

A agricultura e sua interpretação dos limites planetários sob aspectos biofísicos e sociais

Agriculture and its interpretation of planetary limits under biophysical and social aspects

La agricultura y su interpretación de los límites planetarios bajo aspectos biofísicos y sociales

 <https://doi.org/10.47456/simbitica.v10i3.39458>

Eliane Alves da Silva

Docente na Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Rondônia. Doutoranda na Escola de Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: eliane.alves.silva@unemat.br; eliane.alves@ufrgs.br

Eugenio Avila Pedrozo (in memoriam)

Professor Titular aposentado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Doutor pelo Institut National Polytechnique de Lorraine.

Tania Nunes da Silva

Professora Titular aposentada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Professora convidada pela Escola de Administração da mesma instituição. Doutora em Sociologia pela Universidade de São Paulo. E-mail: tnsilva@ea.ufrgs.br

RESUMO

A agricultura passou por um processo de industrialização, que incorporou características industriais à produção de alimentos. Isso acarretou impactos ambientais e dependência econômica e produtiva de corporações. Contudo, preocupações sobre a mudança climática levaram alguns agricultores a adotarem o sistema convencional sustentável, que é voltado para uma agricultura orgânica, porém sustentado por selos de certificação ou por sistemas de comércio justo destinados à agroexportação, enquanto a agroecologia propõe questões sobre abastecimento e distribuição de alimentos, acesso à renda, terra, sementes e outros recursos. Nas três situações, ocorrem diferentes interpretações sobre o uso dos recursos do planeta. Por isso, o objetivo do ensaio é o de analisar o uso de recursos do sistema terra em relação a três sistemas agropecuários de produção: convencional (revolução verde), convencional sustentável e agroecologia.

Palavras-chave: agroecologia, economia regenerativa, revolução verde, transgênicos.

ABSTRACT

Agriculture passed through a process of industrialization, which incorporated industrial characteristics into food production. This had environmental impacts and economic and productive dependence on corporations. However, concerns about climate change have led some farmers to adopt the conventional sustainable system, aimed at organic agriculture, but supported by certification seals, or fair-trade systems aimed exportations. While agroecology poses

questions about food supply and distribution, access to income, land, seeds and other resources. In the three situations there are different interpretations about the use of the planet's resources. Therefore, the objective is to analyze the use of land system resources, in relation to three agricultural production systems: conventional (green revolution), sustainable conventional and agroecology.

Keywords: agroecology, regenerative economy, green revolution, GMO.

RESUMEN

La agricultura ha sufrido un proceso de industrialización que ha incorporado características industriales a la producción de alimentos. Esto ha provocado impactos ambientales y una dependencia económica y productiva de las empresas. Sin embargo, la preocupación por el cambio climático ha llevado a algunos agricultores a adoptar el sistema convencional sostenible, orientado a la agricultura ecológica, pero apoyado por sellos de certificación, o sistemas de comercio justo orientados a la agroexportación. La agroecología, por su parte, plantea cuestiones sobre el suministro y la distribución de alimentos, el acceso a los ingresos, la tierra, las semillas y otros recursos. En las tres situaciones hay diferentes interpretaciones sobre el uso de los recursos del planeta. Por lo tanto, el objetivo de este ensayo es analizar el uso de los recursos del sistema terrestre en relación con tres sistemas de producción agrícola: convencional (revolución verde), convencional sostenible y agroecológico.

Palabras clave: agroecología, economía regenerativa, revolución verde, transgênicos.

Introdução

O Antropoceno, caracterizado pela intensa atividade humana, é a era geológica atual (Haldane, 2009). Em 2009, um grupo internacional de cientistas do sistema terrestre, liderado por Johan Rockström e Will Steffen, abordou os resultados da ação humana no ambiente e identificou nove processos críticos, como o sistema climático e o ciclo da água doce, que, juntos, regulam a capacidade da Terra (Raworth, 2018:43).

Em meio a esses nove processos críticos, Charles Mann (2018:125) apresenta um dilema entre os seguidores da ecologia, os quais acreditam na proteção da integridade do ecossistema pelo estudo holístico da rede de interações entre as espécies, e os seguidores da fitopatologia, que acreditam que se deve remover pragas e doenças das plantas, com o objetivo de suprir as necessidades humanas.

A ecologia de Vogt (profeta) e a fitopatologia de Borlaug (mago) norteiam uma discussão sobre como alimentar o mundo de amanhã (Mann, 2018:176-177). Os magos veem uma parte essencial da resposta em uma nova tecnologia baseada em Engenharia Genética, ao passo que os profetas veem o melhoramento genético como a incorporação de uma ideia voltada ao crescimento e à acumulação, a qual levará a humanidade à destruição.

Para fomentar discussões sobre o fornecimento e a produção de alimentos, este ensaio estabelece um quadro de análise integrando o ambiente biofísico e o ambiente social aos três modelos de produção agrícola: o sistema da Revolução Verde, o sistema convencional sustentável e o sistema agroecológico. Por meio de uma análise comparativa, buscou-se explicar e generalizar práticas adotadas, remetendo a um debate acerca dos próprios fundamentos da construção dos três sistemas produtivos (Schneider, Schimitt, 1998:1).

Conforme Durkheim, a comparação serve para conciliar a complexidade e a generalidade da pesquisa social (Schneider, Schimitt, 1998:10). Por isso, foram utilizados autores para a construção do quadro comparativo que discorrem sobre economia (Ostrom, 1999; 2009; 2012; Penrose, 2009; Raworth, 2018), limites planetários (Hoekstra, Wiedmann, 2014; Meadows, 1972; Rockström *et al.*, 2009; Sloatweg *et al.*, 2001; Steffen *et al.*, 2018) e agricultura (Altieri, Nicholls, 2012; Francis, Porter, 2011; Gliessman, 2016; Koohafkan *et al.*, 2011; Martinez-Alier, 2011; Vandermeer, Perfecto, 2016).

Ao analisar as primeiras décadas do último século, no que diz respeito à agricultura, nota-se um aumento de um processo monocultural, consolidado pela ampliação da automação, regularização, comoditização, monetização e quimicalização. A partir disso, incorporou-se o que era feito na indústria à produção de alimentos. Ironicamente, a humanidade transformou o sistema, o que tornou a aquisição de energia mais eficiente, em um sistema que usou mais energia do que produzido, ou seja, de um sistema “produtor de energia” para um sistema “consumidor de energia”

(Martinez-Alier, 2011; Pimentel, Hurb Bellotti, 1973; Pimentel, Pimentel, 1979; Pimentel, Hupperly, Hanson, Douds, Seidel, 2005; Vandermeer, Perfecto, 2016:102).

Seguindo nessa mesma linha de raciocínio, George Lakoff e Mark Johnson (1980) enfatizam as metáforas “bom está em alta” e “bom está em frente”, que estão profundamente enraizadas na cultura ocidental, moldando a maneira como a sociedade pensa e fala (p.36). Para algumas culturas, a ideia de prosperar em equilíbrio é muito mais aceita (Raworth, 2018:47). Conforme Johan Rockström (2009), o “Sistema da Terra serve para apoiar o desenvolvimento humano, sendo necessário seguir para um futuro globalmente sustentável” (Raworth, 2018:49).

Rockström e Steffen alertam que, ao usar fertilizantes químicos, é adicionado 62 milhões de toneladas de nitrogênio e 6 milhões de toneladas de fósforo aos solos da Terra a cada ano (Raworth, 2018:44). Cultivar alimentos nutritivos e suficientes para todos requer alimentos saudáveis e ricos em nutrientes, solos, água doce abundante, culturas biodiversas e um clima estável. Garantir água limpa e segura para beber depende do ciclo hidrológico local para global, gerando chuvas abundantes e recarregando continuamente os rios e aquíferos da Terra. Ter ar limpo para respirar significa interromper as emissões de partículas tóxicas que criam uma poluição (Burke *et al.*, 2017; George, Schillebeeck, 2019; Hoekstra, Wiedmann, 2014:1115; Raworth, 2018:45; Rockström *et al.*, 2009:474; Steffen *et al.*, 2018).

Porém essa ideia de equilíbrio sistêmico ainda não foi acolhida por todos os sistemas produtivos, pois há cerca de um bilhão de famintos no planeta. Todavia, a fome é causada pela pobreza e pela desigualdade, não pela escassez de produção. O mundo já produz alimentos suficientes para alimentar de nove a dez bilhões de pessoas, o pico populacional esperado para 2050. A maior parte das culturas de grãos produzidas industrialmente vai para biocombustíveis e animais confinados (Altieri, Nicholls, 2012:4).

As soluções para a fome e o abastecimento de alimentos precisam levar em conta a distribuição de alimentos e acesso à renda, terra, sementes e outros recursos. A agricultura industrial tem concentração acelerada de terras e recursos nas mãos de poucos, minando a possibilidade de abordar as causas profundas da fome. A concentração da produção global de alimentos sob o controle de algumas corporações transnacionais, amparada por acordos de livre comércio, políticas de ajuste estrutural e subsídios para a superprodução de commodities agrícolas, criou desequilíbrios no comércio de alimentos entre o Norte, países desenvolvidos, e o Sul, países em desenvolvimento. Essa assimetria é caracterizada por dependências de importação que influenciam uma crescente insegurança alimentar em países do Sul Global (Altieri, Nicholls, 2012:6).

Muitos desses “insumos alternativos” tornam-se mercantilizados, portanto os agricultores continuam dependentes de fornecedores de insumos (Rosset, Altieri 1997). Agroecologistas argumentam que sistemas de agricultura orgânica que não desafiam a natureza de monocultura das

plantações e dependem de insumos externos, bem como selos de certificação estrangeiros ou sistemas de comércio justo destinados apenas à agroexportação, oferecem pouco aos pequenos agricultores que, por sua vez, tornam-se dependentes de insumos externos e mercados estrangeiros e voláteis (Altieri, Nicholls, 2012:12).

Por essas razões, a maioria dos agroecologistas reconhece que agroecossistemas tradicionais têm o potencial de trazer soluções para muitas incertezas, enfrentando a humanidade em uma era de pico do petróleo de mudança climática global e crise financeira (Altieri, 2004; Altieri, Nicholls, 2012:7; Toledo, Barrera- Bassols, 2009).

O desafio de alimentar a população mundial deve ser enfrentado usando métodos ecologicamente corretos e tecnologias socialmente equitativos, em um mundo com uma base de terra arável cada vez menor, com petróleo, cada vez mais caro, suprimentos progressivamente limitados de água e nitrogênio, e em um cenário de clima em rápida mudança, agitação social e incerteza econômica (Godfray, *et al.*, 2010). Os únicos sistemas agrícolas que poderão enfrentar os desafios futuros são os sistemas agroecológicos, que apresentam altos níveis de diversidade, integração, eficiência, resiliência e produtividade (Altieri, Nicholls, 2012:9; Holt Gimenez e Patel, 2009).

No que diz respeito aos limites planetários, Rockström *et al.* (2009:473) afirmam que três dos processos do sistema terrestre, a mudança climática, a taxa de perda de biodiversidade e interferência no ciclo do nitrogênio transgrediram os valores aceitáveis de exploração humana. Para os autores, a mudança no equilíbrio desses processos interfere na resiliência dos principais componentes do funcionamento do sistema terrestre.

Ao analisar o uso de recursos do sistema terra em relação a três sistemas agrícolas de produção sustentável: convencional (Revolução Verde), convencional sustentável e agroecologia, espera-se relacionar impactos biofísicos e sociais relacionados a cada um. Embora existam semelhanças entre os sistemas de produção convencional sustentável e agroecológico, o primeiro aceita o uso de insumos moderados e tecnologias para resolver problemas, e isso é refletido em cultivares, lavouras, tamanho de propriedades, forma de comercialização e organização da rede de agricultores, que são diferentes do segundo sistema. Além disso, a visão econômica do sistema convencional sustentável é reformadora, enquanto a do sistema agroecológico é transformadora.

Cada sistema produtivo aqui abordado causa impactos biofísicos e sociais. No campo biofísico, observou-se a fonte de energia primária, fonte nutrientes utilizados no plantio, manejo de pragas, cultivares, lavoura, rotação de corte, número de culturas, tamanho da propriedade, integração entre colheita e criação de animais, nível de biodiversidade da propriedade e resistência do sistema. No campo social, levou-se em consideração a forma de comercialização, fonte de

trabalho, identidade cultural, métodos participativos, organização da rede de agricultores e visão econômica produtiva

Para embasar a discussão, foram elaborados os seguintes tópicos: a influência da visão econômica na agricultura, a agricultura e os limites planetários, a integração dos sistemas biofísico e social na agricultura e considerações finais.

A influência da visão econômica na agricultura

O modelo agrícola da Revolução Verde é o que prevalece na atualidade, resultante de um roteiro neoliberal, que é marcado por dez fatores comentados a seguir. O primeiro é o mercado, o qual é desenhado para agir com a mais completa liberdade. Sobre os negócios, seguiu-se a Filosofia de Milton Friedman, da década de 1970, em que as empresas reúnem trabalho e capital para produzir novos bens e serviços e maximizar seus lucros. As finanças surgem como terceiro fator, guiadas pela “hipótese do mercado eficiente” de Eugene Fama, de 1970, cujo preço dos ativos financeiros sempre reflete totalmente todas as informações relevantes. Portanto, os mercados financeiros estão sempre se ajustando, mas sempre “corretos” e seu bom funcionamento não deve ser distorcido pela regulamentação. Enquanto ao comércio prevalece a Teoria da Vantagem Comparativa do século XIX, em que os países devem se concentrar no que são relativamente bons em fazer e depois negociar. Nessa lógica, as barreiras comerciais devem ser desmanteladas, pois apenas distorcem o funcionamento eficiente do mercado internacional. (Raworth, 2018:59).

O estado, o quinto fator, é visto como “incompetente e intrometido”, pois os economistas dessa corrente acreditam que o governo, ao intervir no mercado, geralmente piora as coisas, distorcendo os incentivos e escolhendo “elefantes brancos em vez de vencedores” (Raworth, 2018:59). O fator família diz respeito aos aspectos internos do país, em que a população é vista como mão de obra e capital para o mercado. Nesse caso, cada um é responsável por cuidar de sua vida, e não se deve esperar que o governo interfira nisso. Os comuns, nessa perspectiva, o que é trágico deve ser vendido. Esse sexto fator surgiu na década de 1960, em que Garrett Hardin descreveu “A Tragédia dos Comuns”, na qual recursos compartilhados, como pastagens e estoques de peixes, tendem a ser muito explorados por usuários individuais e, por conseguinte, esgotados para todos. A gestão sustentável desses recursos exige, então, regulamentação governamental ou propriedade privada (Raworth, 2018:60).

A sociedade, o oitavo fator, é encarado como inexistente, pois, na visão neoliberal, prevalece o individualismo. A terra, nesta perspectiva econômica, é inesgotável. Esse nono fator é interpretado pelo economista laissez-faire Julian Simon na década de 1980. Para Simon e Kahn (1984), se os mercados tiverem permissão para fazer seu trabalho, a escassez de cobre ou petróleo,

por exemplo, aumentará seu preço, estimulando as pessoas a usá-lo com mais moderação, procurar novas fontes e descobrir substitutos. Por fim, o último fator, o poder. Para Friedman (1978), a única economia é o poder para se preocupar. Segundo o autor, a melhor maneira de combater o monopólio é o livre mercado e o livre comércio (Raworth, 2018:60).

De certa forma, esse roteiro neoliberal trouxe algumas contribuições, mas acreditar cegamente nessa perspectiva enquanto se ignora o mundo vivo, a sociedade e o poder descontrolado dos bancos leva o planeta à beira do colapso ecológico, social e financeiro (Raworth, 2018:60). O desenvolvimento econômico global também aumentou o uso dos recursos da Terra pela humanidade, inicialmente impulsionado pelos estilos de vida intensivos em recursos dos países de alta renda de hoje e, mais recentemente, redobrado pelo rápido crescimento da classe média global (Raworth, 2018:41).

Entre 1950 e 2010, a população global quase triplicou de tamanho e o Produto Interno Bruto (PIB) real mundial aumentou sete vezes. Em todo o mundo, o uso de água doce mais que triplicou, o uso de energia aumentou quatro vezes e o uso de fertilizantes aumentou mais de dez vezes (Raworth, 2018:41). Nessa conjectura produtiva, Parmentier (2014) ressalta a influência corporativa sobre políticas que moldam sistemas alimentares. Para o autor, existem privilégios a essas empresas e, para mudar essa realidade, será necessária pressão política (Mendéz, Bacon & Cohen, 2016:15).

Por mais de 70 anos, a economia foi fixada no Produto Interno Bruto (PIB) como sua principal medida de progresso. Essa fixação tem sido usada para justificar desigualdades extremas de renda e riqueza, juntamente com a destruição sem precedentes do mundo vivo. No entanto, para o século XXI, é necessário um objetivo muito maior, que contemple atender aos direitos humanos de cada pessoa dentro dos meios do planeta doador de vida. A autora propõe criar economias “locais para globais” que ajudem a trazer toda a humanidade para o espaço seguro e justo, em vez de buscar um PIB cada vez maior, focando em maneiras de como prosperar em equilíbrio (Raworth, 2018:25).

Donella Meadows, uma das autoras do relatório *Limits to Growth* de 1972, disse ao final dos anos 1990 que “O crescimento é um dos propósitos mais estúpidos já inventados por qualquer cultura”. A autora argumenta que, em resposta ao constante apelo por mais crescimento, deve-se sempre perguntar: “crescimento do que, e por que, e para quem, e quem paga o custo, e por quanto tempo pode durar, e qual é o custo para o planeta e quanto é suficiente?” (Marshall, 1980; Raworth, 2018:37).

Para a cientista oceânica Katherine Richardson (2016), “A humanidade pode afetar o funcionamento de seus próprios sistemas de suporte à vida”. Raworth (2018:47), complementa que, nesse ponto da história, o movimento que melhor descreve o progresso de que se precisa está

relacionado ao equilíbrio dinâmico entre o ambiente e a ação humana, ou seja, de "bom é para frente e para cima" para "bom está em equilíbrio".

Segundo Raworth (2018:61), é preciso repensar os 10 fatores da economia propostos pelo Neoliberalismo. A terra deve ter seus limites respeitados; a sociedade existe, e é fundamental cultivar suas conexões. A economia tem que ser diversificada, e todos os sistemas constituídos devem ser apoiados. No que tange ao fator família, é importante valorizar a contribuição de cada cidadão ao sistema econômico. O mercado deve ser incorporado com sabedoria, evitando, assim, desequilíbrios sociais e naturais.

Os comuns devem ser interpretados conforme a cientista política Elinor Ostrom (1999; 2009; 2012), que percebeu que os bens comuns podem se tornar um triunfo, superando o estado e o mercado na administração sustentável e na colheita equitativa dos recursos da Terra. Para complementar isso, o fator estado é essencial, dado que esse deve ter responsabilidade sobre a gestão de recursos, sejam eles naturais, humanos e financeiros. As finanças estão a serviço da sociedade, e não o contrário disso. Os negócios, além de serem inovadores, devem possuir um propósito. O fator comércio possui dualidades, por isso é importante ficar atento à justiça dos processos envolvidos. E, por fim, o poder, neste caso os abusos, devem ser contidos (Raworth, 2018:62). Dessa maneira, as tradições e as leis, que, anteriormente, eram imutáveis do ponto de vista do cidadão comum, hoje são objeto de exploração e questionamento. A partir de diferentes estruturas de significação podem reconstruir uma velha ordem e colocar uma nova em seu lugar (Holling, Gunderson, 2002:113).

A agricultura e os limites planetários

Em meio a todos esses avanços do pensamento social, um dos principais desafios que a humanidade enfrenta é a superação de três vezes mais dos limites planetários (Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2018). Os caminhos críticos que levam ao colapso envolvem o aquecimento global descontrolado, devido à industrialização intensiva em carbono, ao consumo excessivo de nitrogênio e fósforo e à perda de biodiversidade em grande escala. Um grande número de trabalhos científicos descreve a ligação entre a poluição industrial e os ciclos de retroalimentação autorreforçados que geram emissões adicionais de gases de efeito estufa (George, Merrill, Schillebeeck, 2019:3; Lenton, *et al.*, 2008).

A maioria dos estudos apresentados sugere que uma duplicação de concentração atmosférica de gás carbônico (CO₂) levará a um aumento da temperatura global de cerca de 3 °C, mas estes estudos não incluem processos de longo prazo de retroalimentação, que aquecem ainda mais o clima, como a diminuição da área de superfície de cobertura de gelo ou mudanças na distribuição da

vegetação. Isso ameaçaria os sistemas ecológicos de suporte à vida, o que desafiaria severamente a viabilidade de sociedades humanas contemporâneas (Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2018).

Rockström *et al.* (2009:473) consideram que já se tem evidências de que alguns dos subsistemas da Terra já estão se movendo para fora de seu estado estável. Isso inclui o rápido recuo de gelo do mar no oceano Ártico, o recuo das geleiras de montanha ao redor do mundo, a perda de massa da Groenlândia e da Antártida Ocidental, além das taxas aceleradas de aumento do nível do mar durante os últimos 15 anos. O Quadro 1 ilustra melhor a perspectiva dos autores.

Quadro 1: Limites planetários

Processo do sistema terrestre	Parâmetros	Limite proposto	Status atual	Valor pré-industrial
Alterações Climáticas	(i) Dióxido de carbono atmosférico concentração (partes por milhão por volume)	350	387	280
	(ii) Mudança no forçamento radiativo (watts por metro quadrado)	1	1,5	0
Taxa de perda de biodiversidade	Taxa de perda de biodiversidade	10	>100	0,1-1
Ciclo do nitrogênio (parte de um limite com o ciclo do fósforo)	Quantidade de N2 removida da atmosfera para uso humano (milhões de toneladas por ano)	35	121	0
Ciclo do fósforo (parte de um limite com o ciclo do nitrogênio)	Quantidade de fósforo que flui para os oceanos (milhões de toneladas por ano)	11	8,5-9,5	-1
Destruição do ozônio estratosférico	Concentração de ozônio (unidade Dobson)	276	283	290
Acidificação do oceano	Estado de saturação médio global da aragonita na água do mar de superfície	2,75	2,90	3,44
Uso global de água doce	Consumo de água doce por humanos (km ³ por ano)	4,000	2,600	415
Mudança no uso da terra	Porcentagem da cobertura terrestre global convertida em terras agrícolas	15	11,7	Baixo
Carregamento de aerossol atmosférico	Concentração geral de partículas na atmosfera, em uma base regional		A ser determinado	
Poluição química	Por exemplo, quantidade emitida ou concentração de poluentes orgânicos, plásticos, desreguladores endócrinos, metais pesados e resíduos nucleares no meio ambiente global, ou os efeitos sobre ecossistema e funcionamento do sistema terrestre do mesmo		A ser determinado	

Fonte: Rockström, *et al.*, 2009:473.

No que diz respeito à perda de biodiversidade, mesmo que ocorra localmente, pode ter efeitos generalizados sobre como o sistema terrestre funciona e interage com vários outros limites planetários. A perda de biodiversidade pode aumentar a vulnerabilidade dos ecossistemas terrestres e aquáticos às mudanças no clima e na acidez dos oceanos, reduzindo, assim, os níveis de limite seguro desses processos (Rockström *et al.*, 2009:474).

Do ponto de vista do sistema terrestre, é difícil estabelecer um limite para a biodiversidade. Embora seja aceito que uma rica mistura de espécies sustenta a resiliência dos ecossistemas, pouco se sabe quantitativamente sobre quanto e que tipos de biodiversidade podem ser perdidos antes que

essa resiliência seja corroída. Isto é particularmente verdadeiro na escala da Terra ou para subsistemas principais, como as florestas tropicais de Bornéu ou a Bacia Amazônica. Idealmente, um limite planetário deve capturar o papel da biodiversidade na regulação da resiliência dos sistemas (Rockström *et al.*, 2009:474).

Outro ponto importante que Rockström *et al.* (2009) abordam é a modificação do ciclo do nitrogênio. Os autores consideram o limite da fixação humana de nitrogênio da atmosfera como uma “válvula” gigante que controla um fluxo maciço de novo nitrogênio reativo na Terra. Ressaltam que essa válvula deve conter o fluxo de novo nitrogênio reativo para 25% de seu valor atual, ou cerca de 35 milhões de toneladas de nitrogênio por ano.

Em relação ao fósforo, verifica-se que é um mineral fóssil que se acumula como resultado de processos geológicos. É extraído de rochas e seu uso varia desde a fabricação de fertilizantes à pasta de dente. Cerca de 20 milhões de toneladas de fósforo são extraídas a cada ano e cerca de 8,5 milhões a 9,5 milhões toneladas dele chegam aos oceanos (Rockström *et al.*, 2009:474).

Com base em análises das emissões de nitrogênio e fósforo na água, foram encontrados índices elevados de poluição em cerca de dois terços das bacias hidrográficas do mundo. Para cada tipo de pegada ambiental, existe um nível máximo sustentável, mas definir quantitativamente esses níveis ainda é uma discussão incipiente (Hoekstra & Wiedmann, 2014:1115).

Conforme Hoekstra e Wiedmann (2014:1115), a pegada ecológica de 18,2 bilhões de hectares globais (em 2008) excede o máximo sustentável de 12 bilhões de hectares globais. A pegada de água verde foi estimada em 6700 bilhões de m³ ao ano (média de 1996 a 2005), entretanto não há uma referência para se estabelecer uma comparação. Já a pegada de água azul varia de 1.000 a 1.700 bilhões de m³ ao ano e deve ser comparada a uma pegada de água azul sustentável de no máximo 1.100 a 4.500 bilhões de m³ ao ano.

No que concerne à pegada de água cinza, foi conservadoramente estimado em 1400 bilhões de m³ ao ano, ou seja, em dois terços das bacias hidrográficas do mundo, a capacidade de assimilação de poluição por nitrogênio e fósforo totalmente consumida. A pegada de gás carbônico de 46 a 55, por sua vez, supera em mais de um fator a emissão máxima sustentável estimada de 18 a 25 emissões de CO₂ ao ano. Por fim, a pegada material, estimada em 10,5 toneladas emitidas, em 2008, precisa de uma redução para 8 toneladas para se enquadrar em um nível sustentável (Hoekstra, Wiedmann, 2014:1115).

A entrada no período Antropoceno, que é a primeira época geológica a ser moldada pela atividade humana (Haldane, 2009) e a fase atual a qual se encontra a humanidade, leva a profundas reflexões sobre uso e gestão dos recursos naturais. Em 2009, um grupo internacional de cientistas do sistema terrestre, liderado por Johan Rockström e Will Steffen, abordou essa questão e

identificou nove processos críticos, como o sistema climático e o ciclo da água doce, que, juntos, regulam a capacidade da Terra de manter o Holoceno (Raworth, 2018:43).

A dependência excessiva da agricultura industrial de insumos de nitrogênio e fósforo está envenenando os cursos d'água e ameaçando a segurança alimentar global (Conijn, Bindraban, Schöder, Jongschaap, 2018). A poluição por nitrogênio contribui significativamente para o aquecimento global (Campbell, Hansen, Rioux *et al.*, 2018), exemplificando a inter-relação de fatores ambientais em umnexo complexo (Schillebeeckx, Workman, Dean, 2018). O uso excessivo de fertilizantes químicos, impulsionado, principalmente, por dietas ricas em animais, continua sendo o principal fator de poluição por nitrogênio e fósforo. Como resultado, ocorre uma maior liberação de metano, o que influencia no degelo da calota polar permanente (Dean *et al.*, 2018) e na extinção da floresta boreal (Burke *et al.*, 2017; George, Merrill, Schillebeeck, 2019).

Conforme observado nesse "sistema natural", há muitas funções que fornecem bens e serviços que podem ser utilizados pela sociedade humana. Contudo, não é necessário que todas as funções identificadas de um ecossistema sejam usadas. Outrossim, os ecossistemas podem possuir funções que ainda não foram identificadas. Groot (1992) classifica essas funções ecossistêmicas em quatro categorias: produção, processamento e regulação, transporte, e funções de significação (Slootweg, Vanclay, Schooten, 2001:2).

As funções de produção referem-se à capacidade do meio ambiente para gerar produtos úteis para a humanidade. É feita uma distinção entre a produção natural, funções e produção humana baseada na natureza funções. Já as funções de produção natural incluem produtos que o ambiente natural produz em grande parte por conta própria. Esses produtos podem ser produzidos a curto prazo, por exemplo, lenha, frutas, água de córrego, pesca oceânica, ou por um longo período, como petróleo, minerais, água subterrânea, fóssil. Os primeiros são, muitas vezes, referidos como recursos renováveis naturais, enquanto os últimos são considerados não renováveis (Slootweg *et al.*, 2001:21).

No que compete às funções de produção humana, entende-se que, além de serem baseadas na natureza, referem-se à produção de produtos biológicos pelo ambiente biofísico de maneiras que envolvem manejo ativo e insumos pelas pessoas. Exemplos incluem a maioria dos produtos agrícolas e hortícolas, atividades, plantações florestais e florestas manejadas, viveiros de peixes. Já as funções de processamento e regulação relacionam-se com a manutenção de sistemas de apoio do ecossistema. Geralmente, não são reconhecidas até que sejam perturbadas. Elas se referem à capacidade de ecossistemas de manter ou restaurar o equilíbrio dinâmico dentro do sistema, ou em outros ecossistemas ligados através de processos físicos, biológicos e químicos e interações (Slootweg *et al.*, 2001:21).

Para desfazer os danos causados por práticas sociais e processos históricos que causam a degradação do ambiente planetário, existem as funções de processamento. Elas incluem o sequestro de dióxido de carbono, a diluição de poluentes e a transformação química ativa de substâncias nocivas, como desperdício. Exemplos de funções de regulação incluem: manutenção dos níveis das águas subterrâneas, manutenção da diversidade biológica, proteção contra as forças naturais, proteção costeira por manguezais, proteção contra a radiação cósmica nociva, escudo de ozônio. O armazenamento de água em zonas úmidas é um exemplo de função de regulação para a regulação do fluxo do rio. As funções de transporte estão relacionadas ao espaço ou a um substrato que é adequado para determinadas atividades e para as quais pode haver demanda. A disponibilidade de espaço, juntamente com um conjunto particular de condições ambientais associadas a esse espaço, torna uma área razoavelmente adequada para desempenhar certas funções para os seres humanos (Slootweg *et al.*, 2001:22).

Sobre os três sistemas agrícolas aqui citados, o mais agressivo em relação ao uso do solo e água é o sistema da Revolução Verde. Devido ao seu foco no máximo potencial e expansão da lavoura, esse utiliza fertilizantes e manejo de pragas químicos, além de transgênicos. O sistema convencional sustentável é menos agressivo, pois leva em consideração o uso da matéria orgânica como fontes de nutrientes e utiliza insumos moderadamente, promove a rotação de culturas, reduzindo os impactos no solo, além de não utilizar transgênicos, seu objetivo é estabilizar a produção. O sistema agroecológico, com a intenção de reduzir a migração retira do solo o mínimo necessário. Nesse caso, o nível de biodiversidade e resiliência é alto para fortalecer sua capacidade adaptativa.

Por fim, as funções de significação referem-se aos valores sociais que são atribuídos à própria natureza e a outras características da paisagem, incluindo a paisagem humana construída. A natureza oferece oportunidades para a espiritualidade, enriquecimento, prazer estético, desenvolvimento cognitivo e recreação. Diferente da provisão de espaço físico, como nas funções de transporte, essas funções referem-se ao significado associado ao meio ambiente. Ao identificar as funções, as unidades de medida relevantes podem ser reconhecidas e a tomada de decisão pode ser baseada em uma compreensão mais profunda do papel que o ambiente biofísico desempenha para a sociedade humana (Slootweg *et al.*, 2001:22).

Cada sistema agrícola possui sua forma de comercialização, fonte de trabalho, identidade cultural, métodos participativos, organização da rede de agricultores e sua visão econômica. No sistema da Revolução Verde, prevalece as cadeias longas de produção, em que os agricultores se reúnem por meio de cooperativas para facilitar acesso a terra, insumos e financiamento. O sistema convencional sustentável também utiliza cooperativas, mas para aumentar a conservação ambiental, inovações tecnológicas e intercâmbio de saberes. Sua forma de comercialização abrange cadeias

longas e curtas de produção. O sistema agroecológico trabalha sua rede de agricultores com o intuito de aumentar a solidariedade e intercâmbio de saberes tradicionais para resolver problemas.

Para McAlpine et. al. (2015), as mudanças ambientais obrigarão a ajustes na forma como as sociedades funcionam, forçando os indivíduos a reavaliar os negócios (Barnosky *et al.* 2014; Moore, Nelson, 2010). Para evitar que essas mudanças sejam catastróficas, a comunidade global deve começar a desenvolver alternativas em que a humanidade possa operar dentro dos limites sistemas naturais em rápida mudança e, cada vez mais, variáveis, com ajustes associados nos sistemas sociais.

A integração dos sistemas biofísico e social na agropecuária

A partir das primeiras décadas do último século, juntamente com mudanças nos anos do pós-guerra, a humanidade foi influenciada a utilizar ferramentas agrícolas inspiradas na bem sucedida Revolução Industrial (Hendrickson, James, 2005). Com isso, a produção agrícola passou a ser normatizada, comoditizada, monetizada e quimicalizada. O que se fazia na indústria passou a ser aplicado na agricultura. Desse modo, trabalho humano e processos ecológicos foram substituídos por combustíveis fósseis. No final e, em grande parte, como consequência não intencional, o homem transformou o sistema, o que tornou a aquisição de energia mais eficiente em um sistema que, efetivamente, usou mais energia do que produzido. Passou-se de um sistema “produtor de energia” para um sistema “consumidor de energia” (Martinez-Alier, 2011; Pimentel, Pimentel, 1979; Pimentel, *et al.*, 2005; Vandermeer, Perfecto, 2016:102).

A crise ambiental criada pelo sistema agrícola industrial começou a receber a mesma atenção acadêmica que a mudança climática. Emissões diretas de gases de efeito estufa da agricultura industrial tornaram-se preocupantes (Patel, 2010; Vandermeer, Perfecto, 2016:102). Diante desse cenário, alguns agricultores que administram seus sistemas produtivos seguindo filosofias ou estratégias dessa agricultura industrializada passaram a repensar sua produção por meios convencionais, “sustentáveis”. Nesse caso, os agricultores usam maior eficiência no uso de insumos, há substituição de cultivares ou outros insumos menos dispendiosos ou mais eficazes e redesenho de sistemas para ajudar a atingir seus objetivos (Francis, Porter, 2011:65).

Na agricultura convencional sustentável, são usadas estratégias para aumentar a eficiência e, às vezes, substituir insumos. Essas múltiplas dimensões do sistema agrícola e as muitas e complexas interações entre as práticas agrícolas é típico de agricultores que buscam desenvolver uma agricultura sustentável e, particularmente, aqueles agricultores que buscam a certificação orgânica da produção (Francis, Porter, 2011:65).

A agricultura industrializada provoca aumentos no tamanho e necessidades da propriedade para a eficiência do uso do trabalho, levando à especialização e à monocultura na maioria das operações agrícolas convencionais. Sua principal estratégia é simplificar e homogeneizar o ambiente de produção e controlar o maior número possível de fatores (Meffe, Neilsen, Knight, Schenborn, 2002). A rápida adoção de tecnologias transgênicas, como o milho e a soja resistentes a defensivos agrícolas sintéticos e diversas culturas de espécies com material genético incorporado, simplificaram ainda mais o manejo de ervas daninhas e insetos. No entanto, o uso exclusivo dessa tecnologia acelerou a seleção de plantas daninhas resistentes e insetos (Francis, Porter, 2011:65).

Em contrapartida, o sistema de produção tradicional sustentável introduz rotações de culturas biodiversas e diversidade espacial, incluindo opções para sistemas orgânicos de menor escala que podem ajudar a gerenciar problemas de pragas sem produtos químicos sintéticos (Bird, Grieshop, Hepperly, Moyer, 2009; Liebman, Davis, 2009). Esse é um exemplo da importância dos princípios ecológicos que são necessários no projeto de sistemas agrícolas. Esse modelo de produção redesenha processos, estabelecendo uma rotação que inclui leguminosas e cereais, culturas de verão e inverno, ou pastagens com culturas anuais (Francis, Porter, 2011:65).

Nesse caso, do sistema de produção convencional sustentável, é possível e desejável que a mudança esteja de acordo com os objetivos e filosofia do agricultor e que existam mão de obra, equipamentos e habilidade gerencial para implementar a mudança. Esse tipo de sistema requer muito mais informações, muitas vezes, equipamentos novos ou diferentes e pode ou não precisar de mais mão de obra (Francis, Porter, 2011:66).

Todavia, vale ressaltar que os requisitos para desenvolver uma agricultura sustentável claramente não são apenas biológicos ou técnicos, mas também sociais, econômicos e políticos e ilustram os requisitos necessários para criar uma sociedade sustentável. É inconcebível promover mudanças ecológicas no setor agrícola sem defender mudanças comparáveis em todas as outras áreas inter-relacionadas da sociedade. Nesse contexto, a introdução da agroecologia faz-se importante, pois seu requisito final é um ser humano evoluído e consciente, cuja atitude em relação à natureza é de coexistência, não de exploração. (Altieri, Farrel, 2018:379).

Movimentos camponeses, como a “Via Campesina”, adotaram a agroecologia como estratégia para alcançar a soberania alimentar (Rosset, Torres, 2013). Segundo Méndez *et al.* (2016:16), a auto-organização coletiva e a ação são o que tornam possível ampliar a agroecologia, construir sistemas alimentares locais e desafiar o controle corporativo do sistema alimentar. Para construir um sistema agroalimentar baseado na agroecologia, a adaptação e inovação de tecnologias sustentáveis devem permanecer nas mãos de muitos, não apenas de um pequeno grupo poderoso.

Mas esses argumentos não são novidade, um dos primeiros usos do termo agroecologia foi justamente uma resposta ao uso indiscriminado de insumos provenientes dessas corporações. Em

1930, Basil Bensing, um agrônomo russo, chamou a atenção para a necessidade de cooperação internacional em investigação agroecológica e denominou a ciência por trás dessa investigação como agroecologia (Bensing, 1930). Ele observou que os agricultores, na maioria das vezes, eram convencidos pelas campanhas publicitárias organizadas das grandes empresas que fabricavam tratores, fertilizantes e sementes, sem realmente saber se esses insumos eram apropriados para as condições locais e para atender às necessidades específicas do agricultor (Gliessman, 2016:24).

O mesmo aconteceu com as sementes vendidas por empresas de melhoramento de plantas da época. Atraídos por anúncios que afirmavam que essas novas sementes poderiam ter sucesso em qualquer lugar, os agricultores encomendavam sementes produzidas em um local e sob condições muito diferentes de suas fazendas e, frequentemente, essas empresas também exigiam as máquinas e fertilizantes que são usados para alterar as condições para atender às necessidades das novas sementes. O conhecimento local e a experiência dos agricultores não foram incluídos no desenvolvimento dessa matriz de insumos. Nessa perspectiva, os agricultores são considerados compradores de produtos (Gliessman, 2016:24).

Por um lado, a agroecologia era vista por Bensing como uma forma de gerar informações por meio de o que ele chamou de “pesquisa agroecológica” que ajudaria os agricultores a fazer melhores escolhas sobre o que comprar. Curiosamente, porém, ele também afirmou a necessidade de “regular a compra de fertilizantes, máquinas e sementes, de modo a reduzir o risco para o agricultor”. Ocorre que Bensing também via a agroecologia como uma ciência multidisciplinar, em que todos os fatores que têm influência no desenvolvimento e sucesso de uma cultura devem ser considerados. Para ele, a investigação agroecológica precisava se basear em botânica, melhoramento de plantas, meteorologia, climatologia, ciência do solo e agronomia experimental, em alguns aspectos, fundamentada no conhecimento de todo o ecossistema em que a agricultura ocorre (Gliessman, 2016:24).

Apesar de os esforços de Bensing, em grande parte dos governos, a proposta agroecológica foi reduzida à ecologia de culturas. O foco principal passou a ser o atendimento das necessidades das culturas por meio da modificação ambiental e insumos agrícolas (Gliessman, 2016:24). Porém ocorreram vários experimentos que contrariam os resultados dessa agricultura tecnológica corporativa. Gliessman (2016:28) enfatiza um seminário no México realizado pela organização conhecida como Campos de Agricultores no Plano Chontalpa, em março de 1978. O seminário reuniu Hernández Xolocotzi e seu grupo de pesquisa, além de um crescente grupo de agroecologistas que realizavam estudos sobre Tecnologia de Agricultura Tradicional (TAT). Nesse evento, a agroecologia foi apresentada como um caminho para que os agroecossistemas fossem estudados, preservados, melhorados e ampliados. Ademais, foi feito um forte apelo para que todos os estudos incluíssem a plena participação dos agricultores e suas comunidades para alcançar o

grande número de culturas rurais que estavam sendo rapidamente marginalizado pela Revolução Verde Gliessman (2016:28).

Um dos sistemas agrícolas agroecológicos tradicionais locais mais intensamente estudados foi o consórcio de milho, feijão e abóbora, também conhecido como as “3 Irmãs” (Amador, 1980). Com suas raízes no período pré-hispânico, esse sistema de cultivo de policultura, que era comum em toda América Central e México, foi estudado em fazendas locais, usando sementes e práticas locais, além do conhecimento do agricultor local, cujos resultados são apresentados no Quadro 2 (Gliessman, 2016:28).

Quadro 2: Rendimento de uma policultura de milho-feijão-abóbora em comparação com os rendimentos das mesmas culturas cultivadas como monoculturas em Tabasco, México *

	Monocultura	Policultura
Densidade de milho (plantas/ha)	66,000	50,000
Rendimento de milho (kg/ha)	1230	1720
Densidade de feijão (plantas/ha)	100,000	40,000
Rendimento de feijão (kg/ha)	610	110
Densidade de abóbora (plantas/ha)	7500	3330
Rendimento de abóbora (kg/ha)	430	80
Razão equivalente de terra (LER)		1,77

*Rendimentos de milho e feijão expressos em grãos secos, abóbora como frutas frescas.

Fonte: Gliessman, 2016:29

A pesquisa mostrou que o rendimento do milho pode ser estimulado em até 50% além do rendimento das monoculturas quando plantado com feijão e abóbora, geridas usando práticas tradicionais locais (Amador, Gliessman, 1990). Houve significativa redução de rendimento para as outras duas espécies de culturas associadas, mas os rendimentos totais para as três culturas juntas foram superiores ao que teria sido obtido em uma área equivalente plantada com monoculturas das três culturas. Essa comparação foi feita usando a Razão de Terreno Equivalente (RTE), em que uma razão maior que 1 indica que um sistema de consórcio apresenta vantagem de rendimento distinta em relação às monoculturas de suas culturas componentes (Gliessman, 2016:29; Gliessman 2014; Vandermeer, 1989).

Os princípios agroecológicos assumem diferentes formas tecnológicas dependendo das circunstâncias biofísicas e socioeconômicas de cada agricultor ou região. Um princípio fundamental da agroecologia é a diversificação de sistemas agrícolas, promovendo misturas de culturas variedades, sistemas consorciados, sistemas agroflorestais, integração pecuária, que potencializam os efeitos positivos da biodiversidade na produtividade derivados da efeitos crescentes de complementaridade entre espécies vegetais-animais traduzidas em melhor aproveitamento da luz

solar, água, recursos do solo e regulação natural das populações de pragas (Altieri, Nicholls, 2012:9).

Os sistemas agroecológicos não são intensivos no uso de capital, trabalho ou produtos químicos insumos, mas sim em contar com a eficiência de processos biológicos, como fotossíntese, fixação de nitrogênio, solubilização de fósforo do solo e o aprimoramento de atividade acima e abaixo do solo. As “entradas” do sistema são os processos naturais por si mesmos, é por isso que a agroecologia é chamada de “agricultura de processos” (Altieri, Nicholls, 2012:10).

Koohafkan, Altieri e Gimenez (2011) consideram como requisitos de sistemas agrícolas de base agroecológica: (1) o uso de variedades de culturas locais e melhoradas e raças de gado para aumentar a diversidade genética e melhorar a adaptação às mudanças bióticas e condições ambientais; (2) evitar o uso desnecessário de agroquímicos e de outras tecnologias que acarretam impacto negativo no ambiente e na saúde humana; (3) uso eficiente de recursos (nutrientes, água, energia, etc.), além do uso reduzido de energia não renovável e redução da dependência do agricultor de insumos externos; (4) aproveitar princípios e processos agroecológicos, como ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, alelopatia, controle biológico via promoção de sistemas agrícolas diversificados e aproveitamento da biodiversidade funcional; (5) fazer uso produtivo do capital humano, na forma de recursos tradicionais e conhecimento científico moderno e habilidades para inovar e o uso de capital por intermédio do reconhecimento da identidade cultural, métodos participativos e redes de agricultores para aumentar a solidariedade e o intercâmbio de inovações e tecnologias para resolver problemas; (6). reduzir a pegada ecológica das práticas de produção, distribuição e consumo, minimizando, assim, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e poluição do solo e água; (7) promover práticas que melhorem a disponibilidade de água limpa, sequestro de carbono e conservação da biodiversidade, conservação do solo e da água; (8) capacidade adaptativa aprimorada com base na premissa de que a chave para lidar com mudanças rápidas e imprevisíveis é fortalecer a capacidade de responder adequadamente às mudanças para sustentar um equilíbrio entre adaptabilidade de longo prazo e eficiência de curto prazo; (9) fortalecer a capacidade adaptativa e a resiliência do sistema agrícola ao manter a diversidade do agroecossistema, que não só permite várias respostas às mudanças, mas também garante funções-chave na propriedade; (10) reconhecimento e conservação dinâmica dos sistemas de patrimônio agrícola que permite a coesão social e um sentimento de orgulho e promove um sentimento de pertencimento e redução da migração (Altieri, Nicholls, 2012:13).

Koohafkan *et al.* (2011) avançam em sua análise, aplicando o conjunto de perguntas listadas no Quadro 3 para avaliar o potencial de intervenções agrícolas para lidar com a pressão social, econômica e ecológica. Fica claro que a maioria dos projetos agroecológicos existentes confirma que práticas de gestão estão contribuindo para meios de vida sustentáveis, melhorando o capital

natural, humano, social, físico e financeiro das comunidades rurais alvo (Altieri, Nicholls, 2012:12; Koohafkan *et al.*, 2011:67).

Quadro 3: Um conjunto de perguntas orientadoras para avaliar se os sistemas agrícolas propostos estão contribuindo para a sustentabilidade meios de subsistência.

-
1. Está reduzindo a pobreza?
 2. Baseia-se em direitos e equidade social?
 3. Reduz a exclusão social, principalmente para mulheres, minorias e povos indígenas?
 4. Protege o acesso e os direitos a terra, água e outros recursos naturais?
 5. Favorece a redistribuição (e não a concentração) dos recursos produtivos?
 6. Aumenta substancialmente a produção de alimentos e contribuem para a segurança alimentar das famílias e nutrição?
 7. Melhora o acesso e a disponibilidade de água das famílias?
 8. Regenera e conservam o solo e aumentam (mantêm) a fertilidade do solo?
 9. Reduz a perda/degradação do solo e melhoram a regeneração e conservação do solo?
 10. As práticas mantêm ou melhoram a matéria orgânica e a vida biológica e a biodiversidade do solo?
 11. Previne surtos de pragas e doenças?
 12. Conserva e incentiva a agrobiodiversidade?
 13. Reduz as emissões de gases de efeito estufa?
 14. Aumenta as oportunidades de renda e emprego?
 15. Reduz a variação da produção agrícola em condições de estresse climático?
 16. Aumentam a diversificação e a resiliência das propriedades?
 17. Reduz os custos de investimento e a dependência dos agricultores de insumos externos?
 18. Aumenta o grau e a eficácia das organizações de agricultores?
 19. Aumenta a formação de capital humano?
 20. Contribui para a soberania alimentar local/regional?
-

Fonte: Koohafkan *et al.* (2011:67).

Com base nas questões propostas por Koohafkan *et al.* (2011:67), para que uma estratégia agrícola enquadre-se nos critérios de sustentabilidade, ela deve conter os requisitos básicos de um sistema agrícola viável e durável capaz de enfrentar os desafios do século XXI, cumprindo suas metas produtivas dentro de certos limites em termos de impacto ambiental, níveis de degradação da terra, uso de insumos e energia, emissões de GEE.

Conforme ilustrado na Figura 1, há um limite indicador que se relaciona com o local ou região. Sendo assim, seus valores mudam de acordo com as condições ambientais e socioeconômicas prevalecentes. Dentro na mesma região, os intervalos de valores de limite podem ser os mesmos para uma escala intensiva de grande entrada e um sistema de pequena escala de baixa entrada, pois os rendimentos seriam medidos por unidade de GEE emitido, por unidade de energia ou água utilizada, por unidade de nitrogênio lixiviado. Sem dúvida, a maioria dos sistemas baseados em monoculturas ultrapassará os níveis limiares e, portanto, não serão considerados sustentáveis e impróprios para o fornecimento de alimentos de maneira ecológica e socialmente correta (Altieri, Nicholls, 2012:14; Koohafkan *et al.*, 2011:72).

Figura 1: Um conjunto de perguntas orientadoras para avaliar se os sistemas agrícolas propostos estão contribuindo para a sustentabilidade meios de subsistência



Fonte : Koohafkan *et al.* (2011:72).

Nessa análise, Koohafkan *et al.* (2011:72) segue a mesma linha de raciocínio de Slootweg *et al.* (2001), a qual considera que impactos biofísicos geram impactos sociais, e que as mudanças sociais criam mudanças no ambiente biofísico. No exemplo da Figura 1, os autores consideram cinco classificações de sistemas agrícolas, porém o estilo transgênico está relacionado ao sistema da Revolução Verde. Logo, essas duas classificações poderiam se tornar uma só. Sobre a categoria “outros”, ela poderia ser diluída nas três classificações remanescentes, como: orgânico, Revolução Verde e agroecologia. Assim, facilita a análise que este artigo se propõe a fazer. Até o momento, não há uma estrutura adequada para integrar a avaliação do impacto biofísico e social na agricultura. Por isso, é muito importante estabelecer um instrumento de análise para tal integração, usando o ambiente biofísico, que compreende uma combinação de seres vivos e não vivos, recursos e suas interações, e o ambiente social, que abrange todas as atividades humanas, conhecimentos, crenças e valores.

Quadro 4: Impactos Biofísicos e sociais de 3 sistemas de produção agrícola

Características	Sistema da Revolução Verde	Sistema Convencional Sustentável	Sistema Agroecológico
Impactos Biofísicos			
Fonte de energia primária	Combustíveis fósseis, luz solar e água.	Luz solar e minimizar as perdas de energia, água, nutrientes e recursos genéticos.	Luz solar e minimizar as perdas de energia, água, nutrientes e recursos genéticos.
Fonte de nutrientes	Fertilizantes químicos.	Composto da matéria orgânica (macro e micronutrientes).	Composto da matéria orgânica (macro e micronutrientes).
Manejo de pragas	Aplicações químicas	Rotações de culturas, cultivares resistentes, preparo do solo	Rotação de culturas e adubação verde
Cultivares	Máximo potencial de rendimento, uso de transgênicos.	Rendimento sustentável com insumos moderados, sem transgênicos.	Plantio direto em solo protegido com compostos orgânicos, sem transgênicos.
Lavoura	Tecnologia avançada para o plantio direto com herbicidas químicos.	Plantio para manejo de plantas daninhas.	Plantio adensado com uso criterioso de máquinas.
Rotação de corte	Rotações curtas para maximizar os lucros de duas plantações.	Rotações longas para buscar o manejo de pragas e fertilidade.	Rotações longas para buscar o manejo de pragas e fertilidade.
Número de culturas	Limitado a duas safras	Mistura diversificada de culturas/ animais.	Mistura diversificada de culturas/animais.
Tamanho da propriedade	Grande e ,muitas vezes, tem como objetivo expandir.	Pequeno a moderado, o objetivo é estabilizar a operação.	Pequeno a moderado, com o objetivo de reduzir a imigração.
Integração colheita / animal	Especializado em culturas ou pecuária.	Cultivos e pecuária integrados na propriedade.	Cultivos e animais de pequeno porte ou poucos animais de grande porte integrados na propriedade.
Nível de biodiversidade da propriedade	Baixa, com monoculturas e ciclo de dois anos de rotação.	Moderado a alto, com muitas colheitas e estoque de material orgânico.	Alta, com rotação de culturas, plantio consorciado e reflorestamento.
Resiliência do sistema	Baixa, sujeito a mudanças nos mercados, custos de combustível	Moderada, fonte de renda protegida pela diversidade.	Alta, visa fortalecer a capacidade adaptativa e a resiliência do sistema agrícola.
Impactos Sociais			
Forma de comercialização	Venda para grandes compradores, cadeias longas de produção.	Venda de diversos produtos para compradores grandes e pequenos, cadeias longas e curtas de produção.	Venda de diversos produtos locais para compradores regionais, cadeias curtas de produção.
Fonte de trabalho	Família mais mão de obra contratada para expandir a propriedade.	Família mais mão de obra contratada para serviços especiais.	Família mais contratados da comunidade para serviços especiais.
Identidade Cultural	Coesão social e sentimento de orgulho sobre a propriedade.	Coesão social e um sentimento de orgulho, promovendo práticas socioambientais.	Coesão social e um sentimento de orgulho, promovendo sentimento de pertencimento.
Métodos participativos	Cooperativas e associações agrícolas/financeiras de grandes produtores.	Cooperativas e associações agrícolas/ financeiras para grandes e médios agricultores.	Cooperativas e associações de agricultores familiares, povos tradicionais, comunidades indígenas.
Organização da rede de agricultores	Redes de agricultores para facilitar acesso a terra, à insumos, financiamentos e o intercâmbio de inovações e tecnologias para resolver problemas.	Redes de agricultores para aumentar a conservação ambiental e o intercâmbio de saberes tradicionais, inovações e tecnologias para resolver problemas	Redes de agricultores para aumentar a solidariedade e o intercâmbio de saberes tradicionais para resolver problemas.
Visão econômica produtiva	Economia tradicional (status quo).	Economia sustentável (reformadora).	Economia regenerativa (transformadora).

Fonte: Criado a partir de Francis e Porter (2011:66), Koohafkan *et al.* (2011:66), Sloopweg *et al.* (2001) e Primavesi (2009:14).

O Quadro 4 mostra como a agroecologia utiliza conceitos e princípios ecológicos para a concepção e gestão de agroecossistemas sustentáveis em que insumos são substituídos por processos naturais, como fertilidade natural do solo e controle biológico (Altieri, 1995). A agroecologia aproveita melhor os recursos naturais processos e interações benéficas na propriedade. Os princípios agroecológicos aumentam a biodiversidade funcional, que é parte integrante da manutenção de processos imunológicos, metabólicos e regulatórios do solo (Altieri, Nicholls, 2012:9; Gliessman, 1998; Primavesi, 2009).

A biotecnologia é o uso de processos biológicos para obtenção de novos produtos (Giehl, 2006; Vieira, 2006). Embora seus defensores argumentem que as plantas que produzem são resistentes a muitas pragas e capazes de prosperar em solos pobres em nutrientes, diminuindo, assim, a necessidade de pesticidas e fertilizantes, essa abordagem torna os agricultores, cada vez mais, dependentes das empresas de sementes e produtos químicos. Esses agricultores perdem sua autonomia, seus sistemas de produção passam a ser governados por instituições distantes sobre as quais as comunidades rurais têm pouco controle (Altieri, Farrel, 2018:375).

É justamente no campo das vulnerabilidades locais que a agroecologia possui potencial, pois, ao invés de um conjunto de tecnologias de contexto específico, a agroecologia usa um conjunto de princípios que podem ser localmente disseminados e adaptados a múltiplos contextos. Ela aumenta a produtividade por meio da otimização, diversificando os sistemas de produção, gerando uma variedade de produtos agrícolas adaptados às práticas e às necessidades dos agricultores, bem como processos naturais do ecossistema (Mendéz et. al., 2016:15).

No entanto, agricultores, agrônomos e agências de desenvolvimento tendem a medir o sucesso do desenvolvimento agrícola, principalmente em termos de rendimentos de uma única colheita ou renda. De fato, a Revolução Verde conseguiu aumentar enormemente os rendimentos de grãos básicos e sua disponibilidade a um custo menor para os consumidores (Evenson, Gollin, 2003). Essa noção estreita de produtividade externaliza consequências sociais e ambientais, a exemplo do aumento da desigualdade entre os agricultores, aumento da dívida, migração rural-urbana, contaminação ambiental e baixa diversidade alimentar (Parmentier, 2014). Para aumentar a produção de produtos agroecológicos, é preciso mudar os entendimentos normativos de produtividade para longe da maximização do rendimento e desenvolver métricas para uma análise multidimensional dos benefícios decorrentes da produção agroecológica (Mendéz et. al., 2016:15; Silici, 2014).

Considerações finais

Este ensaio estabeleceu um quadro de análise sobre três sistemas produtivos agropecuários, enfatizando os impactos biofísicos e sociais, levando a uma reflexão sobre como a humanidade se depara com os limites da exploração de uso dos recursos do planeta. Cada sistema compreende uma combinação de seres vivos e não vivos, recursos, atividades humanas, conhecimentos, crenças e valores. Tanto o modelo produtivo da Revolução Verde quanto a agricultura convencional sustentável e a agroecologia são resultantes de como os agricultores enxergam um limite para a quantidade de expansão em um determinado local, em um determinado período e oportunidades produtivas segundo sua visão econômica e social.

Em uma agricultura industrial, o valor é monetário e é criado pela busca de custos, cada vez menores, e vendas de produtos cada vez maiores. Já em uma economia regenerativa, esse fluxo de material é transformado em fluxo circular, além de haver uma transformação na compreensão do valor, em que a riqueza está contida nas pessoas, em suas habilidades individuais e na sua comunidade, em meio a uma biosfera próspera. O sistema agroecológico, por exemplo, segue os preceitos da economia regenerativa.

A mudança de motivação na produção agrícola é real e alcançável, mas virá, primeiramente, por intermédio da crença pessoal do agricultor, que o impulsionará a buscar possíveis soluções para o sistema produtivo adotado. Obviamente, os governos influenciam na escolha de um sistema produtivo e devem estar dispostos a abraçar a mudança e estabelecer políticas públicas e econômicas dentro dos dez fatores da economia revisitados por Raworth (2018), respeitando a terra; a sociedade; uma economia diversificada; a família; reconhecendo o poder do mercado; reconhecendo os bens comuns como um triunfo; reconhecendo a importância de seu papel de estado; admitindo que as finanças devem estar a serviço da sociedade e que os negócios, além de inovadores, devem possuir um propósito; entender que o comércio é dual, e é importante estar atento à justiça dos processos; e, por fim, entender que os abusos de poder devem ser contidos.

Vale ressaltar que a humanidade, durante grande parte sua existência, caracterizou-se por caçadores e coletores. A energia necessária era provida por substâncias adquiridas por via da caça e da coleta diretamente da natureza. A adoção da agricultura possibilitou uma maneira muito mais eficiente de obter essa energia e o ser humano passou a manipular a natureza dentro dos limites das leis ecológicas. Porém, nos anos do pós-guerra, foi adotada uma agricultura industrial, que, ao invés de produzir energia, passou a consumir. Nesse caso, há uma maior eficiência no aspecto biofísico, entretanto, no que diz respeito ao aspecto social, ainda é insuficiente.

Uma agricultura realmente sustentável não depende apenas de aspectos biológicos ou técnicos, mas também sociais. Existem vulnerabilidades locais que a agroecologia pode suprir, por

meio da alta capacidade adaptativa e resiliência do sistema agrícola; venda de diversos produtos locais para compradores regionais, cadeias curtas de produção; emprego no campo evitando o êxodo rural; além de promover coesão social e um sentimento de orgulho e pertencimento.

Cada vez mais, é necessário que os estudos sobre agricultura revisem sistematicamente todas as áreas funcionais e suas inter-relações, identificando metas de sustentabilidade e critérios de desempenho, desenvolvendo a implementação de planos, além de identificar papéis e responsabilidades. A transformação para a sustentabilidade idealmente também incluirá estratégias para envolver a entrada de partes interessadas no projeto de programas de sustentabilidade e a identificação de áreas específicas nas quais os ganhos de sustentabilidade podem ser alcançados para ajudar a atingir objetivos socioeconômicos.

Referências

- AMADOR, Mónica F. (1980), *Comportamiento de Tres Especies (Maiz, Frijol, Calabaza) en Policultivos in la Chontalpa, Tabasco, Mexico*. Professional Thesis. Colegio Superior de Agricultura Tropical, Cárdenas, Tabasco, Mexico.
- AMADOR, Mónica F.; GLIESSMAN, Stephen R. (1990), “An ecological approach to reducing external inputs through the use of intercropping”, in S. R. Gliessman (orgs.). *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. Ecological Studies 78. New York, Springer-Verlag, pp. 146-159.
- ALTIERI, Miguel. A. (2004), “Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture”. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 2, pp. 35-42. [Consult. 20-10-2023]. Disponível em [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0035:LEATFI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2)
- ALTIERI, Miguel. A.; FARRELL, Jhon. G. (2018), *Agroecology: The Science Of Sustainable Agriculture*. (2th. Ed.). Boca Raton, RC Press Taylor & Francis Group.
- ALTIERI, Miguel. A.; NICHOLLS, Clara I. (2012), “Agroecology scaling up for food sovereignty and resiliency”, in E. Lichtfouse (org.). *Sustainable agriculture reviews 11*. New York, Springer Science+Business Media Dordrecht.
- BARNOSKY, Anthony D.; BROWN, James H.; DAILY, Gretchen. C.; DIRZO, Rodolpho; EHRLICH, Anne. H.; EHRLICH, Paul. R.; ERONEN, Jussi T.; FORTELIUS, Mikael; HADLY, Elizabeth A.; LEOPOLD, Estella B.; MOONEY, Harold. A.; MYERS, John P.; NAYLOR, Rosamund. L.; PALUMBI, Stephen; STENSETH, Nils. C.; WAKE, Marvalee H. (2014), “Scientific consensus on maintaining humanity’s life support system in the 21st century: information for policy makers”. *Anthropocene Review*, v.1, pp. 78-109, 2014 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1177/2053019613516290>
- BENSIN, Basil M. (1930), *Possibilities for International Cooperation in Agroecology Investigation*. *International Review of Agriculture*. Part I. Monthly bulletin of agricultural science and practice. The Institute for Agriculture, Rome, v. 21, pp. 277-284.
- BIRD, George. W., GRIESHOP, Matthew; HEPPELRY, Paul; MOYER, Jeff (2009), “Climbing Mt. Organic: An ecosystem approach to pest management”, in Francis, C. A. Ed. *Organic Farming: The Ecological System*. Agron. Monograph 54, Amer. Soc. Agron, Madison, Wisconsin.
- BURKE, Eleanor J.; EKICI, Altug; HUANG, Ye; CHADBURN, Sarah E.; HUNTINGFORD, Chris; CIAIS, Philippe; FRIEDLINGSTEIN, Pierre; PENG, Shushi; KRINNER, Gerhard (2017), “Quantifying uncertainties of permafrost carbon-climate feedbacks”. *Biogeosciences*, v. 14, n. 12, pp. 3051-3066. [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.5194/bg-14-3051-2017>

- CAMPBELL, Bruce M.; HANSEN James; RIOUX Janie; STIRLING Clare M.; TWOMLOW Stephen; WOLLENBERG, Eva (2018), “Urgent action to combat climate change and its impacts (SDG 13): transforming agriculture and food systems”. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v.34, pp.13-20 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.06.005>
- CONIJN, Jacob. G.; BINDRABAN, Prem S.; SCHRÖDER, Jaap J.; JONGSCHAAP, Raymond E. E. (2018), “Can our global food system meet food demand within planetary boundaries?” *Agriculture, Ecosystems & Environment*, n. 251, pp. 244-256 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.001>
- DEAN, Joshua F.; MIDDELBURG, Jack. J.; RÖCKMANN, Thomas; AERTS, Rien; BLAUW, Luke G.; EGGER, Matthias; JETTEN, Mike S. M.; de JONG, Anniek E. E.; MEISEL, Ove H.; RASIGRAF, Olivia; SLOMP, Caroline P.; in't Zandt, Michiel H.; DOLMAN, Han, A. J. et al. (2018), “Methane feedbacks to the global climate system in a warmer world”. *Reviews of Geophysics*, v. 56, n. 1, pp. 207-250 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1002/2017RG000559>
- FRANCIS, Charles. A.; PORTER, Paul (2011), “Ecology in Sustainable Agriculture Practices and Systems”. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 30, n. 1-2, pp. 64-73 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554353>
- FRIEDMAN, Milton (1996), *The Role of Government in a Free Society*. Lecture given at Stanford University [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://searchworks.stanford.edu/view/9333715>
- GEORGE, Gerard; MERRILL, Ryan K.; SCHILLEBEECKX, Simon J. D. (2019), “Digital Sustainability and Entrepreneurship: How digital innovations are helping tackle climate change and sustainable development”. *Entrepreneurship Theory and Practice*, pp. 1-28 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1177/1042258719899425>
- GIEHL, Germano (2006), “A biotecnologia e segurança dos alimentos transgênicos”. *Revista Âmbito Jurídico*, v. 23, n. 5, pp. 180-189 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://ambitojuridico.com.br/edicoes/revista-31/a-biotecnologia-e-a-seguranca-de-alimentos-transgenicos/>
- GLIESSMAN Stephen R. (1998), *Agroecology: ecological process in sustainable agriculture*. Michigan, Ann Arbor Press.
- GLIESSMAN Stephen R. (2014), *Field and Laboratory Investigations in Agroecology*. 3th. Ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group.
- GLIESSMAN Stephen R. (2016), “Roots of resistance to industrialized food systems”, in Méndez, V. E.; Bacon, C. M.; Cohen, R.; Gliessman, S. R. *Agroecology: A transdisciplinary, participatory and action-oriented approach*. Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group, LLC.
- GODFRAY, Charles; BEDDINGTON, John. R.; CRUTE, Ian. R.; HADDAD, Lawrence; LAWRENCE, David; MUIR, James F.; PRETTY, Jules; ROBINSON Sherman; THOMAS, Sandy M.; TOULMIN, Camilla (2010), “Food security: the challenge of feeding 9 billion people”. *Science*, n. 327, pp. 812-818 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- GROOT, Wouter. T. (1992), *Environmental Science Theory: concepts and methods in a one-world, problem-oriented paradigm*. Amsterdam, Elsevier.
- HALDANE, Andrew (2009), *Rethinking the Financial Network*. Speech given at the Financial Student Association, Amsterdam, 28 April 2009. <http://www.bankofengland.co.uk/archive/Documents/historicpubs/speeches/2009/speech386.pd>
- HENDRICKSON, Mary. K.; JAMES, Harvey. S. (2005), “The ethics of constrained choice: how the industrialization of agriculture impacts farming and farmer behavior”. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, n. 18, pp. 269-291 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10806-005-0631-5>
- HOEKSTRA, Arjen Y.; WIEDMANN, Thomas. O. (2014), “Humanity's unsustainable environmental footprint”. *Science*, n. 344, pp. 1114-1117 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1126/science.1248365>

- HOLLING, Crawford S.; GUNDERSON, Lance H. (2002), “Why systems of people and nature are not just social and ecological systems”, in L. H. Gunderson, C. Holling (orgs.). *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Washington, Island Press.
- HOLT-GIMENEZ, Eric; PATEL, Raj (2009), *Food rebellions: the real story of the world food crisis and what we can do about it*. Oxford, Fahumu Books and Grassroots International.
- KOOHAFKAN, Parviz; ALTIERI, Miguel A.; GIMENEZ, Eric. H. (2011), “Green agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems”. *International Journal of Agricultural Sustainability*, n. 10, v. 1, pp. 61-75 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1080/14735903.2011.610206>
- LAKOFF, George; JOHNSON, Mark (1980), *Metaphors we live by*. Chicago, University of Chicago Press.
- LENTON, Timothy. M.; HELD, Hermann; KRIEGLER, Elmar; HALL, Jim. W.; LUCHT, Wolfgang; RAHMSTORF, Stefan; SCHELLNHUBER, Hans J. (2008), “Tipping elements in the earth's climate system”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 6, pp. 1786-1793 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1073/pnas.0705414105>
- LIEBMAN, Matt; DAVIS, Adam S. (2009), “Managing weeds in organic farming systems: An ecological approach”, in Francis, C. A. (org.). *Organic farming: the ecological system*. Agron. Monograph 54, Amer. Soc. Agron, Madison, Wisconsin.
- MANN, Charles. C. (2018), *The wizard and the prophet: two remarkable scientists and their dueling visions to shape tomorrow's world*. New York, Alfred A. Knopf.
- MARSHALL, Alfred. 1890. *Principles of Economics*. London: Macmillan, 1890. Available at <http://www.econlib.org/library/Marshall/marP.html>
- MARTINEZ-ALIER, Joan (2011), “The EROI of agriculture and its use by Via Campesina”. *Journal of Peasant Studies*, n. 38, pp. 145-160 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1080/03066150.2010.538582>
- MCALPINE, Clive A.; SEABROOK, Leonie M.; RYAN, Justin G.; FEENEY, Brian J.; RIPPLE, William J.; EHRLICH, Anne H.; EHRLICH, Paul R. (2015), “Transformational change: creating a safe operating space for humanity”. *Ecology and Society*, v. 20, n. 1 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.5751/ES-07181-200156>
- MEADOWS, Donella *et al.* (1972-2005). *The limits to growth*. New York, Universe Books, and Meadows, D. *et al.* *Limits to growth: the 30-Year Update*. London, Earthscan.
- MEFFE, Gary; NEILSEN, Lary; KNIGHT, Richard L.; SCHENBORN, Dennis (2002), *Ecosystem management: adaptive, community-based conservation*. Washington, D.C, Island Press.
- MÉNDEZ, V. Ernesto; BACON, Christopher M.; COHEN, Roseann (2016), “Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-oriented Approach”, in V. E. Méndez, C. M. Bacon, R. Cohen and S. R. Gliessman (orgs.) *Agroecology: A transdisciplinary, participatory and action-oriented approach*. Boca Raton, Taylor & Francis Group, LLC.
- MOORE, Kathleen D.; NELSON, Michael P. (2010), *Moral ground: ethical action for a planet in peril*. San Antonio, Texas, USA, Trinity University Press.
- OSTROM, Elinor (1999), “Coping with tragedies of the commons”. *Annual Review of Political Science*, 2, pp. 493-535 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1146/annurev.polisci.2.1.493>
- OSTROM, Elinor (2009), “A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems”. *Science*, 325, 419 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- OSTROM, Elinor (2012), *Green from the grassroots*. Project Syndicate, 12 June 2012 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <http://www.project-syndicate.org/commentary/green-from-the-grassroots>
- PATEL, Raj (2010), *Stuffed and starved: markets, power and the hidden battle for the World's food system*. Canada, Harper Collins.
- PARMENTIER, Stéphane (2014), “Scaling up agroecological approaches: What, why and how. Belgium, Oxfam-Solidarity”. *Journal of Peasant Studies*, v. 40, n. 1, pp. 1-63.

- PENROSE, Edith (2009), *The theory of the growth of the firm with a new introduction by Christos N. Pitelis*. 4th. ed. New York, Oxford University Press.
- PIMENTEL, David; HURD, Lawrence E.; BELLOTTI, Anthony. C. et al. (1973), "Food production and the energy crisis". *Science*, v. 182, pp. 443-449 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0573:EEAECO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0573:EEAECO]2.0.CO;2)
- PIMENTEL, David; PIMENTEL, Marcia (1979), *Food, energy and society*. London, Arnold.
- PIMENTEL, David; HUPPERLY, Paul; HANSON, James; DOUDS, David; SEIDEL, Rita (2005), "Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems". *BioScience*, v. 55, pp. 573-582 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0573:EEAECO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0573:EEAECO]2.0.CO;2)
- PRIMAVESI, Ana (2009), *Cartilha do solo como reconhecer e sanar seus problemas*. Fundação Mokiti Okada. Ed. São Paulo, Movimento dos Trabalhadores Sem Terra (MST).
- RAWORTH, Kate (2018), *Doughnut economics a 21st century economist*. Chelsea, Green Publishing Company Illustrated.
- ROCKSTRÖM, Johan; STEFFEN, Will; NOONE, Kevin.; PERSSON, Åsa., CHAPIN, F. Stuart; LAMBIN, Eric; LENTON, Timothy M.; SCHEFFER, Marten; FOLKE, Carl; SCHELLNHUBER, Hans Joachim; NYKVIST, Björn; de WIT, Cynthia. A.; HUGHES, Terry; van der LEEUW, Sander; RODHE, Henning; SÖRLIN, Sverker; SNYDER, Peter. K.; COSTANZA, Robert; SVEDIN, Uno; FOLEY, Jonathan (2009), "Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity". *Ecology and Society*, v. 14, n. 2, pp. 1-32 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- ROSSET, Peter M.; ALTIERI, Miguel (1997), "Agroecology versus input substitution: a fundamental contradiction of sustainable agriculture". *Society and Natural Resources*, v. 10, n. 3, pp. 283-95 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1080/08941929709381027>
- ROSSET, Peter; TORRES, Maria E. (2013), "La vía campesina and agroecology", in *La Vía Campesina. La vía Campesina's open book: celebrating 20 years of struggle* [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <http://viacampesina.org/downloads/pdf/openbooks/EN-12.pdf>
- SCHILLEBEECKX, Simon J. D.; WORKMAN, Mark; DEAN, Charles (2018), "Scarcity in the 21st century: how the resource nexus affects management", in George, G.; Schillebeeckx, S. J. D. (orgs.), *Managing natural resources: organizational strategy, behavior, and dynamics*. Northampton, Edward-Elgar Publishing.
- SCHNEIDER, Sérgio; SCHMITT, Claudia, J. (1998), "O uso do método comparativo nas Ciências Sociais". *Cadernos de Sociologia*, v. 9, pp. 49-87. [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://docplayer.com.br/7557920-O-uso-do-metodo-comparativo-nas-ciencias-sociais.html>
- SIMON, Julian; KAHN, Herman (1984), *The resourceful Earth: a response to Global 2000*. Oxford, Basil Blackwell.
- SILICI, Laura (2014), "Agroecology: what it is and what it has to offer", in IIED Issue Paper. Ed. *Agroecology: what it is and what it has to offer*. London, International Institute for Environment and Development (IIED).
- STEFFEN, Will; ROCKSTRÖM, Johan; RICHARDSON, Katherine; LENTON, Timothy M.; FOLKE, Carl; LIVERMAN, Diana; SUMMERHAYES, Colin P.; BARNOSKY, Anthony D.; CORNELL, Sarah E.; CRUCIFIX, Michel; DONGES, Jonathan F.; FETZER, Ingo; LADE, Steven J.; SCHEFFER, Marten; WINKELMANN, Ricarda; SCHELLNHUBER, Hans Joachim (2018), "Trajectories of the earth system in the Anthropocene". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n. 115, pp. 33, pp. 8252-8259 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- SLOOTWEG, Roel; VANCLAY, Frank; Van SCHOOTEN, Marlies (2001), "Function evaluation as a framework for the integration of social and environmental impact assessment". *Impact Assessment and Project Appraisal*, v. 19, n. 1, pp. 19-28 [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <https://doi.org/10.3152/147154601781767186>
- TOLEDO, Victor M.; BARRERA-BASSOLS, Narciso (2009), *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona, ICARIA Editorial.

Silva, Eliane A. da; Pedrozo, Eugenio A.; Silva, Tania N. da (2023), “A agricultura e sua interpretação dos limites planetários sob aspectos biofísicos e sociais”. *Simbiótica. Revista Eletrônica*, v. 10, n. 3, pp. 31-56.

VANDERMEER, John; PERFECTO, Ivette (2016), “Complexity in tradition and science intersecting theoretical frameworks in agroecological research”, in V. E. Méndez, C. M. Bacon, R. Cohen and S. R. Gliessman. *Agroecology: a transdisciplinary, participatory and action-oriented approach*. Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group, LLC.

VANDERMEER, John (1989), *The Ecology of Intercropping*. New York, Cambridge University Press.

VIEIRA, A. (2006), “Debates atuais sobre a segurança dos alimentos transgênicos e os direitos dos consumidores”. *Revista dos Tribunais*, v. 23, n. 60, p. 37-57, 2006. [Consult. 20-10-2023]. Disponível em <http://bdjur.stj.jus.br/dspace/handle/2011/87036>

Recebido em 27-10-2022

Modificado em 06-06-2023

Aceito para publicação em 12-10-2023