETTI, M.T.; CHAGAS, M.F.; SEABRA, J.E.A.; MOREIRA, M.M.R.; BONOMI, A.M.; BAYMA, G.; PICOLI, J.F.; MORANDI, M.A.B.; RAMOS, N.P.; CAVALETT, O.; NOVAES, R.M.L. **RenovaCalc: método e ferramenta para a contabilidade da Intensidade de Carbono de Biocombustíveis no Programa RenovaBio**. [S.l.: s.n.]: 2018. 60p. Nota técnica.
- NAKAI, A.M.; OLIVEIRA, A.F. de; PELLEGRINO, G.Q.; ASSAD, E.D.; MONTEIRO, J.E.B. de A. **Relatório da simulação dos cenários para as principais culturas brasileiras no período 2011 – 2040**: Produto 4. Campinas: [s.n.], 2014. BRA/06/032 – Projeto Brasil Três Tempos. Carta de Acordo nº 25760/2014. Adaptação às mudanças do clima: cenários e alternativas: agricultura.
- NOTARNICOLA, B.; SALOMONE, R.; PETTI, L.; RENZULLI, P.A.; ROMA, R.; CERUTTI, A.K. (Ed.). **Life cycle assessment in the agri-food sector: case studies, methodological issues, and best practices**. London: Springer, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11367-015-0977-5>>. Acesso em: 15 jan. 2019.
- PAUSTIAN, K.; ANDRÉM, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; VAN NOORDWIJK, M.; WOOLMER, P.L. Agricultural soil as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use and Management**, v.13, p.230-244, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1997.tb00594.x>.
- PAUSTIAN, K.; LEHMANN, J.; OGLE, S. ; REAY, D. ; ROBERTSON, G.P. ; SMITH, P. Climate-smart soils. **Nature**, v.532, p.49-57, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature17174>.
- PONISIO, L.C.; M'GONIGLE, L.K.; MACE, K.C.; PALOMINO, J.; DE VALPINE, P.; KREMEN, C. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. **Proceedings of the Royal Society B**, v.282, art.20141396, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>.
- PORTER, J.R.; XIE, L.; CHALLINOR, A.J.; COCHRANE, K.; HOWDEN, S.M.; IQBAL, M.M.; LOBELL, D.B.; TRAVASSO, M.I. Food security and food production systems. In: FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, J.K.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR, T.R.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSE, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. (Ed.). **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects**. Working Group II contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p.485-533.
- QUANTIS. **World Food LCA Database**. Disponível em: <<https://quantis-intl.com/tools/databases/wfldb-food/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- RICHARDS, M. **Measure the Chain: Tools for Assessing GHG Emissions in Agricultural Supply Chains**. [S.l.]: Ceres, 2018. Report by Ceres, CGIAR, CCAFS, CDP.
- SCHEELBEEK, P.F.D.; BIRD, F.A.; TUOMISTO, H.L.; GREEN, R.; HARRIS, F.B.; JOY, E.J.M.; CHALABI, Z.; ALLEN, E.; HAINES, A.; DANGOUR, A.D. Effect of environmental changes on vegetable and legume yields and nutritional quality. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.115, p.6804-6809, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1800442115>.
- SEUFERT, V.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J.A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. **Nature**, v.485, p.229-232, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature11069>.
- SHEFFIELD, J.; WOOD, E.F. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. **Climate Dynamics**, v.31, p.79-105, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-007-0340-z>.
- SMITH, P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H.; CLARK, H.; DONG, H.; ELSIDDIG, E.A.; HABERL, H.; HARPER, R.; HOUSE, J.; JAFARI, M.; MASERA, O.; MBOW, C.; RAVINDRANATH, N.H.; RICE, C.W.; ROBLEDO ABAD, C.; ROMANOVSKAYA, A.; SPERLING, F.; TUBIELLO, F. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: EDENHOFER, O.; PICHES-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; MINX, J.C.; FARAHANI, E.; KADNERM S.; SEYBOTH, K.; ADLER, A.; BAUM, I.; BRUNNER, S.; EICKEMEIER, P.; KRIEMANN, B.; SAVOLAINEN, J.; SCHLÖMER, S.; VON STECHOW, C.; ZWICKEL, T.

(Ed.). **Climate Change 2014**: mitigation of climate change: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p.811-922.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTENKO, O. Agriculture. In: METZ, B.; DAVIDSON, O.; BOSCH, P.; DAVE, R.; MEYER, L. (Ed.). **Climate Change 2007**: mitigation. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg3_full_report-1.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2018.

SMITH, S.J.; EDMONDS, J.; HARTIN, C.A.; MUNDRA, A.; CALVIN, K. Near-term acceleration in the rate of temperature change. **Nature Climate Change**, v.5, p.333-336, 2015. DOI : <https://doi.org/10.1038/nclimate2552>.

TUBIELLO, F.N. MIRELLA SALVATORE; FERRARA, A.F.; HOUSE, J.; FEDERICI, S.; ROSSI, S.; BIANCALANI, R.; CONDOR GOLEC, R.D.; JACOBS, H.; FLAMMINI, A.; PROSPERI, P.; CARDENAS-GALINDO, P.; SCHMIDHUBER, J.; SANZ SANCHEZ, M.J.; SRIVASTAVA, N.; SMITH, P. The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming, 1990–2012. **Global Change Biology**, v.21, p.2655-2660, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12865>.

UNCTAD. United Nations Conference on Trade and Development. **Organic Farming and Climate Change**. Geneva: ITC, 2007. 27p.

UNCTAD. United Nations Conference on Trade and Development. **Trade and Environment Review 2013**: wake up before it is too late: make agriculture truly sustainable now for food security in a changing climate. Geneva, 2013. UNCTAD/DITC/TED/2012/3.

VERMEULEN, S.J.; CAMPBELL, B.M.; INGRAM, J.S.I. Climate Change and Food Systems. **Annual Review of Environment Resources**, v.37, p.195-222, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>.

WALTER, S.; SCHMIDT, M. Carbon Footprints und Carbon Label – eine echte Hilfe bei der Kaufentscheidung? **uwf UmweltWirtschaftsForum**, v.16, p.175-181, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00550-008-0082-3>.

WHEELER, T.; VON BRAUN, J. Climate change impacts on global food security. **Science**, v.341, p.508-513, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1239402>.

WOOLF, D.; AMONETTE, J.E.; STREET-PERROTT, F.A.; LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Sustainable biochar to mitigate global climate change. **Nature Communications**, v.1, art.56, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms1053>.

ZHAO, C.; LIU, B.; PIAO, S.; WANG, X.; LOBELL, D.B.; HUANG, Y.; HUANG, M.; YAO, Y.; BASSU, S.; CIAIS, P.; DURAND, J.-L.; ELLIOTT, J.; EWERT, F.; JANSSENS, I.A.; LI, T.; LIN, E.; LIU, Q.; MARTRE, P.; MÜLLER, C.; PENG, S.; PEÑUELAS, J.; RUANE, A.C.; WALLACH, D.; WANG, T.; WU, D.; LIU, Z.; ZHU, Y.; ZHU, Z.; ASSENG, S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.114, p.9326-9331, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>.
