

Fotos: Ana Paula Dias Turetta



## Seleção de Indicadores de Serviços Ambientais no Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais da Embrapa

Ana Paula Dias Turetta<sup>1</sup>; Débora Veiga Aragão<sup>2</sup>; Steel Silva Vasconcelos<sup>3</sup>; André Júlio do Amaral<sup>4</sup>; Rachel Bardy Prado<sup>5</sup>; Luís de França da Silva Neto<sup>6</sup>; Aline Pacobahyba de Oliveira<sup>7</sup>; Luciano Mansor de Mattos<sup>8</sup>; Fábio Bueno dos Reis Júnior<sup>9</sup>; Balbino Antonio Evangelista<sup>10</sup>; Eloisa Aparecida Belleza Ferreira<sup>11</sup>; Ozanival Dario Dantas da Silva<sup>12</sup>; Juliana Feitosa Felizzola<sup>13</sup>; Rafael Gonçalves Tonucci<sup>14</sup>; George Correa Amaro<sup>15</sup>; Marcelo Francia Arco-Verde<sup>16</sup>.

### Introdução

De acordo com Millennium Ecosystem Assessment (2005), os serviços ecossistêmicos (SE) são “os benefícios que o ser humano obtém dos ecossistemas”. O relatório da FAO “State of Food and Agriculture”, de 2007, adota o termo serviços ambientais (SA) especificamente para um subconjunto de serviços ecossistêmicos, caracterizados como externalidades. O relatório empresta o conceito de externalidade dos economistas, com o significado de consequências não planejadas (ou não intencionais), positivas ou negativas, de uma atividade fim, como a produção de alimentos, por exemplo. Destaca, ainda, que os afetados por tais consequências não intencionais

não podem influenciar sua produção. Vários dos serviços ecossistêmicos são gerados como essas externalidades positivas, e não como um fim em si, como é a produção de alimentos, mas consequências não intencionais (a manutenção da qualidade da água e do solo, beleza cênica e a preservação de determinadas espécies). Assim, estes serviços que o ecossistema provê como externalidades de outras atividades são designados “serviços ambientais” pela FAO (2007), conceito também utilizado nesta publicação.

O projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais é coordenado pela Embrapa Cerrados, pertence à carteira de projetos do Macroprograma 2 (MP2), no período entre 2014 e 2017. O projeto tem

<sup>1</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ; <sup>2</sup> Engenheira Florestal, doutora em Ciências Agrárias, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA; <sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Recursos e Conservação Florestal, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA; <sup>4</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos-UEP, Recife, PE; <sup>5</sup> Bióloga, doutora em ciências da Engenharia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ; <sup>6</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos-UEP, Recife, PE; <sup>7</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ; <sup>8</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Desenvolvimento Econômico, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF; <sup>9</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF; <sup>10</sup> Geógrafo, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO; <sup>11</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF; <sup>12</sup> Graduado em Ciência da Computação, mestre em Engenharia Elétrica e de Computação, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF; <sup>13</sup> Nutricionista, doutora em Química, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. <sup>14</sup> Zootecnista, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, CE; <sup>15</sup> Administrador com Hab. em Sistemas de Informação, pesquisador da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR; <sup>16</sup> Engenheiro Florestal, doutor em Sistemas Agroflorestais, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

como objetivo gerar e validar instrumentos e metodologias para apoiar políticas públicas de incentivo à adoção de Sistemas Produtivos Integrados (SPIs) com capacidade de geração de renda e prestação de serviços ambientais em escala de paisagem rural. O projeto tem atuação em áreas piloto que estão distribuídas em quatro biomas, a saber: Mata Atlântica (município de Bom Jardim, RJ), Cerrados (Distrito Federal), Caatinga (municípios de Inhamuns e Crateús, CE) e Amazônia (municípios de Tomé Açu e Igarapé Açu, PA).

Para atingir seu objetivo, o projeto está estruturado em sete planos de ação (PAs), sendo um deles o PA 4, destinado à validação científica de indicadores de serviços ambientais. Esse plano de ação agrupa atividades relacionadas a indicadores de solo, físico-hídricos e biomassa, e também promove algumas atividades específicas para a discussão do grupo acerca de definições de amostragem dos indicadores e métodos a serem utilizados, dentre outros. O objetivo principal desse PA é levantar e analisar indicadores de serviços ambientais prestados por SPIs para subsidiar políticas de pagamento indireto de serviços ambientais integradas via rebate ecológico do crédito rural e compra de alimentos com preços diferenciados.

Tendo em vista esse objetivo, a primeira etapa do PA 4 foi a realização de uma oficina metodológica para o alinhamento do grupo e discussão sobre os indicadores mais apropriados ao projeto. A lista de participantes dessa oficina é apresentada no Anexo do documento.

Os trabalhos foram encaminhados de forma a serem geradas orientações gerais, que contemplaram as áreas de atuação do projeto com suas especificidades, de modo a definir os indicadores e os padrões de amostragem.

Assim, o objetivo do presente documento é apresentar a dinâmica de seleção dos parâmetros de solo que serão considerados indicadores no contexto do projeto para que possa ser replicada em outros contextos. Posteriormente, quando os resultados forem gerados e analisados, serão organizadas publicações técnico-científicas mais específicas sobre os indicadores e propostas de monitoramento de serviços ambientais em sistemas agrícolas em transição produtiva.

## Seleção dos indicadores

Considerando o objetivo do projeto, foram selecionados os seguintes critérios para a seleção dos indicadores de solo, físico-hídricos e biomassa:

- Serem reconhecidamente capazes de apontarem os impactos de diferentes sistemas de produção no provimento de serviços ambientais;
- Serem de baixo custo, fácil aquisição e medição, com significado prático que facilita sua interpretação e compreensão por parte do público-alvo (tomadores de decisão e produtores).

O uso crescente de avaliações de serviços ambientais na agricultura traz a necessidade de parâmetros que possam ser utilizados como indicadores capazes de avaliar de forma eficiente o comportamento desses sistemas na provisão de SA. Muitas abordagens têm sido consideradas, conforme estudado em Heink e Kowarik (2010); Parron et al. (2015); Williams e Hedlund (2014) e Zhen e Routray (2003).

A Tabela 1 apresenta as categorias de indicadores (solos, físico-hídrico e biomassa) e os indicadores selecionados como os mais adequados para a avaliação de serviços ambientais em sistemas agrícolas.

## Diretrizes gerais para a amostragem dos indicadores de serviços ambientais

Nas áreas piloto em todos os biomas, os indicadores de solos, físico-hídricos e biomassa serão determinados em quatro tipos de áreas (tratamentos) denominados de: referência, convencional, exitosa e implementada<sup>1</sup>. A distribuição dos tratamentos em cada bioma está apresentada na Tabela 2.

**Indicadores da categoria Solos:** granulometria, fertilidade de rotina, avaliação de agregados, estabilidade de agregados e enzimas.

- Para as análises de fertilidade de rotina, granulometria e enzimas, a coleta de solos ocorrerá em 10 pontos com o trado ao longo de um transecto que formará uma amostra composta deformada (serão coletadas 3 amostras compostas para cada área, com exceção do Bioma Amazônia que serão 4 amostras);

<sup>1</sup> De acordo com a definição considerada pelo projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais, a área de referência é aquela que representa a vegetação nativa da área de estudo; convencional é uma área onde o uso agrícola ocorre sem aplicação de técnicas conservacionistas de manejo do solo; exitosa, áreas agrícolas existentes que já incorporaram técnicas conservacionistas de solo e água; implementada, desenho de SPI a ser implementado pelo projeto nas áreas de estudo.

**Tabela 1.** Indicadores (por categorias) selecionados para a avaliação de serviços ambientais em sistemas agrícolas no projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais.

Categoria	Indicador	Método
Solos	Espessura do horizonte A	Avaliação visual do perfil do solo, por meio de abertura de minitrincheira (1,0 m de comprimento x 0,6 m de largura x 1,0 m de profundidade)
Solos	Granulometria <sup>1</sup>	Claessen (1997)
Solos	Fertilidade de rotina <sup>2</sup>	Claessen (1997)
Solos	Avaliação de agregados	Método perceptivo no campo (BALL et al., 2007)
Solos	Estabilidade de agregados	Claessen (1997)
Solos	Enzimas ( $\beta$ -glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida) <sup>3</sup>	Tabatabai (1994)
Físico-hídrico	Densidade do solo	Relação massa: volume (CLAESSEN, 1997)
Físico-hídrico	Densidade de partículas	Balão volumétrico, álcool etílico (CLAESSEN, 1997)
Físico-hídrico	Porosidade total, macro e micro	Mesa de tensão (CLAESSEN, 1997)
Físico-hídrico	Curva de retenção de água	Método da centrífuga
Físico-hídrico	Infiltração / Condutividade hidráulica insaturada	Medição em campo na superfície do solo utilizando minidisco infiltrômetro (ZHANG, 1997)
Físico-hídrico	Resistência mecânica a penetração	Medição em campo utilizando penetrômetro eletrônico, penetrológ PLG 1020
Físico-hídrico	Teor de água atual no solo	Método gravimétrico. Coleta de amostra deformada no campo, relação entre massa de água e massa de solo seco (CLAESSEN, 1997)
Biomassa	Carbono orgânico total	

<sup>1</sup> Será realizada apenas na primeira coleta, pois não é um indicador. É um parâmetro que ajuda na interpretação dos outros indicadores e com pouca variação a curto/médio prazo.

<sup>2</sup> pH em água, macronutrientes, CTC, saturação de bases, soma de bases, saturação por Al, relação Ca/Mg e relação Mg/K.

<sup>3</sup> Não pode ser considerado um indicador simples e barato, como preconiza o projeto. No entanto, foi incluído para validar as respostas dadas pelos outros indicadores.

**Tabela 2.** Distribuição dos tratamentos de acordo com os biomas.

Biomassas/ Tratamentos*	Referência	Convencional	Exitosa	Implementada	Total
Mata Atlântica	1	1	2	2	6
Amazônia	2	3	3	3	11
Caatinga	1	1	3 (16 trat)	6	6
Cerrado	3	3	6	2	14

\* Em cada tratamento serão realizadas ao menos 3 repetições para cada amostragem, sendo cada repetição representada por um transecto para a coleta de amostras para determinação de indicadores de solos. Por motivo de extensão das áreas e para melhor representatividade, no bioma Amazônia serão adotadas 4 repetições para cada amostragem.

- As profundidades de coleta para análises de fertilidade de rotina e granulometria serão 0–5 cm, 5–10 cm e 10–20 cm. No entanto, somente para o bioma Cerrado essa amostragem será feita em profundidades diferenciadas: 0 – 10cm; 10–20 cm; 20– 30 cm;
- A amostragem de solo para avaliação de estabilidade de agregados será feita no perfil nas trincheiras, por meio de coleta de solo indeformado nas profundidades de 0-5 cm, 5–10 cm e 10–20 cm, em duas repetições para cada trincheira. A amostragem do bioma Cerrado será feita em profundidades diferenciadas: 0–10 cm; 10–20 cm; 20–30 cm;
- As amostras reservadas à análise enzimática serão realizadas na profundidade 0 – 10 cm em todos os biomas.
- Todas as coletas dos indicadores de solos serão realizadas em dois momentos do projeto: primeiro semestre de 2015 e primeiro semestre de 2017, na época das chuvas;

**Indicadores da categoria Físico-Hídricos:** densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporos, curva de retenção de água, infiltração/condutividade hidráulica insaturada, resistência mecânica à penetração e teor de água atual no solo.

- A coleta de solos de amostras indeformadas se dará nas profundidades 0–5 cm, 5–10 cm e 10–20 cm, em dois momentos do projeto: primeiro semestre de 2015 e primeiro semestre de 2017, na época das chuvas. As amostras serão coletadas próximas ou nas minitrincheiras<sup>2</sup> da coleta de biomassa;
- A determinação da taxa de infiltração de água no solo e da condutividade hidráulica insaturada na superfície do solo serão feitas com o equipamento minidisco infiltrômetro (DECAGON DEVICES, 2012) que necessita de apenas 135 mL de água. Coletar-se-ão amostras de solo para umidade atual antes do teste;

<sup>2</sup> Abertura no solo, com dimensões de 40 cm x 40 cm e profundidade variável, dependente dos objetivos da pesquisa, do tipo de solo e da posição do mesmo na paisagem. No projeto, as minitrincheiras terão a dimensão de 40 cm x 40 cm x 60 cm, em alguns casos a profundidade poderá ser de 40 cm, devido aos solos rasos no ambiente semiárido. Para atender a coleta de atributos físico-hídricos, verificar se essa definição é condizente com os objetivos para coleta de biomassa.

- Simultâneo à determinação da infiltração/conductividade hidráulica insaturada, a resistência mecânica à penetração será medida diretamente no campo, até a camada de 30 cm, com equipamento Penetrolog. A qual tem como propósito identificar camadas de impedimento ou restritivas ao livre movimento de água e ao crescimento e desenvolvimento de raízes de plantas decorrentes de condições naturais (pedológicas) ou atribuídas ao manejo do solo.

**Indicadores da categoria Biomassa:** carbono orgânico total.

- A atividade de quantificação de indicadores de biomassa consiste na avaliação dos estoques de carbono orgânico no solo, na serapilheira e na biomassa vegetal da parte aérea. A amostragem completa de solo e serapilheira e a estimativa da biomassa foram realizadas no primeiro semestre de 2015. No primeiro semestre de 2017 serão avaliadas apenas as variáveis que devem apresentar resposta de curto prazo ao manejo como, por exemplo, matéria orgânica particulada e estoque de serapilheira;
- Em cada tratamento, serão definidas no mínimo 3 parcelas que medirão 10 m x 10 m nos sistemas de cultivos anuais e 20 m x 20 m nos sistemas agroflorestais ou florestais;
- O estoque de carbono do solo será determinado nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Em cada parcela será escavada 1 trincheira, na qual serão coletadas amostras indeformadas de solo, em cada camada, para determinação da densidade do solo. De cinco a oito amostras simples de solo serão coletadas ao redor (cerca 3 m) de cada trincheira; as amostras simples serão reunidas para formar 1 amostra composta representativa de cada trincheira, resultando em 3 amostras compostas por tratamento. O teor de carbono será determinado por combustão via seca com analisador elementar. Na segunda coleta, a ser realizada no primeiro semestre de 2017, serão coletadas amostras somente nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm;
- A matéria orgânica particulada será determinada nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm;

- Amostras de serapilheira fina serão coletadas em áreas de 50 cm x 50 cm, sendo 4 amostras por parcela.

Nos sistemas florestais e agroflorestais, a biomassa da parte aérea será estimada com equações alométricas específicas, baseadas em dados de altura, diâmetro à altura do peito e densidade da madeira de cada espécie. Equações genéricas serão utilizadas quando não equações específicas estiverem indisponíveis. Um inventário para identificação das espécies e medição de altura e diâmetro foi realizado no primeiro semestre de 2015. As coletas das amostras e as avaliações em campo dos indicadores de solo, físico-hídricos e biomassa, ocorrerão em mesmo período e mais próximos possíveis no espaço físico das áreas de estudos.

## Conclusões

A I Oficina de Construção Metodológica do Plano de Ação 4, do projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais, reuniu 16 pesquisadores da Embrapa em torno da discussão sobre seleção e critérios de amostragem de parâmetros de solo, físico-hídricos e biomassa para serem utilizados como indicadores de serviços ambientais em sistemas produtivos. Trata-se de uma importante etapa para que os objetivos do projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais sejam alcançados. Ressalta-se também que o tema “indicadores de serviços ambientais” ainda é pouco explorado. Nesse sentido, debates sobre o mesmo devem ser estimulados para que diferentes propostas possam surgir e serem validadas em diferentes realidades e escalas. Por meio desse evento ocorreu o planejamento conjunto com os representantes dos biomas, em que foram levantadas as peculiaridades, experiências e sugestões, e o mais importante a promoção de uma maior integração da equipe.

## Referências

BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality: a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, v. 23, n. 4, p. 329-337, Dec. 2007.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).

DECAGON DEVICES. **Mini-disk infiltrometer**: operators manual. Pullman, 2012. 26 p.

FAO. **The state of food and agriculture**. Rome, 2007. 222 p. (FAO Agriculture Series, n. 38).

HEINK, U.; KOWARIK, I. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 584-593, May 2010.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (Program). **Ecosystems and human well-being**: synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; RACHWAL, M. F. G.; FRANCHINI, J. C.; FRANCISCON, L.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; BROWN, G. G. Avaliação de serviços ambientais no âmbito do projeto ServiAmbi. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 2, p. 36-46.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P. (Ed). **Methods of soil analysis**: microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 778-835. (SSSA Book Series, 5).

WILLIAMS, A.; HEDLUND, K. Indicators and trade-offs of ecosystem services in agricultural soils along a landscape heterogeneity gradient. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 77, p. 1-8, 2014.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 4, p. 1024-1030, 1997.

ZHEN, L.; ROUTRAY, J. K. Operational indicators for measuring agricultural sustainability in developing countries. **Environmental Management**, New York, v. 32, n. 1, p. 34-46, 2003.

## ANEXO

Lista de participantes da “I Oficina de Construção Metodológica do Plano de Ação 4, do projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais”, realizada na Pousada Morgenlicht, município de Bom Jardim, Estado do Rio de Janeiro, no período de 29 de setembro a 03 de outubro de 2014.

Participante	Unidade
Aline Pacobahyba de Oliveira	Embrapa Solos
Ana Paula Dias Turetta	Embrapa Solos
André Júlio do Amaral	Embrapa Solos
Balbino Antonio Evangelista	Embrapa Pesca e Aquicultura
Ozanival Dario Dantas da Silva	Embrapa Cerrados
Debora Veiga Aragão	Embrapa Amazônia Oriental
Eloisa Aparecida Ferreira	Embrapa Cerrados
Fábio Bueno dos Reis Júnior	Embrapa Cerrados
George Correa Amaro	Embrapa Roraima
Juliana Feitosa Felizzola	Embrapa Amazônia Oriental
Luciano Mansor de Mattos	Embrapa Cerrados
Luís de França da Silva Neto	Embrapa Solos
Marcelo Francia Arco-Verde	Embrapa Floresta
Rachel Bardy Prado	Embrapa Solos
Rafael Gonçalves Tonucci	Embrapa Caprinos e Ovinos
Steel Silva Vasconcelos	Embrapa Amazônia Oriental

### Comunicado Técnico, 72

**Embrapa Solos**  
**Endereço:** Rua Jardim Botânico, nº 1024. Jardim Botânico, CEP: 22460-00, Rio de Janeiro, RJ  
**Fone:** + 55 (21) 2179-4500  
**Fax:** + 55 (21) 2179-5291  
**E-mail:** <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

**1ª edição**  
 On-line (2015)

### Comitê de publicações

**Presidente:** José Carlos Polidoro  
**Secretário-Executivo:** Jacqueline Rezende Mattos  
**Membros:** Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de C. de Moraes, Alba Leonor da Silva Martins, Enyomara Lourenço Silva, Evaldo de Paiva Lima, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Luciana Sampaio de Araujo, Maria Regina Laforet, Maurício Rizzato Coelho, Moema de Almeida Batista

### Expediente

**Supervisão editorial:** Jacqueline Rezende Mattos  
**Revisão de texto:** André Luiz da Silva Lopes  
**Normalização bibliográfica:** Luciana Sampaio Araujo  
**Editoração eletrônica:** Jacqueline Rezende Mattos