

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas

Experiência brasileira

Vanderlise Giongo
Francislene Angelotti

Editoras Técnicas

Embrapa

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Semiárido
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas

Experiência brasileira

Vanderlise Giongo
Francislene Angelotti

Editoras Técnicas

Embrapa
Brasília, DF
2022

Embrapa Semiárido
Rodovia BR-428, Km 152, Zona Rural
CEP: 56302-970 Petrolina, PE
Fone: +55 (87) 3866-3600
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo
Embrapa Semiárido

Comitê Local de Publicações

Presidente

Nataniel Franklin de Melo

Secretária-executiva

Juliana Martins Ribeiro

Membros

Alineaurea Florentino Silva

Clarice Monteiro Rocha

Daniel Nogueira Maia

Geraldo Milanez de Resende

Gislene Feitosa Brito Gama

José Maria Pinto

Magnus Dall'igna Deon

Paula Tereza de Souza e Silva

Pedro Martins Ribeiro Júnior

Rafaela Priscila Antônio

Sidinei Anunciação Silva

Responsável pela edição

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Coordenação editorial

Carla Alessandra Timm

Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial

Josmária Madalena Lopes

Revisão de texto

Francisca Elijani do Nascimento

Normalização bibliográfica

Márcia Maria Pereira de Souza

Projeto gráfico, diagramação e capa

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Fotos da capa

Magna Soelma Beserra de Moura

1ª edição

Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei n° 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas : experiência brasileira / Vanderlise Giongo, Francislene Angelotti, editoras técnicas. – Brasília, DF : Embrapa, 2022.

PDF (256 p.). : il. color.

ISBN 978-65-89957-12-6

1. Recursos naturais. 2. Agricultura sustentável. 3. Efeito estufa. 4. Políticas públicas. I. Giongo, Vanderlise. II. Angelotti, Francislene. III. Embrapa Semiárido.

CDD 551.68

Márcia Maria Pereira de Souza (CRB-1/1441)

© Embrapa, 2022

Estratégias para sequestro de carbono

Experimentação de modelos

Vanderlise Giongo

Mônica da Silva Santana

Alessandra Monteiro Salviano

Davi José Silva

Tony Jarbas Ferreira Cunha (in memoriam)

Maria Cléa Brito de Figueirêdo

Viviane da Silva Barros

Tatiana Ayako Taura

Introdução

Em razão do crescimento global da demanda por alimentos, está havendo uma pressão sem precedentes sobre os recursos terrestres e hídricos do nosso planeta. Contudo, o potencial de expansão das áreas de cultivo é limitado (Rosa et al., 2020). Assim, os cultivos irrigados sustentáveis se tornam uma estratégia cada vez mais importante para garantir o suprimento de alimentos num momento em que o clima está em mudança. Paralelamente, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018) destacou a necessidade de sequestrar carbono como uma estratégia para evitar o aumento na temperatura global em mais de 1,5 °C em relação aos tempos pré-industriais (Masson-Delmotte et al., 2018). Estima-se que o estoque de carbono orgânico do solo (COS) seja três vezes maior do que o estoque de carbono da atmosfera (Lal, 2018). Nesse sentido, o estoque de COS desempenha papel importante na redução das emissões de gases de efeito estufa, remoção do dióxido de carbono atmosférico, fornecimento de serviços ecossistêmicos e mitigação do clima (Bossio et al., 2020).

No Brasil, a condução da Política Nacional de Irrigação está sob a responsabilidade do Minis-

tério do Desenvolvimento Regional (MDR), que implantou o Programa Nacional de Agricultura Irrigada 2019–2029, com o objetivo de expandir e desenvolver sistemas sustentáveis de cultivos irrigados. Assim, foram estruturados cinco eixos estratégicos: eixo 1 – Incentivo à agricultura irrigada; eixo 2 – Polos de agricultura irrigada; eixo 3 – Melhoria da gestão dos projetos públicos de irrigação; eixo 4 – Implantação de unidades de referência para o desenvolvimento da agricultura irrigada; e eixo 5 – Câmara setorial de irrigação (Boletim Agricultura Irrigada, 2019). Atualmente o País possui 26 polos de irrigação e está entre os 10 maiores irrigantes do mundo. No Semiárido brasileiro, destacam-se três polos de irrigação com monocultivos diversos (Agência Nacional de Águas, 2017). O uso da irrigação em regiões secas pode aumentar a produção agrícola em até 400%, contudo o excesso de água nesses ambientes causa impactos ambientais (Fernández-Cirelli et al., 2009). O efeito combinado da água na irrigação, preparo do solo intensivo e utilização de fertilizantes sintéticos em excesso causa redução substancial de 42% do COS (Giongo et al., 2020). Ademais, promove a salinização do solo e aumenta a escassez de água (Smith et al., 2015; Carneiro et al., 2019), limitando o potencial produtivo dos cultivos.

Nesse sentido, aumentar o teor de COS, por meio de práticas conservacionistas, com a introdução de agroecossistemas multifuncionais, garante a manutenção das múltiplas funções do ecossistema terrestre. Esses sistemas são compostos por uma mistura de espécies para cobertura vegetal que, aliada a práticas de manejo adequadas, como o não revolvimento do solo, permitem um aumento significativo no estoque de COS (Giongo et al., 2020). Além disso, regulam o fluxo de gases de efeito estufa e mitigam o impacto no clima, garantindo uma produção de alimentos sustentável (Lal, 2004; Jónsson et al., 2016).

O presente capítulo apresenta resultados de estudos de dois experimentos de longa duração, que são desenvolvidos há 10 e 8 anos, em área irrigada no Semiárido brasileiro, comparando modelos de agroecossistemas multifuncionais. Neles se utilizaram a redução da intensidade do preparo do solo e o aporte de material orgânico ao solo como estratégias para sequestrar carbono em áreas irrigadas no Semiárido brasileiro, visando à sustentabilidade da produção de frutícolas e olerícolas. Também serão relatados os benefícios advindos da combinação dessas práticas.

Estoque de carbono e a sustentabilidade da produção de alimentos

As estratégias para sequestrar carbono nas áreas agrícolas irrigadas basearam-se em três premissas. A primeira é de que a mudança no uso da terra altera os ciclos de carbono e de outros elementos em escala global com significativas consequências ambientais. Diante disso, faz-se necessário reduzir drasticamente as emissões antropogênicas de carbono (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018). Nesse contexto, o solo é um importante compartimento dreno, visto que possui estoque desse elemento duas vezes superior ao da atmosfera (Lal, 2004).

A segunda premissa baseou-se no fato de a produtividade primária dos sistemas ser dependente da ciclagem de carbono, na qual, pelo processo de mineralização, são liberados nutrientes para que as plantas completem seus ciclos vegetativos e reprodutivos, destacando-se o papel da biota do solo (Janzen, 2006) nesses processos. Da interação entre organismos (plantas e fauna), emergem potencialidades do coletivo, não expressas pela soma das partes. O solo funciona como um microbioma dependente da taxa de adição e decaimento de carbono.

A última premissa, extensivamente relatada pela literatura, é de que a taxa a qual o solo armazena carbono adicional ao seu equilíbrio inicial diminui após algumas décadas e atingirá o ponto de saturação, num novo estado de equilíbrio dinâmico (Sommer; Bossio, 2014; Lal, 2018). Isso significa que o carbono orgânico não aumenta indefinidamente no solo e o tempo para que um novo estado de equilíbrio no ponto de saturação seja alcançado varia muito, dependendo do tipo de solo, clima, taxa de decaimento pré-existente, manejo do solo e das culturas e práticas conservacionistas (Lützow et al., 2006; Poeplau; Don, 2015). O tempo para essa mudança é da ordem de décadas (Sommer; Bossio, 2014; Bossio et al., 2020).

Dessa forma, desenvolver soluções locais é imprescindível para que o sucesso das medidas de mitigação às mudanças do clima e de aumento da produção de alimentos tenham impactos multiescalas (local, regional e mundial). Para trabalhar as premissas, utilizou-se como estratégia aumentar o estoque de carbono no solo, manter e/ou aumentar a produtividade dos agroecossistemas e atingir equilíbrios dinâmicos estáveis de carbono no ponto de saturação por meio de desenhos de agroecossistemas multifuncionais (Figura 1) que aumentassem a adição de carbono ao solo, a ciclagem de nutrientes, a eficiência do uso da água, e que favorecessem o sequestro de carbono no solo até atingir o ponto de saturação estável e dinâmico.



Figura 1. Modelos de agroecossistemas multifuncionais implantados no campo, em escala experimental, com o cultivo de frutícolas (A e B) e olerícolas (C e D).

Espécies de plantas de cobertura indicadas para os modelos de agroecossistemas

Os experimentos de longa duração com os cultivos de manga (*Mangifera indica*) e melão (*Cucumis melo*) começaram em 2009 e 2012, respectivamente. A área, originalmente sob mata nativa tropical seca (vegetação hiperxerófila da Caatinga), foi convertida em agricultura convencional em 1972. Durante 16 anos, foi cultivada com milho (*Zea mays* L.), feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e melancia (*Citrullus lanatus* L.), utilizando preparo convencional do solo (CT), com revolvimento do solo. Em 1988, uma plantação de tamareiras (*Phoenix dactylifera* L.) seguiu por 20 anos. Em adição,

a área do experimento do melão permaneceu mais 2 anos sob pousio e 2 anos com cultivo de feijão-comum, previamente ao estabelecimento do estudo sobre cultivo de melão.

O presente estudo se constitui de dois sistemas de preparo do solo: sistema plantio direto (SPD) e preparo convencional (PC), combinados com três misturas de plantas de cobertura [75% leguminosas + 25% gramíneas e oleaginosas, o que se denominou de coquetel vegetal (CV1), 25% de leguminosas + 75% de gramíneas e oleaginosas (CV2) e vegetação espontânea (VE), que foi utilizada como controle].

Os tratamentos CV1 e CV2 são compostos por 14 espécies, entre elas oleaginosas, gramíneas e leguminosas, mas com diferentes proporções entre as misturas (Giongo et al., 2016; Freitas et al., 2019; Pereira Filho et al., 2019). O tratamento VE é composto principalmente por *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC., *Macroptilium lathyroides* (L.) Urb., *Digitaria bicornis* (Lam.)

Roem. Schult., *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd., *Commelina difusa* Burm. f., *Acanthospermum hispidum* DC., *Euphorbia chamaeclada* Ule, *Waltheria rotundifolia* Schrank, *Waltheria* sp. L., *Tridax procumbens* L., *Ipomoea mauritiana* Jacq., *Ipomoea bahiensis* Willd. Ex Roem. Schult. e *Amaranthus deflexus* L. (Giongo et al., 2020).

No estudo sobre o cultivo de mangueira, as misturas de plantas de cobertura são cultivadas em faixas entre as fileiras de plantio, deixando uma margem livre de 1 m de cada lado das fileiras de mangueiras. Diferentemente, no estudo sobre o cultivo de melão, as espécies são semeadas em área total, 85 a 90 dias antes da semeadura ou transplântio do melão. No SPD, as plantas de cobertura são manejadas com roçadeira manual, no florescimento total da maioria das espécies, 70 dias após a semeadura. No PC, a fitomassa aérea é incorporada com arado de disco até 20 cm de profundidade, seguido de gradagem superficial (Giongo et al., 2020) (Figura 2).

Embora a introdução de biodiversidade por meio do cultivo simultâneo de múltiplas espécies de plantas de cobertura seja uma estratégia para cultivos anuais e perenes, pode ser utilizado um menor número de espécies que as 14 introduzidas neste estudo. De modo geral, é importante incluir uma ou mais espécies de leguminosas e gramíneas. As leguminosas, em razão de sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio e profundidade do sistema radicular, promovem a ciclagem de nutrientes, a continui-

dade de poros e adição de fitomassa à subsuperfície, favorecendo a diversidade e riqueza da fauna edáfica. A principal característica das gramíneas é a maior relação C/N, se comparadas às leguminosas, o que proporciona menor taxa de decomposição dos seus resíduos, aumentando o tempo de permanência no solo. O sistema radicular do tipo fasciculado também favorece a agregação do solo, pois libera exsudatos radiculares em menor área superficial específica. Também se destacam pela capacidade de ciclagem de nutrientes e interações micorrízicas. Recomenda-se a inclusão de uma espécie de oleaginosas, pois elas possuem sistema radicular com potencial de romper camadas compactadas e boa capacidade de ciclar nutrientes em subsuperfície – camadas mais profundas do solo. Algumas espécies, devido ao tamanho e espessura do caule, servem de base para sustentação de espécies de hábito trepadeira.

A quantidade de sementes utilizadas nos coquetéis vegetais varia com o número de espécies selecionado, além das características e qualidade da semente das espécies, conforme exemplificado na Tabela 1.

Potencial de produção de fitomassa aérea – entrada de carbono no sistema solo

Fotos: Vanderlise Giongo



Figura 2. Manejo de plantas de cobertura com roçadeira manual (A) e com grade leve (B) em agroecossistemas multifuncionais em cultivos irrigados.

Tabela 1. Recomendação de densidade de sementes para a semeadura de coquetéis vegetais, em função do número de espécies selecionadas.

Espécie	Nome científico	Peso de 100 sementes (g)	Nº de sementes/m linear	Número de espécies selecionadas													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Oleaginosas																	
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>	6,27	10	12,5	6,3	4,2	3,1	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	0,9
Mamona	<i>Ricinus communis</i>	69,08	10	120	60,0	40,0	30,0	24,0	20,0	17,1	15,0	13,3	12,0	10,9	10,0	9,2	8,6
Gergelim	<i>Sesamum indicum</i>	1	20	4	2,0	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Gramíneas																	
Milho	<i>Zea mays</i>	30	10	60	30,0	20,0	15,0	12,0	10,0	8,6	7,5	6,7	6,0	5,5	5,0	4,6	4,3
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	1	20	4	2,0	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	2,5	20	10	5,0	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
Leguminosas																	
Crotalária-espectábilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	1,71	20	7	3,5	2,3	1,8	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Crotalária-júncea	<i>Crotalaria juncea</i>	4,5	20	18	9,0	6,0	4,5	3,6	3,0	2,6	2,3	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	187	8	250	125,0	83,3	62,5	50,0	41,7	35,7	31,3	27,8	25,0	22,7	20,8	19,2	17,9
Calopogônio	<i>Calopogonium mucunoides</i>	1,28	20	5	2,5	1,7	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Mucuna-preta	<i>Mucuna pruriens</i>	84,45	8	135	67,5	45,0	33,8	27,0	22,5	19,3	16,9	15,0	13,5	12,3	11,3	10,4	9,6
Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	8,5	10	17	8,5	5,7	4,3	3,4	2,8	2,4	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2
Lab-lab	<i>Lablab purpureus</i>	20	20	80	40,0	26,7	20,0	16,0	13,3	11,4	10,0	8,9	8,0	7,3	6,7	6,2	5,7
Mucuna-cinza	<i>Mucuna pruriens</i>	84,45	8	135	67,5	45,0	33,8	27,0	22,5	19,3	16,9	15,0	13,5	12,3	11,3	10,4	9,6

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2005).

Os agroecossistemas multifuncionais que utilizam coquetéis vegetais, independente da proporção de espécies, adicionam aproximadamente o dobro da quantidade de fitomassa aérea ao solo, quando comparados aos agroecossistemas que utilizam como estratégia a manutenção da vegetação espontânea (Tabela 2). Em média, os coquetéis vegetais adicionam, anualmente, 7,82 t ha⁻¹ e a VE 4,15 t ha⁻¹ de fitomassa seca. No entanto, os agroecossistemas com cultivos anuais possuem a capacidade de adicionar maior quantidade de fitomassa quan-

do comparados aos perenes, com médias de 7,58 t ha⁻¹ e 3,76 t ha⁻¹ para os CVs e a VE no cultivo da mangueira, e 8,14 t ha⁻¹ e 4,55 t ha⁻¹ no cultivo do melão. Isso ocorre porque os resíduos dos cultivos anuais permanecerem na área de cultivo, enquanto os restos de poda são retirados da área para a mitigação de doenças nos pomares. Em áreas irrigadas, o manejo do solo não impacta a produção de fitomassa aérea (Tabela 2), independente do tratamento, mas altera a dinâmica de decomposição dos resí-

Tabela 2. Adição de fitomassa aérea ao solo oriunda de plantas de cobertura cultivadas na entrelinha de mangueiras e de plantas de cobertura e resíduos de melão em área total, Petrolina, PE.

Componentes dos agroecossistemas ⁽¹⁾	2009	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Biomassa aérea (Mg ha ⁻¹)									
Mangueira										
Coquetel vegetal										
CV1	6,52 a	10,02 a	8,39 a	10,90 a	9,55 a	7,27 a	5,76 a	5,72 a	7,31 a	5,19 a
CV2	5,99 a	9,89 a	7,82 a	9,26 a	9,48 a	6,97 a	5,21 a	6,33 a	7,61 a	5,61 a
VE	3,12 b	3,67 b	3,52 b	5,82 b	4,42 b	4,8 b	2,85 b	3,52 b	3,22 b	2,66 b
Manejo										
SPD	5,15	8,10	6,33 b	8,98	7,62	6,35	4,83	4,83 b	6,05	4,52
PC	5,26	7,62	6,82 a	8,34	8,02	6,34	4,38	5,55 a	6,04	4,46
CV (%)	18,44	15,7	8,48	15,79	18,81	14,7	18,41	12,75	19,49	7,89
Meloeiro										
Coquetel vegetal										
CV1			9,71 a	7,55 a	8,26 a	6,68 a	6,92 a	8,10	7,81 a	7,07 a
CV2			10,24 a	6,51 a	7,28 a	6,84 a	6,14 a	7,94	7,16 a	5,79 b
VE			5,21 b	3,04 b	3,24 b	3,86 b	4,27 b	7,44	3,88 b	2,26 c
Manejo										
SPD			8,00	5,73	5,74 b	5,32 b	5,64	7,89	6,55	5,19
PC			8,77	5,67	6,79 a	6,27 a	5,91	7,75	6,01	4,89
CV (%)			21,86	18,73	17,14	16,17	11,80	18,01	22,48	17,51

⁽¹⁾CV1: coquetel vegetal composto por 75% leguminosas + 25% gramíneas e oleaginosas; CV2: 25% leguminosas + 75% gramíneas e oleaginosas; VE: vegetação espontânea em dois sistemas de preparo do solo (SPD = sistema plantio direto; PC = preparo convencional).

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Giongo et al. (2020).

duos e, conseqüentemente, a ciclagem de C e nutrientes nos sistemas de produção.

Além da quantidade, a qualidade da fitomassa produzida deve ser analisada. Sobre a qualidade, está consolidado na literatura que a composição química da vegetação altera a taxa de decomposição da fitomassa e o *turnover* de carbono. Porém, não há evidências de que a química da fitomassa das plantas de cobertura possa controlar o estoque de carbono no solo ao longo de décadas (Lützow et al., 2006; Giongo et al., 2020). Assim, o impacto direto sobre o estoque de carbono no solo é relacionado com a quantidade e não a qualidade da fitomassa produzida (Poeplau; Don, 2015). Nesse caso, deve-se priorizar o uso de plantas de cobertura com alto potencial de produção fitomassa, tanto aérea quanto radicular, com uma frequência de cultivo de, pelo menos, uma vez por ano ou ciclo da cultura.

Estoque de carbono no solo

A série histórica de dados de solo e planta pelo modelo matemático RothC 2.3 demonstrou o impacto da mudança do uso da terra e dos agroecossistemas nos estoques de carbono a curto, médio e longo prazos (Giongo et al., 2020). Foi observado que a mudança de uso da terra (Caatinga para cultivo agrícola) associado ao preparo convencional do solo diminuiu os estoques de carbono: de 21,3 Mg C ha⁻¹ sob Caatinga, em 1972, para 8,9 Mg C ha⁻¹ em 2009 (diminuição média de ~0,33 Mg C ha ano⁻¹). Todos os agroecossistemas propostos para o cultivo de mangueira e meloeiro que contemplam o uso de plantas de cobertura e o sistema plantio direto aumentaram os estoques de carbono.

O preparo do solo afetou negativamente os estoques de carbono, com impacto crescente seguindo a ordem dos agroecossistemas: com leguminosas > gramíneas > vegetação espontânea; o cultivo anual (melão) também proporcionou maior impacto negativo que o perene (manga) (Figura 3) (Giongo et al., 2020).

As observações ao longo do tempo e a utilização de modelo matemático preditivo do estoque de

carbono permitiram verificar parte da terceira premissa, de que a taxa de carbono adicional ao seu equilíbrio inicial diminui após algumas décadas (Sommer; Bossio, 2014; Bossio et al., 2020). Nesse sentido, também Poeplau e Don (2015) quantificaram o potencial das plantas de cobertura em aumentar o estoque de carbono no solo e concluíram que 50% do ganho ocorrem nas primeiras duas décadas. No Semiárido brasileiro, de acordo com Althoff et al. (2018) e Araújo Filho et al. (2018), seriam necessários 50 a 80 anos nas atuais condições climáticas para recuperar o estoque de carbono perdido pela mudança de uso para cultivo convencional, utilizando recomposição da vegetação nativa (Caatinga). Nos agroecossistemas multifuncionais irrigados, combinando o uso de plantas de cobertura e sistema plantio direto, podem recuperar o COS em menos da metade desse intervalo de tempo (Giongo et al., 2020). Porém estudos adicionais são necessários para verificar os mecanismos dominantes no processo de estabilização e proteção de carbono em áreas semiáridas irrigadas, definindo o ponto de saturação, num novo estado de equilíbrio dinâmico, para cada tipo de solo.

Benefícios dos agroecossistemas para a produção de alimentos, sequestro de C e mitigação dos efeitos do clima

Qualquer modelo de agroecossistemas poderá ser adotado pelos agricultores, desde que não promova perdas de produtividade, elevação dos custos de produção, resultando em menor lucratividade em relação aos modelos de produção vigentes. Assim, os agroecossistemas propostos têm, na sua multifuncionalidade, a premissa de diminuir a pressão sobre os recursos terrestres e hídricos sem conflitar a produção de alimentos e a lucratividade. Além disso, têm, no sequestro de carbono, uma estratégia para mitigar impac-

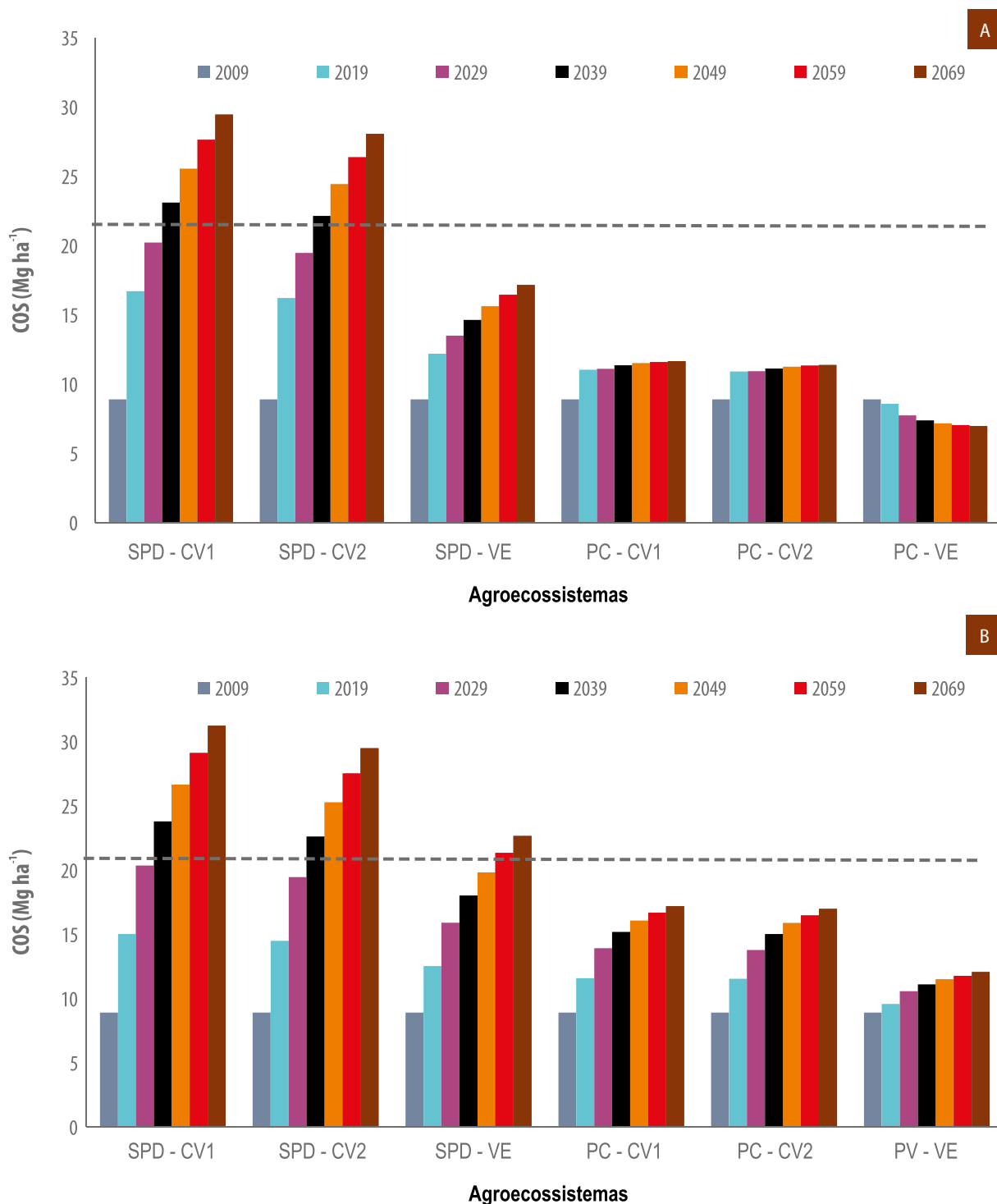


Figura 3. Carbono orgânico do solo (COS) previsto pelo modelo RothC 2.3 em seis modelos de agroecossistemas multifuncionais para o cultivo perene de mangueiras (A) e seis modelos de agroecossistemas multifuncionais para o cultivo anual do meloeiro (B).

CV1: 75% de espécies de leguminosas + 25% de gramíneas/espécies de sementes oleaginosas; CV2: 25% espécies de leguminosas + 75% de gramíneas/espécies de sementes oleaginosas; e VE: vegetação espontânea, em dois sistemas de preparo do solo (SPD = sistema plantio direto; PC = preparo convencional); linha tracejada representa Caatinga em equilíbrio dinâmico em 1972.

Fonte: Adaptado de Giongo et al. (2020).

tos ambientais, como o aumento da temperatura global e a escassez hídrica.

Diversos resultados de pesquisa desenvolvidos com esses agroecossistemas (Santos et al., 2018; Carneiro et al., 2019; Dias et al., 2020; Giongo et al., 2020) mostram que a utilização de plantas de cobertura associado ao sistema plantio direto podem proporcionar boas produtividades (Tabela 3) e lucratividade (Tabela 4) dos cultivos, mitigando alguns indicadores de impacto

ambiental, relacionadas, por exemplo, às pegadas de carbono e hídricas (Tabela 5).

Os modelos de agroecossistemas para cultivo de mangueira que incluíam o cultivo de coquetéis vegetais promoveram aumento da produtividade independente do tipo de manejo do solo utilizado. Apesar de as produtividades alcançadas na produção de manga serem pouco competitivas, quando comparadas com as de escala comercial, destaca-se que a cultivar Kent apresenta particu-

Tabela 3. Produtividade de mangueira e meloeiro em diferentes modelos de agroecossistemas, contemplando coquetéis vegetais e plantas espontâneas, como plantas de cobertura e dois sistemas de manejo de solo, Petrolina, PE.

Componentes dos agroecossistemas ⁽¹⁾	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	(Mg ha ⁻¹)							
Mangueira								
Coquetel vegetal								
CV1			8,38 a		10,63 a	30,69 a	14,42	25,65 a
CV2			8,15 a		7,98 ab	30,07 a	13,52	26,32 a
VE			6,05 b		6,42 b	19,16 b	10,61	17,87 b
Manejo								
SPD			7,80a		7,07 b	26,25a	12,03a	21,45 b
PC			7,25a		9,61 a	27,03a	13,67a	25,11 a
CV (%)			16,55		31,27	14,58	30,78	13,59
Meloeiro								
Coquetel vegetal								
CV1	25,75a	44,89a	36,07a	35,02a	52,73a	31,64a	49,06a	44,10a
CV2	24,81a	47,45a	34,00a	36,64a	55,28a	33,17a	48,13a	45,83a
VE	25,97	40,89	29,93	33,03	58,27	34,96	44,67	47,78
Manejo								
SPD	24,07	40,19 b	31,05	38,21 a	53,35	32,01	48,39	48,40
PC	26,95	48,63 a	35,62	31,59 b	57,50	34,50	46,18	43,41
CV (%)	18,26	17,51	19,77	14,6	14,31	14,3	11,9	20,74

⁽¹⁾CV1: coquetel vegetal composto por 75% leguminosas + 25% gramíneas e oleaginosas; CV2: 25% leguminosas + 75% gramíneas e oleaginosas; VE: vegetação espontânea em dois sistemas de preparo do solo (SPD = sistema plantio direto; PC = preparo convencional).

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Vanderlise Giongo (dados não publicados).

Tabela 4. Custo de produção dos modelos de agroecossistemas de mangueira e meloeiro que utilizam sistema plantio direto e plantas de cobertura (SPD-CV) e sistemas convencional e vegetação espontânea (PC-VE), Petrolina, PE.

Especificação	SPD-CV	PC-VE
Mangueira		
Custo total (US\$/ha)	134.421,00	98.898,53
Receita total (US\$/ha)	338.715,90	240.459,20
Lucro (Receita - Custo) (US\$/ha)	204.294,79	141.560,67
Meloeiro		
Custo total (US\$/ha)	5.894,72	5.617,48
Receita total (US\$/ha)	25.126,46	20.668,47
Lucro (Receita - Custo) (US\$/ha)	19.231,75	15.050,99

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2018) e Dias et al. (2020).

laridades de manejo fitotécnico que precisam ser ajustados. Já para o cultivo de meloeiro, a produtividade aumentou ao longo de 8 anos, independentemente do tipo de cobertura e de manejo do solo, sendo superior as médias regional e nacional, em torno de 25 Mg ha⁻¹ (Tabela 3). Porém, também no melão, observa-se a tendência de que, em alguns anos, os coquetéis vegetais aumentem a produtividade principalmente quando associado ao plantio direto.

A análise econômica realizada pela equipe do projeto mostrou que os agroecossistemas em sistema plantio direto e plantas de cobertura geraram receitas e lucros maiores (44%) que o sistema convencional de manejo (Tabela 4), tanto na mangueira quanto no meloeiro (Santos et al., 2018; Carneiro et al., 2019; Dias et al., 2020). O preparo convencional apresenta custos de manutenção elevados relacionados à mecanização (subsolagem e gradagem) e à fertilização, mas não tem o custo de implantação dos coquetéis vegetais (Tabela 4). Ainda assim, os resultados demonstram que os custos relacionados à aquisição de sementes de plantas de cobertura são compensados pelos maiores rendimentos da cultura, e, a longo prazo, pela diminuição dos custos da aquisição de adubos, principalmente os nitrogenados. No último ciclo de cultivo do melão, a quantidade de adu-

bos nitrogenados, fosfatados e potássicos foi reduzida em 40%, 15% e 50 %, respectivamente, sem redução significativa na produtividade. Mais estudos estão sendo conduzidos de forma a permitir que as recomendações de adubação sejam realizadas em função do balanço de nutrientes no sistema, considerando as entradas pelas plantas de cobertura, a quantidade exportada pelas culturas e o estoque disponível no solo. Isso permitirá aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes, reduzindo os riscos de salinização, de contaminação do solo e dos mananciais, a emissão de gases de efeito estufa, bem como os custos de produção.

Vale ressaltar que, nos anos 2017 e 2019, detectou-se a presença de nematoides nas áreas e mesmo assim as plantas apresentaram bom desempenho produtivo, provavelmente devido ao aumento da qualidade do solo, principalmente da matéria orgânica e da diversidade biológica.

Os agroecossistemas propostos apresentam potencial para reverter totalmente ou parcialmente o impacto da mudança do uso da terra, como o desmatamento na Caatinga e a instalação de sistemas de produção baseados em monocultivos. Entre os benefícios correlatos, comprovou-se diminuição da pegada de carbono, pois sequestra o carbono no solo; da pega-

Tabela 5. Impactos ambientais de produção dos modelos de agroecossistemas de mangueira e meloeiro no sistema plantio direto e plantas de cobertura (SPD-CV) e sistema convencional e vegetação espontânea (PC-VE), Petrolina, PE.

Categoria de impacto	Unidade ⁽¹⁾	SPD-CV	PC-VE
Mangueira			
Pegada de carbono			
Mudança climática	kg CO ₂ eq	-1,30 x 10 ⁻¹	-2,51 x 10 ⁻¹
Pegada hídrica			
Eutrofização em água doce	kg P eq	2,33 x 10 ⁻⁵	1,03 x 10 ⁻⁵
Eutrofização marinha	kg N eq	1,41 x 10 ⁻³	-1,84 x 10 ⁻³
Depleção de água	m ³	1,13 x 10 ⁻¹	7,44 x 10 ⁻¹
Toxicidade humana, câncer	CTUh	8,33x 10 ⁻⁹	1,97 x 10 ⁻⁸
Toxicidade humana, não câncer	CTUh	7,25 x 10 ⁻⁸	2,76 x 10 ⁻⁸
Ecotoxicidade em água doce	CTUe	1,09	6,41 x 10 ⁻¹
Meloeiro			
Pegada de carbono			
Mudança climática	kg CO ₂ eq	515,09	754,11
Pegada hídrica			
Eutrofização em água doce	kg P eq	0.059	0.069
Eutrofização marinha	kg N eq	-0.136	0.895
Depleção de água	m ³	156,49	268,91
Toxicidade humana, câncer	CTUh	2,04 x 10 ⁻⁵	2,50 x 10 ⁻⁵
Toxicidade humana, não câncer	CTUh	7,79 x 10 ⁻⁵	3,34 x 10 ⁻⁴
Ecotoxicidade em água doce	CTUe	2.127,72	5.144,99

⁽¹⁾CTUh: unidade tóxica comparativa para humanos; CTUe: unidade tóxica comparativa de ecotoxicidade.

Fonte: Santos et al. (2018), Carneiro et al. (2019) e Dias et al. (2020).

da hídrica, porque aumenta a eficiência de uso d'água; e do impacto ambiental, uma vez que reduz os processos de lixiviação e adiciona nitrogênio atmosférico por meio da fixação biológica (Tabela 5).

A maior produtividade de água, ou seja, menor quantidade de água utilizada por tonelada produzida, e a menor pegada de carbono, um índice que mede o impacto das atividades do homem sobre a natureza, a partir da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) que elas emi-

tem, permitem considerar os agroecossistemas como mais sustentáveis. Sendo assim, considerados importantes na redução das emissões de gases de efeito estufa e em cenários de redução da disponibilidade hídrica (Santos et al., 2018; Carneiro et al., 2019; Dias et al., 2020).

Os agroecossistemas multifuncionais promovem maior retenção de carbono, água e nutrientes no solo, melhorando as condições ambientais para a fauna edáfica (Freitas, 2018; Pereira Filho et al., 2019). Os agroecossistemas irriga-

dos que utilizam sistema plantio direto e plantas de cobertura (SPD-CV) aumentam a abundância de organismos que vivem no solo em relação aos monocultivos irrigados e superam também a Caatinga, que se encontra em equilíbrio dinâmico (Tabela 6). Em sistema irrigado, com maior oferta de água e alimento, o número de ordens de organismos vivos (riqueza) também tende a aumentar (Tabela 6). Contudo, quando se analisa o índice de diversidade de Shannon, que considera simultaneamente a abundância e riqueza de organismos, observa-se que a biodiversidade encontrada em agroecossistemas se assemelha a da mata nativa (Tabela 6). Isso ocorre devido à presença de ordens raras (exemplo: *Scorpionidea* e *Pseudoscorpiones*), encontradas principalmente em ambientes não perturbados, como a Caatinga.

Os agroecossistemas, por serem compostos por diferentes grupos funcionais de plantas (leguminosas, gramíneas e oleaginosas), apresentam maior dominância dos organismos edáficos (índice de Simpson, Tabela 6). Enquanto a mata nativa (Caatinga), por estar em equilíbrio e estabilidade ambiental, apresenta equidade superior ao monocultivo irrigado e aos agroecossistemas (índice de Pielou, Tabela 6). O índice de Simpson é utilizado em análises quantitativas de comunidades biológicas e fornece a ideia da probabilidade de se coletar aleatoriamente dois indivíduos da comunidade e, obrigatoriamente, pertencerem a espécies diferentes. Já o índice de Equabilidade de Pielou permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes. O uso de maior diversidade de plantas aliada a retenção de carbono no solo aumentou a abundância das ordens edáficas: Hymenoptera, Collembola,

Diptera, Coleoptera e Acari nos agroecossistemas multifuncionais irrigados (Figura 4).

O aumento da produtividade primária líquida nos agroecossistemas irrigados em região semiárida permite melhores condições para promover a biodiversidade da fauna do solo. A fauna edáfica, por sua vez, contribui para a decomposição de resíduos, sequestro de carbono, formação de macro e microagregados, melhorando assim aeração e distribuição de nutrientes no perfil do solo, compondo um círculo virtuoso de mitigação às mudanças do clima e aumento da produção de alimentos.

Considerações finais

Os agroecossistemas multifuncionais, contemplando misturas de plantas, plantio direto, cultivos perenes e anuais, são capazes de aumentar os estoques de carbono no solo em sistemas irrigados de produção, auxiliando na mitigação das mudanças climáticas em escala regional no Semiárido brasileiro. Além disso, o processo de mineralização dos resíduos de fitomassa aportados pelos agroecossistemas disponibiliza nutrientes essenciais para os ciclos vegetativos e reprodutivos das culturas, como meloeiro e mangueira, suportando produtividades competitivas. Vale salientar que o aumento da produtividade não é conflitante com o aumento do estoque de carbono, ocorrendo simultaneamente, já que o solo funciona como um microbioma dependente da taxa de adição e decaimento de carbono, em equilíbrio dinâmico.

Outra vantagem dos agroecossistemas que utilizam simultaneamente o cultivo de plantas de cobertura e os princípios do sistema plantio dire-

Tabela 6. Índices de biodiversidade em agroecossistema multifuncional do meloeiro, em sistema plantio direto e plantas de cobertura (SPD-CV), em Caatinga e monocultivo irrigado, em área de produtor, Petrolina, PE.

Cultivo	Abundância	Riqueza	Shannon	Simpson	Pielou
SPD- CV	235	16	1,41	0,69	0,51
Caatinga	23	10	1,43	0,66	0,62
Monocultivo irrigado	63	7	0,82	0,41	0,42

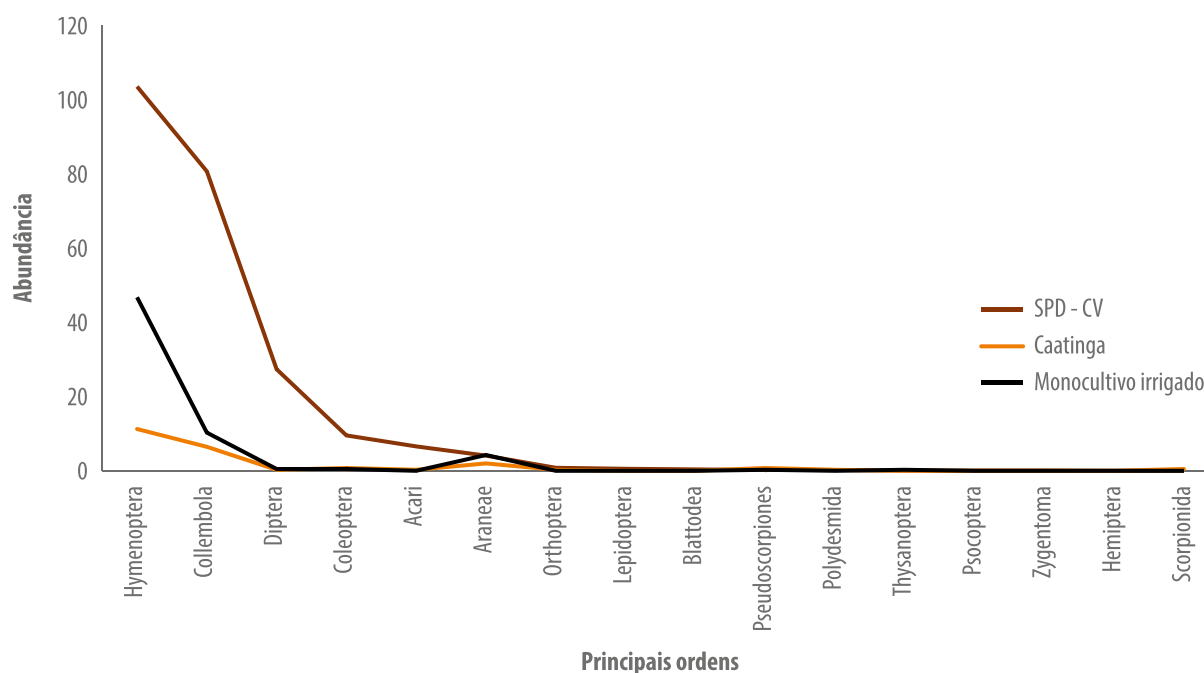


Figura 4. Abundância das ordens encontradas em três diferentes usos na terra no Semiárido brasileiro.

SPD-CV: sistema plantio direto e plantas de cobertura.

to, comprovada por modelos matemáticos preditivos, é o armazenamento de carbono adicional ao seu equilíbrio inicial numa taxa decrescente ao longo do tempo. Valores similares aos encontrados na vegetação remanescente serão alcançados dentro da segunda e terceiras décadas. Também foi observado que a recuperação desse equilíbrio foi bastante rápida, quando comparado ao tempo necessário para recuperar a Caatinga degradada por meio da vegetação remanescente, o que levaria 5 a 8 décadas.

Quanto aos impactos econômicos e ambientais, foi possível observar que os modelos de agroecossistemas geram receitas e lucros maiores em relação ao sistema convencional, e reduções nas pegadas de carbono e hídrica. E, finalmente, o impacto positivo dos modelos dos agroecossistemas sobre a fauna edáfica do solo colabora com a comprovação da multifuncionalidade dessa proposta de produzir alimentos, aumentar a diversidade biológica e sequestrar carbono no solo no Semiárido brasileiro.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas irrigação:** uso da água na agricultura irrigada. Brasília, DF, 2017. 86 p.

ALTHOFF, T. D.; MENEZES, R. S. C.; PINTO, A. S.; PAREYN, F. G. C.; CARVALHO, A. L.; MARTINS, J. C. R.; CARVALHO, E. X.; SILVA, A. S. A.; DUTRA, E. D.; SAMPAIO, E. V. S. B. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 254, p. 26-34, Feb. 2018. DOI: [10.1016/j.agee.2017.11.016](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.016).

ARAÚJO FILHO, R. N.; FREIRE, M. B. G. S.; WILCOX, B. P.; WEST, J. B.; FREIRE, F. J.; MARQUES, F. A. Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. **Forest Ecology and Management**, v. 407, p. 210-220, Jan. 2018. DOI: [10.1016/j.foreco.2017.10.002](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.002).

BOLETIM AGRICULTURA IRRIGADA. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, v. 1, set. 2019. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Boletim_Agricultura-Irrigada_Primeira-Edio_-_Setembro-de-2019.pdf. Acesso em: 24 ago. 2020.

BOSSIO, D. A.; ELLIS, P. W.; FARGIONE, J.; SANDERMAN, J.; SMITH, P.; WOOD, S.; ZOMER, R. J.; UNGER, M. von; EMMER, I. M.; GRISCOM, B. W. The role of soil carbon in natural climate solutions. **Nature Sustainability**, v. 3, p. 391-398, 2020. DOI: [10.1038/s41893-020-0491-z](https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z).

CARNEIRO, J. M. DIAS, A. F.; BARROS, S.; GIONGO, V.; MATSUURA, M. I. S. F.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the

- semi-arid region. The **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, p. 735-752, 2019. DOI: [10.1007/s11367-018-1527-8](https://doi.org/10.1007/s11367-018-1527-8).
- DIAS, A. F.; GIONGO, V.; BARROS, V. S.; CARNEIRO, J. M.; FIGUEIRÉDO, M. C. B. An agile approach for evaluating the environmental-economic performance of cropping systems at experimental stage: the case of Brazilian mango. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, p. 1588-1604, June 2020. DOI: [10.1007/s11367-020-01772-2](https://doi.org/10.1007/s11367-020-01772-2).
- FERNÁNDEZ-CIRELLI, A.; ARUMÍ, J. L.; RIVERA, D.; BOOCHS, P. W. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid regions. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 69, (SUPPL. 1), p. 27-40, 2009.
- FREITAS, M. S. C. **Distribuição da fauna epigeica, ciclagem de nutrientes e carbono do solo em um agroecossistema de mangueira no Semiárido**. 2018. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- FREITAS, M. S. C.; SOUTO, J. S.; GONÇALVES, M.; ALMEIDA, L. E. S.; SALVIANO, A. M.; GIONGO, V. Decomposition and Nutrient Release of Cover Crops in Mango Cultivation in Brazilian Semi-Arid Region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. 1-21, Apr. 2019. DOI: [10.1590/18069657rbcs20170402](https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170402).
- GIONGO, V.; COLEMAN, K.; SANTANA, M. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZVESKI, N.; SILVA, D. J.; CUNHA, T. J. F.; PARENTE, A.; WHITMORE, A. P.; RICHTER, G. M. Optimizing multifunctional agroecosystems in irrigated dryland agriculture to restore soil carbon – Experiments and modelling. **Scienc of the Total Environment**, v. 725, July 2020. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.138072](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138072).
- GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; SANTANA, M. S.; COSTA, N. D.; YURI, J. E. Soil management systems for sustainable melon cropping in the submedian of the São Francisco Valley. **Revista Caatinga**, v. 29, p. 537-547, July/Sept. 2016. DOI: [10.1590/1983-21252016v29n303rc](https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n303rc).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Global Warming of 1.5°C**. 2018. Special Report. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15>. Acesso em: 24 ago. 2020
- JANZEN, H. H. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it ? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 419-424, Mar. 2006. DOI: [10.1016/j.soilbio.2005.10.008](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.10.008).
- JÓNSSON, J. Ö. G.; DAVÍÐSDÓTTIR, B.; JÓNSDÓTTIR, E. M.; KRISTINSDÓTTIR, S. M.; RAGNARSDÓTTIR, K. V. Soil indicators for sustainable development: a transdisciplinary approach for indicator development using expert stakeholders. **Agriculture Ecosystemes Environment**, v. 232, p. 179-189, Sept. 2016. DOI: [10.1016/j.agee.2016.08.009](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.009).
- LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, June 2004. DOI: [10.1126/science.1097396](https://doi.org/10.1126/science.1097396).
- LÜTZOW, M. V.; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; MATZNER, E.; GUGGENBERGER, G.; MARSCHNER, B.; FLESSA, H. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. **European Journal Soil Science**, v. 57, p. 426-445, May 2006. DOI: [10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x).
- MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D.; SKEA, J.; SHUKLA, P. R.; PIRANI, A.; MOUFOUMA-OKIA, W.; PÉAN, C.; PIDCOCK, R.; CONNORS, S.; MATTHEWS, J. B.; CHEN, Y.; ZHOU, X.; GOMIS, M. I.; LONNOY, E.; MAYCOCK, T.; TIGNOR, M.; WATERFIELD, T. Summary for policymakers. Global Warming of 1.5°C. In: AN IPCC SPECIAL Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to IPCC – Sr15, 2018. [S.l.]: IPCC, 2018.
- PEREIRA FILHO, A.; TEIXEIRA FILHO, J.; SALVIANO, A. M.; YURI, J. E.; GIONGO, V. Nutrient cycling in multifunctional agroecosystems with the use of plant cocktail as cover crop and green manure in the semi-arid. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, p. 241-251, Jan. 2019. DOI: [10.5897/AJAR2018.13600](https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13600).
- POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - a meta-analysis. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 200, p. 33-41, Feb. 2015. DOI: [10.1016/j.agee.2014.10.024](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024).
- ROSA, L.; CHIARELLI, D. D.; RULLI, M. C.; ANGELO, J. D.; ODORICO, P. D. Global agricultural economic water scarcity. **Science Advances**, v. 6, n. 18, p. 1-10, Apr. 2020. DOI: [10.1126/sciadv.aaz6031](https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz6031).
- SANTOS, T. L.; NUNES, A. B. A.; GIONGO, V.; BARROS, V. S.; FIGUEIRÉDO, M. C. B. Cleaner fruit production with green manure: The case of Brazilian melons. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 260-270, Apr. 2018. DOI: [10.1016/j.jclepro.2017.12.266](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.266).
- SILVA, M. S. L.; GOMES, T. C. A.; MACHADO, J. C.; SILVA, J. A. M.; CARVALHO, N. C. S.; SOARES, E. M. B. **Produção de fitomassa de espécies vegetais para adubação verde no Submédio São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2005. (Embrapa Semi-Árido. Instruções técnicas, 71).
- SMITH, P.; COTRUFO, M. F.; RUMPEL, C.; PAUSTIAN, K.; KUIKMAN, P. J.; ELLIOTT, J. A.; MCDOWELL, R.; GRIFFITHS, R. I.; ASAKAWA, S.; BUSTAMANTE, M.; HOUSE, J. I.; SOBOCKÁ, J.; HARPER, R.; PAN, G.; WEST, P. C.; GERBER, J. S.; CLARK, J. M.; ADHYA, T.; SCHOLE, R. J.; SCHOLE, M. C. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils. **SOIL**, v. 1, n. 2, p. 665-685, 2015. DOI: [10.5194/soil-1-665-2015](https://doi.org/10.5194/soil-1-665-2015).
- SOMMER, R.; BOSSIO, D. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. **Journal of Environmental Management**, v. 144, p. 83-87, Nov. 2014. DOI: [10.1016/j.jenvman.2014.05.017](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.017).