BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

344

ISSN 1676-918X
ISSN online 2176-509X
Abril / 2019

Validação Científica de Indicadores Empíricos de Serviços Ambientais

Embrapa

ISSN 1676-918X
ISSN online 2176-509X
Abril/2019

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 344

Validação Científica de Indicadores Empíricos de Serviços Ambientais

Luciano Mansor de Mattos
Eloisa Aparecida Belleza Ferreira
Ana Paula Dias Turetta
Fabiano de Carvalho Balieiro
Heitor Luiz da Costa Coutinho (in memorian)

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2019

Exemplares desta publicação podem ser baixados gratuitamente na:
https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/?initQuery=t

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília / Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970, Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
embrapa.br/cerrados
embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Unidade

Presidente
Marcelo Ayres Carvalho

Secretária executiva
Marina de Fátima Vilela

Membros
Alessandra S. G. Faleiro, Cícero D. Pereira, Gustavo J. Braga, João de Deus G. dos S. Júnior, Jussara Flores de O. Arbues, Maria Edilva Nogueira, Shirley da Luz S. Araujo

Supervisão editorial
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Revisão de texto
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Normalização bibliográfica
Shirley da Luz Soares Araújo (CRB 1/1948)

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Leila Sandra Gomes Alencar

Fotos da capa
Luciano Mansor de Mattos e George Amaro

1ª edição
1ª impressão (2019): tiragem 30 exemplares

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Cerrados

V172 Validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais / Luciano Mansor de Mattos... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2019.

106 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X, 344).

1. Agricultura orgânica. 2. Agricultura familiar. 3. Serviço ambiental. I. Mattos, Luciano Mansor. II. Embrapa Cerrados. III. Série.

631.584 – CDD-21

Shirley da Luz Soares Araújo (CRB 1/1948)
© Embrapa, 2019

Sumário

Introdução.....7

A certificação da agricultura orgânica no Brasil: contexto atual e desafios futuros 9

Indicadores de serviços ambientais 18

Metodologia 24

Resultados e Discussão 38

Conclusões.....82

Agradecimentos.....85

Referências 86

ANEXO I 96

ANEXO II 98

ANEXO III 101

ANEXO IV 102

Validação Científica de Indicadores Empíricos de Serviços Ambientais

Luciano Mansor de Mattos[1]
Eloisa Aparecida Belleza Ferreira[2]
Ana Paula Dias Turetta[3]
Fabiano de Carvalho Balieiro[4]
Heitor Luiz da Costa Coutinho (*in memorian*)

Resumo – Após décadas de sucesso econômico, a agricultura brasileira apresenta consequências sociais e ambientais que devem ser assumidas como oportunidades para o desencadeamento de processos de transição produtiva com capacidade de geração de renda e prestação de serviços ambientais na paisagem rural. Nesse sentido, a agricultura familiar fortalece seu papel estratégico, pois tende a alocar seus recursos mais escassos, trabalho e capital, para melhor aproveitar as condições ambientais advindas da terra e dos recursos naturais, assim como a Lei de Agricultura Orgânica (2003) representa uma das medidas mais relevantes para incentivar a transição produtiva. Desse modo, este estudo resgata o processo de construção metodológica e demonstra que a aplicação da metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais pode contribuir na qualificação da certificação oficial de agricultura orgânica e de outras políticas públicas voltadas à agricultura familiar brasileira, assim como utilizar o conhecimento empírico da própria agricultura familiar como meio para auxiliar no monitoramento da qualidade ambiental dos seus sistemas de produção e na gestão ambiental de suas unidades de produção.

Termos para indexação: agricultura orgânica, certificação de agricultura orgânica, avaliação da conformidade de serviços ambientais, química de solos, biologia de solos, física de solos, biomassa, carbono.

[1] Engenheiro-agrônomo, doutor em Desenvolvimento Econômico, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF
[2] Engenheira-agrônoma, doutora em Ecologia, pesquisadora da Pesquisador da Embrapa Quarentena Vegetal, Brasília, DF
[3] Geógrafa, doutora em Ciências do Solo, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ
[4] Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Scientific Validation of Empirical Indicators of Environmental Services

Abstract – After decades of economic success, Brazilian agriculture has social and environmental consequences that must be assumed as opportunities to start processes of productive transition with the capacity to generate income and provide environmental services in the rural landscape. In this sense, family farming strengthens its strategic role, since it tends to allocate its scarce resources, labor and capital, to better take advantages of the environmental conditions arising from land and natural resources, just as the Organic Agriculture Law (2003) represents one of the most relevant measures to encourage the productive transition. In this way, the present study rescues the methodological construction process and demonstrates that the application of the methodology of scientific validation of empirical indicators of environmental services can contribute to the qualification of the official certification of organic agriculture and other public policies directed to the Brazilian family farming, as well as to use the knowledge empirical of family farming itself as a means to assist in monitoring the environmental quality of its production systems and in the environmental management of its production units.

Index terms: organic agriculture, certification of organic agriculture, conformity assessment of the environmental services, soil chemistry, soil biology, soil physics, biomass, carbon.

Introdução

O Brasil é o maior consumidor mundial de agrotóxicos, com elevação significativa de uso, em torno 700%, nas últimas quatro décadas. Praticamente metade da elevação do consumo, por volta de 345%, foi desencadeada nos últimos 14 anos, período que coincide com a aprovação do uso de organismos geneticamente modificados (OGMs), ao passo que a produção de grãos e sua respectiva área de produção cresceram, aproximadamente, de 68% e 27% no período (SAMBUICHI 2017a, 2017b; CONAB, 2014; ANA, 2014). Por conseguinte, apesar da produção agrícola brasileira crescer mais que sua área de produção, a elevação da taxa de consumo de agrotóxicos foi mais expressiva, quadro que traz riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente.

Apesar de sua importância econômica ao país, a agricultura brasileira deve assumir seus problemas socioambientais como oportunidade para qualificar o uso da terra e dos recursos naturais por meio de processos de transição produtiva com capacidade de geração de renda e prestação de serviços ambientais na paisagem rural. Assim, a estruturação de políticas públicas diferenciadas por categoria produtiva é fundamental para qualificar a produção agrícola, pecuária e florestal, garantir a segurança alimentar e nutricional da sociedade brasileira e aumentar a competitividade externa.

Face à pluralidade social do campo, a estruturação de políticas públicas deve ser diferenciada por categoria produtiva. Na agricultura de grande escala, o redesenho das áreas produtivas deve ser mais ameno (ex: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) e o manejo dos sistemas de produção condizente com as exigências dos mercados externos (com critérios específicos por país importador), enquanto na agricultura familiar, o redesenho pode ser mais diversificado (ex: Sistemas Agroflorestais) e o manejo focado na qualidade do alimento destinado ao mercado de consumo doméstico.

Nesse sentido, a Lei de Agricultura Orgânica (2003) desencadeou ações governamentais relevantes para incentivar a transição produtiva (ou “conversão orgânica”, conforme nomenclatura oficial), entre elas, a definição de três mecanismos de certificação orgânica, cada qual adaptado a uma realidade do meio rural brasileiro (ver mais detalhes no próximo tópico): **certificação por auditoria** (relação bilateral entre unidades de produção e certificadoras pri-

vadas credenciadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); permissão de uso do selo oficial; mecanismo adequado aos produtores de grande escala); **sistema participativo de garantia** (relação participativa entre unidades de produção e organismo participativo de avaliação da conformidade – pessoa jurídica com atuação coletiva que cumpre a mesma atribuição das certificadoras credenciadas pelo MAPA, porém, dentro das diretrizes da certificação participativa; permissão de uso do selo oficial; mecanismo adaptado aos médios produtores e à agricultura familiar com alto grau de organização coletiva); organização de controle social (relação de confiança entre unidade de produção e consumidores finais – credenciamento de associações de produtores como organizações de controle social que cumprem a atribuição de autocertificação; dispensa de uso do selo oficial; mecanismo adaptado à agricultura familiar).

Qualquer modalidade de certificação passa por processos contínuos de revisão de normas, desse modo, estudos que propõem a atualização de princípios, critérios e exigências técnicas, assim como desenvolvem metodologias complementares aos mecanismos oficiais de certificação da agricultura orgânica, se justificam e são importantes na qualificação da própria política pública, no embasamento de gestores públicos e no aprimoramento da gestão ambiental dos estabelecimentos rurais adeptos à produção orgânica. Dentro desses propósitos, estudos que interpretam o conhecimento popular sobre indicadores ambientais apresentam grande potencial de qualificação dos mecanismos de certificação da agricultura orgânica. Sendo assim, a presente publicação tem como objetivo apresentar uma proposta metodológica de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais e demonstrar a aplicação da mesma metodologia em dois estudos de caso nos biomas Cerrado e Amazônia.

O estudo foi estruturado nos seguintes tópicos: “a certificação da agricultura orgânica no Brasil: contexto atual e desafios futuros”, que apresenta os três mecanismos de certificação da agricultura orgânica e os desafios para aprimorá-los continuamente; “indicadores de serviços ambientais”, que traz conceitos de serviços ambientais e demonstra a relevância do uso de indicadores na conexão entre a produção e o conhecimento científico; “metodologia”, que minucia as etapas para aplicação da metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais; “resultados e discussão”, que apresenta e discute os resultados dos dois estudos de

caso nos biomas Cerrado e Amazônia; “conclusões”, com foco na construção metodológica e na aplicação da metodologia proposta; “agradecimentos”, “referências” e “anexos”.

A certificação da agricultura orgânica no Brasil: contexto atual e desafios futuros

O consumo anual de agrotóxicos no Brasil cresceu 700% em 40 anos, enquanto a área agrícola aumentou 78% no período. Esse quadro traz riscos à biodiversidade em razão da simplificação dos ambientes naturais para sistemas de produção em monoculturas. Nos últimos 14 anos, intervalo similar aos 13 anos de liberação do uso de organismos geneticamente modificados (OGMs), houve aumento de 345% no uso de agrotóxicos (ou seja, metade do crescimento no período de 4 décadas se deu antes e outra metade após a adoção da transgenia), 68% da produção e 27% da área cultivada com grãos (CONAB, 2014; ANA, 2014). São comuns estudos que relacionam aumento da produção e área cultivada, sinalizando melhoria na eficiência produtiva, mas ignoram a relação entre custos crescentes (aumento do consumo de agrotóxicos e cobranças de *royalties* pelo direito de uso de variedades transgênicas) e lucros decrescentes (oscilações nos preços de *commodities*[6] devido à crise econômica mundial), além da desconsideração das questões de saúde humana e de meio ambiente relacionadas ao modelo vigente de produção de alimentos (Sambuichi 2017a, 2017b; Vieira et al., 2016; Franco Netto et al., 2016; Fragale et al., 2015).

[6] Em geral, há elevação dos preços das *commodities* agropecuárias desde 2017, após quedas sucessivas entre 2011-2017, porém, as oscilações são bem mais modestas em comparação aos patamares de 2011, logo, ainda não se pode afirmar que o quadro atual configura uma trajetória de valorização de preços (por exemplo, em 2011, os preços eram 92% superiores aos atuais e, em 2008, 140%). Mas a questão maior é que a modesta elevação dos preços internacionais ainda não se refletiu na melhoria das relações de troca (razão entre o índice de preço dos produtos exportados e importados); há de se considerar também as relações de troca no âmbito da propriedade rural, ou seja, a relação entre preços agrícolas e industriais, que ainda não se modificou, apesar das oscilações positivas recentes dos preços de *commodities*; no século XX, essa relação sempre foi negativa à agricultura; no século XXI, a alta das commodities entre 2004-2011, puxada pelo consumo chinês, inverteu as relações de troca agrícola-industrial, mas desde 2011, esse cenário voltou a se deteriorar e a seguir o padrão do século XX.

Em muitos casos, a realidade da agricultura brasileira alerta para a necessidade de mudanças qualitativas de uso da terra baseadas em redesenhos de sistemas de produção e desencadeamento de processos paulatinos de transição produtiva que garantam capacidade de geração de renda e prestação de serviços ambientais na paisagem rural. E para que outras opções agronômicas se fortaleçam, tais como adesão aos sistemas de produção de base ecológica, é necessário estruturar uma série de medidas, pois a falta delas impede ou retarda os processos de transição produtiva. Essas medidas contemplam diversas etapas internas (redesenhos de sistemas de produção) e externas (apoio institucional) aos estabelecimentos rurais (Fragale et al., 2016; Franco Netto et al., 2015; Mattos 2010a; EMBRAPA, 2006).

Em um momento de intensa necessidade do redirecionamento qualitativo da produção agropecuária brasileira, a agricultura familiar fortalece seu papel estratégico, pois é particularmente sensível às condições do meio ambiente. Enquanto a agricultura agroexportadora tende a transformar o meio ambiente para adequá-lo às condições de produção de *commodities* baseadas em uso intenso de combustíveis fósseis, agrotóxicos e organismos geneticamente modificados, com ganhos produtivos relevantes e garantia de superávit da balança comercial, mas com perda significativa de equilíbrio ambiental, a agricultura familiar tende a alocar seus recursos escassos, trabalho e capital, para melhor aproveitar as condições ambientais advindas da terra e dos recursos naturais, estabelecendo modos de produção, em geral, menos agressivos à saúde humana e ao meio ambiente. Portanto, à opinião pública e aos tomadores de decisão política fica a responsabilidade de se sensibilizarem sobre a relevância da agricultura familiar no processo de desenvolvimento rural brasileiro (Mattos, 2010a).

A publicação do Censo Agropecuário 2006, pela primeira vez, trouxe recorte específico da agricultura familiar, o que permitiu atestar sua importância econômica e trazer subsídios para a qualificação das políticas públicas voltadas à categoria produtiva. No Censo Agropecuário 2006, foram identificados 4.367.902 estabelecimentos rurais da agricultura familiar, o que representa 80,25 milhões de hectares, 84,4% do número e 24,3% da área dos estabelecimentos rurais brasileiros. Com um quarto da área agrícola, a agricultura familiar demonstra sua eficiência ao registrar 38,0% de participação do Valor Bruto de Produção Agropecuário (VBPA). Outro dado ilustrativo da importância estratégica dessa categoria produtiva remete-se à sua participação na

geração de empregos no campo, pois, entre os 16,5 milhões de pessoas empregadas, a agricultura familiar encampa 12,3 milhões (74,4%), com média de 2,6 pessoas com mais de 14 anos por estabelecimento rural (MATTOS, 2010b; IBGE, 2009; FRANÇA et al, 2009).

O Censo Agropecuário 2006 incluiu também abordagem e dados estatísticos sobre agricultura orgânica. Os resultados indicam 90.425 estabelecimentos rurais com adesão à agricultura orgânica (e participação de mais de 90% da agricultura familiar), o equivalente a 1,8% dos estabelecimentos rurais brasileiros e 6% da área plantada, distribuída entre pecuária (42%), cultivos anuais (34%), cultivos perenes (10%), horticultura/floricultura (10%) e produção florestal (4%) (IEA, 2013). No entanto, a estimativa é baseada em dados por declaração, não necessariamente condizendo com o sistema oficial de certificação da agricultura orgânica.

O Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos (CNPO), vinculado ao (Mapa), contabilizava 17.452 estabelecimentos rurais com produção orgânica certificada até janeiro de 2018, ou seja, os dados demonstram que mais de 80% das unidades de produção orgânica identificadas pelo Censo Agropecuário 2006 ainda não possuem a certificação orgânica, o que implica restrições para comercialização do alimento orgânico como produto diferenciado à saúde humana e à qualidade ambiental, além de redução de seu potencial de agregação de valor no mercado consumidor privado. A área total de produção orgânica no Brasil, ainda em uma tabulação restrita ao Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos (CNPO), chega a quase um milhão de hectares, com o Sudeste atingindo expressivos 44%, Norte 21%, Nordeste 16%, Centro-Oeste 14% e Sul 5% (Mattos, 2015).

No Brasil, a aprovação da Lei de Agricultura Orgânica (Lei 10.831 de 2003) estabeleceu normas para conversão orgânica e agricultura orgânica. A Coordenação de Agroecologia (Coagre), vinculada ao (Mapa), é responsável pelas normas e controle de produção e comercialização de produtos orgânicos no Brasil. Essa Lei apoia-se em dois conceitos fundamentais à produção orgânica: controle de qualidade e relação de confiança entre produtor e consumidor. A legislação prevê três mecanismos:

- **Certificação por Auditoria** – concessão do selo oficial de produto orgânico (Figura 1) por meio de auditoria realizada por certificadora pública ou privada credenciada pelo Mapa, que deve cumprir procedi-

mentos e critérios reconhecidos internacionalmente, além dos requisitos técnicos estabelecidos pela legislação brasileira; a Certificação por Auditoria estabelece relação bilateral entre produtores e certificadoras (certificação por auditoria).

- **Sistema Participativo de Garantia (SpG)** – concessão do selo oficial de produto orgânico (Figura 1) por meio de Organismo Participativo de Avaliação da Conformidade (OPAC), uma instituição formalizada como pessoa jurídica, com a mesma atribuição das certificadoras credenciadas, mas com atuação coletiva composta por agricultores/as, técnicos/as, consumidores/as e outros membros interessados; o Sistema Participativo de Garantia (SpG) estabelece relação participativa entre produtores e OPAC (certificação participativa).
- **Organização de Controle Social (OCS)** – mecanismo voltado à agricultura familiar que não concede o selo oficial de produto orgânico, apenas credencia associações de produtores orgânicos/as como Organização de Controle Social (OCS); a venda deve ser direta aos/às consumidores/as (ex: feiras livres) e realizada pelos próprios agricultores/as familiares ou funcionários/as de suas associações, a unidade de produção de origem do produto deve ser identificada no rótulo, o/a produtor/a deve portar seu registro no Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos (CNPO) no local de venda e dispor seu estabelecimento rural para visitação com direito à cobrança; o Controle Social de Venda Direta estabelece relação de confiança entre produtores e consumidores/as (autocertificação).

Figura 1. Selo oficial de produto orgânico utilizado no Brasil.

Para comercialização no mercado de consumo doméstico, o selo oficial de produto orgânico (Figura 1) deve ser inserido nas embalagens dos produtos orgânicos produzidos dentro ou fora do país, exceto naqueles com venda direta em feiras orgânicas, desde que o/a produtor/a e/ou vendedor/a seja cadastrado/a no Mapa e vinculado/a a uma Organização de Controle Social (OCS).

A adesão à agricultura orgânica demanda um período de carência definido como fase de "conversão orgânica", isto é, a partir do momento que o/a produtor/a rural passa a cumprir todas as normas da agricultura orgânica, em qualquer um dos três mecanismos, só é permitida a comercialização de alimentos orgânicos após prazo de 12 meses para culturas anuais e 18 meses para culturas perenes e produtos pecuários. A carência evita que produtos classificados como orgânicos contenham resíduos químicos advindos do modelo convencional manejado anteriormente na área com adesão à produção orgânica.

Os três mecanismos estipulados pela legislação brasileira de agricultura orgânica garantem a condição orgânica do alimento aos consumidores e trazem benefícios à saúde humana e ao meio ambiente. Visando aprimorar o mecanismo oficial brasileiro de certificação orgânica, a coordenação do *Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais* (Embrapa Cerrados) abriu um processo de diálogo com a Coordenadoria de Agroecologia (Coagre) do Mapa, entre 2013 e 2016, com o intuito de conceber e de testar um método de validação científica de conhecimento empírico de produtores orgânicos sobre indicadores de serviços ambientais. A validação do método proposto não só traz o reconhecimento e a valorização dos modos camponeses de observação e controle de qualidade ambiental de sistemas de produção, como também fortalece iniciativas criativas de controle social, que devem se somar ao *modus operandis* de comando e controle exercido no âmbito governamental, com possibilidades de sucesso ainda mais significativas.

A transição produtiva diz respeito à ampliação da qualidade ambiental ao longo do tempo e deve ser utilizada como referencial teórico para orientar o setor agropecuário e florestal rumo à sustentabilidade (Embrapa, 2006). Já os indicadores de serviços ambientais devem servir de parâmetro para atestar melhoria na qualidade ambiental dos processos de transição produtiva (Mattos, 2010a; Costanza et al., 2008; Angelsen; Kaimowitz, 2001; Costanza

et al., 1997) e basear a concessão de subvenções financeiras. Se, por um lado, as mudanças climáticas globais e as barreiras não tarifárias se configuram como problema econômico e político-institucional, por outro lado, as lacunas de dados e metodologias se notabilizam como oportunidade de pesquisa em economia agrícola e economia ecológica com foco em transição produtiva e serviços ambientais (Mattos; Hercowitz, 2011).

O *Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais* (Embrapa Cerrados) propõe que a metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais possa se somar a dois (entre três) mecanismos oficiais de avaliação da conformidade orgânica supracitados, o Sistema Participativo de Garantia (SpG) e a Organização de Controle Social (OCS). O método propõe a adesão voluntária à agricultura familiar e que o cumprimento das etapas previstas (ver detalhes adiante) garanta benefícios previstos em políticas públicas. Em outras palavras, a adoção do método adicional não é obrigatória, mas, em caso de adesão, a agricultura familiar pode obter benefícios oficiais a partir do reconhecimento e da valorização de seus conhecimentos empíricos validados.

A proposta original do *Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais* (Embrapa Cerrados) era validar participativamente indicadores de serviços ambientais e construir uma metodologia de certificação participativa de serviços ambientais. A proposta foi aprimorada a partir da concepção da metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais, pois não se trata de um processo adicional de certificação orgânica que se relaciona com consumidores, mas sim de uma adesão voluntária a uma metodologia que aprimora a gestão ambiental dos estabelecimentos rurais e pode garantir acesso a benefícios em políticas públicas. Em suma, o que se propõe não é uma certificação adicional, mas a adoção de uma metodologia para avaliação da conformidade de serviços ambientais (adicional aos mecanismos oficiais de certificação por SpG e OCS), que reconheça os saberes empíricos sobre qualidade ambiental. Portanto, a mudança à proposta original se deu, pois, a metodologia concebida objetiva qualificar os sistemas de produção de base ecológica, assim como o manejo sustentável de produtos da sociobiodiversidade, visando concessão de incentivos financeiros por políticas públicas, e não o relacionamento direto com o consumidor privado.

A metodologia tem potencial de fortalecer o protagonismo da sociedade civil organizada e estimular a governança compartilhada entre governo e sociedade na ampliação e na qualificação da agricultura orgânica. Esse protagonismo na avaliação da conformidade de serviços ambientais, por meio de conhecimento empírico, pode reduzir custos de transação, fomentar a participação e o controle social de políticas públicas, além de fortalecer e qualificar a própria execução de políticas públicas.

Conforme Brondízio et al. (2009), Ostrom (2000) e Abramovay (2000), a participação da sociedade civil organizada na execução de políticas públicas traz benefícios como a construção de confiança, as normas de reciprocidade, as redes de engajamento cívico e a renovação de normas e de marco legal, os quais contribuem para aumentar a influência da sociedade nos rumos do desenvolvimento. Quando a sociedade se depara com dilemas sociais ou situações de ação coletiva, como aquelas que envolvem regulação de um ecossistema, ela pode maximizar estratégias que a deixam em situação pior que outras ou traçar acordos que podem balizar aprendizado mútuo.

Para Hardin (1968), em sua obra clássica *A Tragédia dos Comuns*, os indivíduos tendem a aumentar seu comportamento egoísta quando enfrentam situações de escassez na exploração de recursos naturais ou bens comuns, de tal maneira que se envolvem em circunstâncias não cooperativas, e que, por si mesmo, aceleram a degradação do bem que se encontra em risco. Contudo, Ostrom (2000), em outra obra clássica *El Gobierno de Los Bienes Comunes*, sugere que essa ideia não é toda certa, já que as restrições que se consideram imutáveis nem sempre as são, propondo uma dinâmica em que é possível estabelecer vínculos entre todos os participantes, que lhes obrigam a cumprir os acordos iniciais, submetidos a estratégias de cooperação formadas por eles mesmos.

Para Beduschi Filho (2003), de acordo com os achados de Ostrom (2000), em situações de risco de uso dos recursos naturais, a cooperação entre indivíduos e diversos tipos de ação coletiva podem acontecer e produzir bens coletivos em níveis ótimos. Para Folke et al. (1994), para obter a sustentabilidade, a sociedade global precisa lidar com novos problemas ameaçadores do bem-estar futuro e da existência humana. E para Moran (2008), na maioria da sociedade, exceto para sua parcela rural, existe uma distância crescente entre as decisões de consumo e as formas de produção e uso dos recursos

naturais, perdendo assim mecanismos de retroalimentação que permitam aos consumidores avaliar e compreender o impacto de suas escolhas. Em geral, somente ao vivenciar situações de escassez de recursos naturais é que as sociedades passam por processos de aprendizagem e estabelecem acordos coletivos visando manejo no longo prazo.

Mas como um grupo de causadores de degradação dos recursos naturais que se encontra em uma situação de interdependência pode se organizar para obter benefícios conjuntos ininterruptos, apesar da interferência dos não cumpridores? Na visão de Ostrom (2000), a resposta está condicionada aos seguintes elementos: (a) consideração dos custos e benefícios das ações dos indivíduos e sua vinculação com os resultados esperados; (b) redução da incerteza causada pela falta de conhecimento sobre o sistema de recursos exportáveis, por meio de um processo de aprendizado de ensaio e erro; e (c) sentido de provisão e apropriação dos recursos de uso comum.

E como mudar uma situação na qual quem se apropria dos recursos atua de maneira independente para outra em que são adotadas estratégias coordenadas para obter melhores benefícios comuns? Segundo Ostrom (2000), a solução não está, necessariamente, na criação de uma organização, partindo-se da premissa que os problemas a resolver demandam métodos de provisão incorporados por um novo conjunto de instituições: (a) existência de regimes políticos e políticas públicas adequadas às novas realidades socioambientais; (b) estabelecimento de compromissos aplicáveis e supervisão mútua, sem perder de vista a natureza incremental e transformadora da mudança institucional; (c) inclusão dos custos de transação, assim como ter limites claramente definidos; (d) coerência entre as regras de provisão e apropriação; (e) arranjos de decisão coletiva; (f) supervisão, sanções graduadas, mecanismos de resolução de conflitos; e (g) reconhecimento mínimo de direitos da organização e entidades participantes. Outro dado importante é que os custos da transformação institucional são menores quando participam líderes hábeis no processo.

A construção da presente proposta metodológica de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais foi iniciada em 2015, a partir de intercâmbio de conhecimentos entre a equipe do projeto, o Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal (ICRAF)[7] e o Centro Internacional

[7] Organização sem fins lucrativos; nome oficial: *World Agroforestry Centre* (ICRAF).

para Agricultura Tropical (CIAT)[8], organizações internacionais de pesquisa agrícola que compõem, junto à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Grupo Consultivo em Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR)[9]. Quatro anos antes da concepção do Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais, pesquisadores do ICRAF, Embrapa Solos e Embrapa Clima Temperado desenvolveram o *Guia Metodológico InPaC-S: Integração Participativa de Conhecimentos sobre Indicadores de Qualidade de Solo* (Barrios et al., 2011). Vale lembrar que alguns trabalhos anteriores já haviam abordado a necessidade de concepção de metodologias de interpretação e validação científica de conhecimentos empíricos, com destaque para os estudos de Barrios et al. (2006) e Barrios e Trejo (2003).

Posteriormente aos contatos com ICRAF e CGIAR acerca do mesmo guia metodológico, a equipe do projeto constituiu uma rede de parcerias com instituições brasileiras e internacionais com o objetivo de simplificar a aplicação do método InPaC-S e de ampliar sua abordagem para além da temática de solos tropicais. A rede supracitada contou com a participação de pesquisadores e pesquisadoras da Embrapa Cerrados (coordenação)[10], Embrapa Solos, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Caprinos e Ovinos, Embrapa Florestas, Embrapa Roraima, Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento (Cirad)[11] e do próprio ICRAF, gestores públicos da Coordenação de Agroecologia (Coagre) do (Mapa), da Secretaria de Agricultura Familiar (SAF) do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), da Secretaria de Política Econômica (SpE) do Ministério da Fazenda (MF) e da Diretoria de Política Agrícola e Informação (Dipai) da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), agentes financeiros do Banco do Brasil (BB), Banco do Nordeste do Brasil (BNB) e Banco da Amazônia (BASA), técnicos do Instituto de Manejo e Certificação Agrícola e Florestal (Imaflora) e agricultores e agricultoras familiares de associações parceiras do projeto.

---

[8] Organização sem fins lucrativos; nome oficial: *International Center for Tropical Agriculture* (Ciat).

[9] Rede sem fins lucrativos que coordena programas internacionais de pesquisa agrícola com foco na redução da pobreza e na segurança alimentar nos países em desenvolvimento; seu conselho é composto por 15 instituições internacionais de pesquisa agrícola, Embrapa, ICRAF e CIAT entre elas; nome oficial: *Consultative Group on International Agricultural Research* (CGIAR).

[10] A coordenação inicial desse trabalho estava na Embrapa Solos, no entanto, devido ao falecimento precoce do pesquisador Heitor Coutinho (autor *in memorian*), a coordenação passou à Embrapa Cerrado, sob os cuidados do pesquisador Luciano Mattos, primeiro autor deste estudo e coordenador do *Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientai*s.

[11] Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad).

O próximo tópico “indicadores de serviços ambientais” traz contribuições sobre metodologias de valoração e formas de pagamento de serviços ambientais, seguido dos tópicos “metodologia” (com o passo a passo para replicagem do método proposto), “resultados e discussão” (em que são apresentados e discutidos os resultados de dois estudos de caso, um no bioma Cerrado, Distrito Federal, DF, e outro no bioma Amazônia, Pará, PA), “conclusões” (com foco inicial na construção metodológica e final na aplicação da metodologia proposta), “agradecimentos” (aos profissionais e instituições relevantes ao longo do processo de construção metodológica) e “referências bibliográficas” (estudos que embasaram este trabalho).

Indicadores de serviços ambientais

Os ecossistemas são responsáveis pela manutenção das condições necessárias à existência de vida no planeta em função da regulação de fluxos de energia e ciclos de matéria. Desde seu surgimento na África, há cerca de 100 mil anos, o *Homo sapiens* é fortemente dependente dos ecossistemas pelos quais a espécie se espalha em todos os continentes. Em contradição à intuição comum de “cuidar do que me é essencial”, a pressão humana sob os recursos naturais ao longo do tempo tem desorganizado sistematicamente os fluxos de matéria e consumido cada vez mais energia *per capita* (Resck et al., 2008a). A espécie humana vem alterando a paisagem do planeta e esgotando, numa rapidez sem precedentes, os benefícios que obtém dos ecossistemas, os “serviços ecossistêmicos” (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

O conceito de serviços ecossistêmicos surge nesse cenário em que fluxos ecológicos e bens e serviços imprescindíveis para a vida no planeta (por exemplo, oferta de água, nutrientes, alimentos, fibras, madeira, regulação do clima, polinização) começam a apresentar sinais de desequilíbrio, escassez ou risco de desaparecimento, com efeitos sobre a vida que, levados ao extremo, podem comprometer a existência do ser humano na Terra (Constanza et al., 1997; 2014).

Várias propostas de definição e caracterização de serviços ecossistêmicos culminaram com as publicações do Millennium Ecosystem Assessment (2005), que classificou esses ativos em quatro categorias: **provisão** (produ-

tos obtidos de ecossistemas, como alimentos, fibras ou madeiras), **regulação** (controle de pragas e doenças, controle de enchentes, regulação climática, sequestro de carbono), **suporte** (os serviços que são necessários para a manifestação dos dois anteriores, como a ciclagem de nutrientes e os ciclos hidrológicos) e culturais (benefícios não materiais como estética e recreação).

A denominação “serviços ecossistêmicos” é utilizada na literatura para descrever todos os benefícios que a natureza nos provê, enquanto o termo “pagamento por serviços ambientais” se refere a programas ou projetos os quais os provedores dos serviços são remunerados por políticas públicas ou por terceiros beneficiados por uma atividade destinada a qualificar ou manter funções ecossistêmicas (Lamarque et al., 2011). Outros autores têm proposto o uso do termo serviços ambientais para rotular serviços prestados por meio de atividades humanas que substituem parcial ou totalmente os serviços ecossistêmicos (Koellner et al., 2013).

Ainda que o conceito de serviços ambientais esteja sujeito a nuances nas interpretações, a implementação de ações concretas de valoração fornece uma justificativa antropocêntrica para a conservação de espécies e ecossistemas com base em nossa dependência dos bens e serviços fornecidos. Ainda assim, a avaliação do estado ou qualidade do meio ambiente é um desafio complexo, já que ecossistemas não são estáticos, impondo-se distinguir as variações devidas aos ciclos naturais daquelas provocadas pela ação humana (Maranhão, 2007). Para tal, passou a ser imperativo desenvolver indicadores de medidas de fenômenos ambientalmente relevantes, usados para retratar ou avaliar as condições ambientais, as mudanças ou a definição de metas.

O termo “indicador” é definido como uma variável ou um conjunto de variáveis capaz de fornecer informações sobre um fenômeno, ambiente ou área (OECD, 2003). São descritos como algo que fornece uma pista para um assunto ou torna perceptível uma tendência ou processo que não é imediatamente detectável. Portanto, o significado de um indicador se estende, além do que é de fato medido, para um alcance maior do fenômeno de interesse. Indicadores ambientais, por sua vez, são instrumentos cujas informações possam ser combinadas para a validação e monitoramento de fenômenos ecossistêmicos e que forneçam informações perceptíveis e mensuráveis em assuntos complexos de uma maneira relativamente acessível e sem distorcer a percepção da realidade (Niemeijer; De Groot, 2008).

A partir da constatação de que indicadores de serviços ambientais podem descrever o funcionamento dos ecossistemas, um enfoque relativamente novo no pensamento acadêmico tem abordado de que forma os ecossistemas agrícolas (ou agroecossistemas), sob diferentes sistemas de produção, contribuem com diversos serviços ambientais procurando valorar os benefícios que muitas vezes são imperceptíveis para a sociedade (Niemeijer; De Groot, 2008; Dominati et al., 2010).

Por conseguinte, quando se está à frente de iniciativas e práticas humanas passíveis de compensação, os indicadores de serviços ambientais devem servir de parâmetro para atestar melhoria na qualidade ambiental dos processos de transição produtiva, como é o caso da transição de um sistema de produção convencional para agroecológico (Mattos, 2010a). No melhor dos casos, um indicador ambiental da produção agrícola deve ser preciso, simples de usar e relevante para avaliar processos relacionados às metas agroambientais e funções essenciais do solo (ex: suporte físico para o crescimento de plantas, regulação química de fluxos de nutrientes e água, ambiente microbiológico, abrigo da biodiversidade). Ademais, deve ser sensível à mudança e ter limites claros entre o que é sustentável e insustentável (Doran; Parkin, 1994; Totola; Chaer, 2002). Além disso, valores críticos ou padrões para funções específicas são desejáveis para avaliações práticas de qualidade do solo (Mendes et al, 2018).

A qualidade do solo busca, de alguma forma, integrar as propriedades-chave (os indicadores) às funções e serviços relevantes dos solos (Totola; Chaer, 2002; Dominati et al., 2010). Propriedades físicas, químicas e biológicas do solo têm sido estudadas sob diferentes formas, mas com a mesma finalidade, entender o funcionamento e o impacto que o manejo adotado resulta nos agroecossistemas. Ou seja, esses indicadores devem antecipar as ações de conservação, evitando que os agroecossistemas entrem em declínio produtivo e de qualidade ambiental.

Sabendo que as propriedades físicas do solo são interdependentes e que, consequentemente, a modificação de uma delas normalmente leva à modificação de todas as demais, indicadores físicos da qualidade do solo têm sido investigados nas diferentes condições de uso e manejo, sendo fundamentais para se compreender os processos de degradação (Ramos et al, 2014). O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente de suas

texturas e mineralogia, as quais influenciam a resistência e a resiliência a determinada prática agrícola (Silva et al, 2010). A estrutura é uma propriedade sensível ao manejo e deve ser analisada segundo as variáveis relacionadas à estabilidade de seus agregados, suas diferentes formas e tamanhos (Resck et al., 2008a). Normalmente, a deterioração de sua qualidade ocorre em razão da retirada da cobertura vegetal e do excessivo uso da mecanização.

Entre os indicadores químicos do solo que podem se relacionar com a qualidade do solo, destacam-se o pH, a matéria orgânica, a capacidade de troca de cátions (CTC), os teores de fósforo, potássio e magnésio, a saturação de alumínio e por bases dos elementos químicos importantes para o crescimento e produção das plantas (Mendes, 2018). Por outro lado, por serem atributos de alteração relativamente rápida no solo, em decorrência de práticas de calagem e adubação, sua interpretação a luz da avaliação da qualidade do solo deve ser cuidadosa e integrada aos demais atributos físicos e biológicos.

No caso dos indicadores biológicos, vários parâmetros e processos têm sido sugeridos, como abundância e riqueza de microrganismos, grupos específicos de macro e mesofauna (cupins, minhocas, nematoides) (Espírito Santo Filho, 2005; Maluche- Barreta et al., 2006; Lavelle et al., 2006). Também são sugeridas avaliações associadas à microrganismos, como o carbono da sua biomassa e as atividades enzimáticas relacionadas ao ciclo do C, P, N e S (Hungria et al., 2009; Lopes et al., 2013).

Além da necessidade do monitoramento constante quanto ao efeito do uso e do manejo do solo sobre suas propriedades físicas, químicas e biológicas visando a manutenção da qualidade própria, é importante destacar que os microrganismos do solo são os principais agentes da ciclagem de C e nutrientes do solo, além de apresentarem as mais variadas relações ecológicas entre si e com a comunidade vegetal. Estratégias de uso do solo que contribuam para a atividade e a diversidade da comunidade microbiana aumentam a sustentabilidade do sistema de produção, resultando em aumento da produtividade sob custos mais baixos, além de minimizar o uso de fertilizantes químicos e pesticidas (Hungria et al., 2009).

Avaliações integradas que agrupam, simultaneamente, propriedades físicas, químicas e biológicas enfatizam uma visão dinâmica que é crucial na detecção das respostas do solo às transições e mudanças no manejo, visto que

muitos processos e atributos estão inter-relacionados (Andrews et al., 2004). Em ampla revisão sobre qualidade do solo no Brasil, Mendes et al. (2018) ponderam que os melhores indicadores de serviços ambientais são aqueles que integram os efeitos combinados de vários atributos ou processos de produção para finalidades ou funções específicas. Dessa forma, as alterações na qualidade do solo não podem ser medidas diretamente no campo ou no laboratório e, portanto, os atributos do solo, isolados ou combinados, devem ser usados como quantificadores ou indicadores em função de mudanças no uso da terra.

O conjunto dos atributos do solo apresenta-se como um indicador funcional global, pois sintetiza o processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica. As condições químicas do solo afetam as relações solo-planta e outros aspectos importantes, como qualidade da água, disponibilidade de nutrientes e de água para as plantas, atividade biológica e deslocamento de contaminantes no perfil do solo (Anderson; Ingram, 1993).

Para Mota et al. (2013), atributos como densidade do solo, teor de matéria orgânica, estabilidade de agregados, resistência à penetração e condutividade hidráulica podem ser alterados, em curto prazo, pela transição de sistemas de produção, sendo passíveis de utilização como indicadores da qualidade do solo.

Ainda assim, maior ênfase deve ser dada a agregação de indicadores e conceitos que possam responder a alterações em processos biogeoquímicos que regulam a ciclagem de nutrientes e carbono combinado com aumento dos reservatórios de água, melhor qualidade física e aumento da atividade biológica (Drinkwater; Snapp, 2007). Um exemplo de interdisciplinaridade na base teórica-conceitual de indicadores pode ser observado na manutenção de resíduos de cultivos sobre o solo (cobertura morta no solo), a qual afeta significativamente a diversidade biológica e o regime térmico do solo, reduzindo a evaporação, aumentando a rugosidade da superfície, a infiltração de água e o aumento do sequestro de carbono no solo (Cherubin et al., 2017). Em contraste, a retirada da cobertura morta e/ou revolvimento excessivo do solo pode destruir agregados, expor o carbono da matéria orgânica à oxidação microbiana, que é perdido na forma de CO_2 para a atmosfera, aumentando a concentração de gases de efeito estufa. A redução de matéria orgânica

no solo, consequentemente, altera as propriedades físicas e químicas, bem como a produtividade (Resck et al., 2008b).

Ainda quanto à complexidade teórica, segundo Jorgensen et al. (2013), “na razão entre duas variáveis, o resultado não nos informa se é o numerador ou o denominador que está mudando”. Portanto, a ciência tem que ser muito cuidadosa quanto a composição de indicadores, pois a informação perdida na agregação pode ser aquela mais crucial para representar a natureza. Está clara, portanto, a enorme conectividade entre os indicadores de serviços ambientais e a demanda por integração e aproximações sistêmicas de avaliação.

A demanda de integração de indicadores se torna ainda mais significante quando se trata de sustentabilidade, pois há de se vincular os subsistemas ambiental, econômico e social. Nesse sentido, as investigações referentes a indicadores ambientais se intensificaram nos últimos anos alinhadas à construção de instrumentos para aferir diferentes contextos. No meio rural, a decisão de se adotar indicadores sobre o uso e o manejo do solo é uma combinação entre políticas governamentais e escolhas do usuários da terra. Sendo assim, informações sobre como e em que magnitude os serviços ambientais são produzidos no meio rural produtivo devem incluir os três pilares (ambiental, social e econômico) ao servir como base para tornar decisões políticas mais consistentes.

A comunidade científica também reconhece que o uso de indicadores permite a conexão entre a produção e o uso do conhecimento científico, por se tratar de uma área de interface entre ciência e política. Dessa forma, recomenda-se a inclusão da perspectiva de atores sociais no processo de seleção dos indicadores que, segundo os pesquisadores, não podem ser avaliados apenas com os critérios científicos convencionais de qualidade, devendo incluir aspectos de interdisciplinaridade, relevância e também o ponto de vista dos usuários quanto aos objetivos do manejo dos sistemas de produção (Turnhout et al., 2007; Tureta et al., 2017). O alcance de objetivos públicos pode ser facilitado por meio do uso de indicadores derivados de processos participativos, que sejam significativos para o público e reflitam o entendimento de seus valores e objetivos (Shields et al., 2002).

Metodologia

O processo de construção da metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais foi desencadeado em quatro etapas, no entanto, a quantidade de etapas irá depender dos objetivos da aplicação da própria metodologia e dos objetivos das comunidades rurais no manejo de seus sistemas de produção.

Previamente, deve-se definir se haverá integração da etnopesquisa (ex: interpretação dos conhecimentos empíricos da agricultura familiar) à pesquisa agronômica (ex: levantamento de amostras de solos no campo e análises laboratoriais), aos processos atrelados ao manejo de sistemas de produção (ex: assistência técnica e extensão rural – Ater) e/ou às políticas públicas (ex: adesão à metodologia para acessar benefícios adicionais na certificação de agricultura orgânica). Se o objetivo da aplicação da metodologia for atrelar a etnopesquisa à pesquisa agronômica, as quatro etapas minuciadas adiante serão mantidas, contudo, se a proposta for integrar a etnopesquisa aos processos sociais atrelados ao manejo de sistemas de produção e/ou às políticas públicas, a quantidade de etapas deve ser reduzida a três, com eliminação da segunda etapa (coleta de amostras no campo e análises laboratoriais). Há também a possibilidade de se integrar etnopesquisa, pesquisa agronômica, processos sociais atrelados ao manejo de sistemas de produção e políticas públicas, o que irá reverberar em quatro etapas quando as ações envolverem pesquisa agronômica e três etapas aos demais tópicos.

Quanto aos objetivos das comunidades rurais no manejo de seus sistemas de produção, a aplicação do método irá demandar três ou quatro etapas (caso envolva ou não uma pesquisa agronômica integrada, como mencionado anteriormente), além da possibilidade de envolver etapas complementares, com condições discutidas adiante.

Mas quaisquer que sejam os objetivos da aplicação da metodologia (etnopesquisa + pesquisa agronômica; etnopesquisa + processos sociais atrelados ao manejo de sistemas de produção; etnopesquisa + políticas públicas; etnopesquisa + todas as opções anteriores), a validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais apresenta grande potencial de gerar benefícios imediatos às comunidades rurais.

As etapas para aplicação da metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais são detalhadas a seguir:

Etapa 1 – Seleção e especificação dos temas de pesquisa agronômica e/ou etnopesquisa social e definição dos indicadores científicos de serviços ambientais a serem obtidos em coletas de campo e análises laboratoriais.

Ao longo da Etapa 1, a equipe responsável deve definir, primeiramente, se a aplicação da metodologia objetiva promove a integração entre a etnopesquisa (ex: interpretação dos conhecimentos empíricos da agricultura familiar) e a pesquisa agronômica (ex: levantamento de amostras de solos no campo e análises laboratoriais) aos processos atrelados ao manejo de sistemas de produção (ex: assistência técnica e extensão rural – ATER) e/ou à políticas públicas (ex: adesão à metodologia para acessar benefícios adicionais na certificação de agricultura orgânica). Caso contemple a pesquisa agronômica, a aplicação envolverá quatro etapas (ou mais, a ver detalhes na Etapa 4), caso não, a Etapa 2 será eliminada, pois se remete, exclusivamente, à investigação científica. Em seguida, a equipe deverá selecionar e especificar os temas de pesquisa agronômica (caso esteja contemplada) e/ou etnopesquisa social, assim como definir os indicadores científicos de serviços ambientais.

Nos estudos de caso apresentados no tópico “Resultados e Discussão”, a equipe do *Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais* selecionou cinco temas gerais (a seguir, em CAIXA ALTA) e quinze temas específicos (a seguir, discriminados entre parênteses) de pesquisa/etnopesquisa: (1) ACIDEZ DE SOLOS (acidez de solos; acidez potencial de solos); (2) FERTILIDADE DE SOLOS (fertilidade de solos; fertilidade potencial de solos); (3) DISpONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO (textura; porosidade; densidade de solos; densidade de partículas; condutividade hidráulica; curva de retenção de água); (4) MICROBIOLOGIA DE SOLOS (atividade enzimática microbiana – ciclo de carbono; atividade enzimática microbiana – ciclo de fósforo; atividade enzimática microbiana – ciclo de enxofre); e (5) BIOMASSA/CARBONO (estoque de carbono no solo; estoque de carbono na fitomassa) (Tabela 1).

Tabela 1. Temas de pesquisa e indicadores de serviços ambientais.

Tema de etnopesquisa e pesquisa (parâmetros)	Especificação dos temas de etnopesquisa e pesquisa	Indicador científico de serviços ambientais
Acidez de solo	Acidez de solo	pH – $CaCl_2$ (0-14) pH – água (0-14)
	Acidez potencial de solo	$H^+ Al^{3+}$ pH 7 ($cmol_c\ dm^3$)
Fertilidade de solo	Fertilidade de solo	Teor de matéria orgânica ($g\ kg^{-1}$) Teor de P ($mg\ dm^{-3}$) Teor de K ($mg\ dm^{-3}$) Teor de Ca^{2+} ($cmol_c\ dm^3$) Teor de Mg^{2+} ($cmol_c\ dm^3$) Relação Ca/Mg Relação Mg/K
	Fertilidade potencial de solo (complexo de troca catiônica)	Soma de Bases (S) = $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$($cmol_c\ dm^3$) Capacidade de Troca Catiônica (T) = S + ($H^+ + Al^{3+}$) ($cmol_c\ dm^3$) Saturação por Bases (V%) = (100 x S) / T Alumínio Trocável no Solo (Teor de Al–KCl) ($cmol_c\ dm^3$) Saturação por alumínio (m%) = (100 X Al^{3+}) / T
Água no solo Compactação de solos	Textura	Proporção relativa de areia, silte e argila no solo
	Porosidade	%
	Densidade de solo	$g\ cm^{-3}$
	Densidade de partícula	$g\ cm^{-3}$
	Condutividade hidráulica	Ko
	Curva de retenção de água	Relação $cm^3\ cm^3\ kPa^{-1}$
Microbiologia de solo	Atividade enzimática microbiana (ciclo do c)	Enzima β-glicosidase (mg p-nitrophenol kg^{-1} solo h^{-1})
	Atividade enzimática microbiana (ciclo do p)	Fosfatase ácida (mg p-nitrophenol kg^{-1} solo h^{-1})
	Atividade enzimática microbiana (ciclo do s)	Arisulfatase (mg p-nitrophenol kg^{-1} solo h^{-1})
Biomassa / carbono	Estoque de carbono no solo	$mg\ ha^{-1}$
	Estoque de carbono na fitomassa	$mg\ ha^{-1}$

Como os estudos de caso do presente trabalho contemplam integração entre etnopesquisa e pesquisa agronômica, 26 indicadores científicos de serviços ambientais também foram definidos, sendo cada qual remetido a um tema específico (que pode abarcar um ou mais indicadores científicos). Os 15 temas específicos e seus 26 indicadores científicos de serviços ambientais correspondentes definidos foram: (1) acidez de solos (pH – $CaCl_2$; pH – água); (2) acidez potencial de solos (H^+ Al^{3+} pH 7 – $cmol_c$ dm^3); (3) fertilidade de solos (teor de matéria orgânica – g kg^{-1}, teor de P – mg dm^{-3}, teor de K – mg dm^{-3}, teor de Ca^{2+} – cmolc dm^3, teor de Mg^{2+} – $cmol_c$ dm^3, relação Ca/Mg, relação Mg/K); (4) fertilidade potencial de solos (soma de bases – S – $cmol_c$ dm^3, capacidade de troca catiônica – CTC – $cmol_c$ dm^3, saturação por bases – V%; alumínio trocável no solo – teor de Al–KCl, saturação por alumínio – m%); (5) textura (proporção % entre areia, silte e argila), (6) porosidade (%), (7) densidade de solo (g cm^{-3}); (8) densidade de partículas (g cm^{-3}); (9) condutividade hidráulica (Ko); (10) curva de retenção de água (relação cm^3 cm^3 kPa^{-1}); (11) atividade enzimática microbiana – ciclo de carbono (enzima β-glicosidase – mg p-nitrophenol kg^{-1} solo h^{-1}); (12) atividade enzimática microbiana – ciclo de fósforo (fosfatase ácida – mg p-nitrophenol kg^{-1} solo h^{-1}); (13) atividade enzimática microbiana – ciclo de enxofre (arisulfatase – mg p-nitrophenol kg^{-1} solo h^{-1}); (14) estoque de carbono no solos (Mg ha^{-1}); e (15) estoque de carbono na fitomassa (Mg ha^{-1}) (Tabela 1).

A relação entre os temas de pesquisa/etnopesquisa e a prestação de serviços ambientais também podem ser traçadas pela equipe do projeto, a exemplo do realizado nos presentes estudos de caso (Tabela 2), exercício que contribui para o fortalecimento da percepção social quanto à qualidade ambiental dos sistemas de produção.

Tabela 2. Relações entre temas de pesquisa e prestação de serviços ambientais.

Tema de pesquisa e etnopesquisa (parâmetros)	Especificação dos temas de pesquisa e etnopesquisa	Prestação de serviços ambientais (avaliação ecossistêmica do milênio – onu) Turetta et al. (2016); costanza et al. (1997)
Acidez de solo	Acidez de solo Acidez potencial de solo	Serviços de provisão (relação direta: alimentos, fibras e lenha; relação indireta: recursos genéticos)
Fertilidade de solo	Fertilidade de solo	Serviços de regulação (relação indireta: controle de doenças, estoque de c no solo, reciclagem de resíduos e detoxificação)
	Fertilidade potencial de solo (complexo de troca catiônica)	Serviços de suporte (relação direta: ciclagem de nutrientes)
Água no solo Compactação de solos	Textura	Serviços de provisão (relação direta: água; relação indireta: alimentos, fibras, lenha, recursos genéticos) Serviços de regulação (relação direta: purificação da água; relação indireta: ciclagem de nutrientes, emissão de gases de efeito estufa)
	Porosidade	
	Densidade de solo	
	Densidade de partícula	
	Condutividade hidráulica	
	Curva de retenção de água	
Microbiologia de solo	Atividade enzimática microbiana (ciclo do c)	Serviços de provisão (relação direta: recursos genéticos; relação indireta: alimentos, fibras, lenha) Serviços de suporte (relação direta: produção primária, ciclagem de nutrientes, processos ecológicos; relação indireta: formação de solos)
	Atividade enzimática microbiana (ciclo do p)	
	Atividade enzimática microbiana (ciclo do s)	
Biomassa / carbono	Estoque de carbono no solo	Serviços de provisão (relação indireta: alimentos, fibras, lenha, água, recursos genéticos) Serviços de regulação (relação direta: controle de erosão; sequestro de c; relação indireta: purificação da água, controle de enchentes e desastres naturais; controle de doenças)
	Estoque de carbono na fitomassa	Serviços de suporte (relação direta: ciclagem de nutrientes, processos ecológicos; relação indireta: formação de solos)

A seleção de temas de pesquisa/etnopesquisa deve se basear nos objetivos do manejo dos sistemas de produção. No presente estudo de caso, as comunidades rurais de ambos os biomas abordados (Cerrado e Amazônia) contemplam estabelecimentos rurais com sistemas de produção em diversos estágios de transição produtiva e, apesar de suas diferenças internas, essas unidades de produção têm em comum a demanda por monitoramento contínuo da qualidade ambiental de seus sistemas de produção. A partir de entendimento mútuo entre a equipe técnica e as famílias rurais envolvidas no projeto, os temas de pesquisa/etnopesquisa foram selecionados participativamente levando-se em consideração as demandas das unidades de produção no monitoramento da qualidade ambiental de seus sistemas de produção, a disponibilidade de pesquisadores competentes nos temas selecionados e a garantia de condições operacionais de trabalho dos laboratórios da Embrapa Cerrados e da Embrapa Amazônia Oriental.

No bioma Cerrado, os estabelecimentos rurais participantes do estudo contêm sistemas orgânicos de produção consolidados e têm inserção plena no mercado consumidor do Distrito Federal (DF), e seus processos de conversão de sistemas convencionais para sistemas orgânicos, a depender da unidade de produção, foram desencadeados entre 2000 e 2007. Esses estabelecimentos rurais são vinculados à Associação de Agricultura Ecológica do Distrito Federal (AGE), instituição que cumpre o papel de organização de controle social (OCS), a terceira modalidade de certificação de agricultura orgânica do sistema oficial brasileiro. O escoamento da produção de seus sócios se dá por venda direta em diversas feiras orgânicas de Brasília (DF).

Na adesão ao presente estudo, o objetivo das unidades de produção do bioma Cerrado foi estabelecer um processo contínuo de monitoramento de qualidade ambiental de seus sistemas orgânicos de produção, afinal, como esses estabelecimentos rurais já possuem certificação oficial de agricultura orgânica e como o sistema oficinal é sempre exigente em avanços técnicos sucessivos, a aplicação da metodologia pode não só representar ganhos no manejo dos sistemas de produção orgânica a partir dos próprios conhecimentos empíricos, como também antecipar ou facilitar o cumprimento de novas exigências que surgirão no decorrer do processo de certificação. Ademais, como a modalidade OCS exige que os estabelecimentos rurais estejam abertos para visitação dos consumidores das feiras orgânicas, a demonstração de conhecimentos sobre indicadores empíricos de serviços ambientais que

comprovam qualidade ambiental dos sistemas de produção torna-se estratégica na construção da relação de confiança entre agricultura orgânica e consumidores urbanos. Posteriormente, a validação científica de conhecimentos empíricos irá se somar aos resultados das análises laboratoriais e colaborar nos aprimoramentos de manejo dos sistemas de produção orgânica.

No bioma Amazônia, os estabelecimentos rurais estão em diferentes estágios de transição agroflorestal, desde aqueles de Igarapé Açu (PA), que estabeleceram processo coletivo recente (4 a 5 anos) de trituração de capoeiras para erradicação do uso do fogo e redesenho dos sistemas de produção, com inserção parcial no mercado consumidor local, passando por aqueles de Tomé Açu (PA), que possuem experiência em sistemas agroflorestais há uma década, com inserção crescente no mercado consumidor regional e apoio da Associação de Produtores Rurais Agroecológicos e Familiares do Município de Tomé Açu (APRAFAMTA), até aqueles adeptos de sistemas agroflorestais consolidados há décadas, com inserção total no mercado consumidor via escoamento à Cooperativa Agrícola Mista de Tomé Açu (CAMTA), também de Tomé Açu (PA).

Similarmente ao bioma Cerrado, na adesão ao presente estudo, o objetivo das unidades de produção parceiras do bioma Amazônia foi estabelecer um processo contínuo de monitoramento de qualidade ambiental de seus sistemas agroflorestais, subsidiando intervenções qualitativas futuras. Parte dos estabelecimentos rurais participantes ainda utiliza insumos químicos (agrotóxicos e fertilizantes sintéticos), enquanto outra parte já superou esse desafio sem ainda oficializá-lo, logo, a adesão à metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais tem potencial de preparar as condições futuras para a certificação oficial de agricultura orgânica. A exemplo do outro bioma estudado, a validação científica de conhecimento empírico de serviços ambientais, somada aos resultados das análises laboratoriais, trará orientações para aprimoramentos no manejo dos sistemas agroflorestais amazônicos.

Em geral, a Etapa 1 deve presar pela seleção de temas de pesquisa agronômica e/ou etnopesquisa social que apresentem relevância às comunidades no monitoramento da qualidade ambiental de seus sistemas de produção. A observação prévia das unidades de produção envolvidas na adesão à metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços

ambientais é fundamental e, somente após a identificação participativa dos problemas agronômicos e ambientais a serem superados, assim como dos novos desafios futuros, é que se devem selecionar os temas de pesquisa/etnopesquisa.

Etapa 2 – Coleta de amostras no campo e análises laboratoriais

A Etapa 2 envolve coletas de amostras no campo e análises laboratoriais relativas aos temas de pesquisa agronômica selecionados. No presente estudo, os temas de pesquisa agronômica selecionados, que se encontram registrados na Tabela 1, exigiram coletas de amostras deformadas de solos (análises de acidez de solos, fertilidade de solos e de atividade enzimática microbiana), amostras indeformadas de solos (análises de disponibilidade de água nos solos) e de serrapilheira (estimativa de estoques de carbono no solo e na fitomassa). As coletas de amostras no campo e as análises laboratoriais são condicionadas às decisões prévias tomadas na Etapa 1. Nos casos de coletas de amostras deformadas de solos para análises de acidez e fertilidade de solos (química de solos) e de coletas de amostras indeformadas de solos para análises de disponibilidade de água nos solos (física de solos), foram abertas três trincheiras por tipo de uso da terra estudado e coletadas amostras nas profundidades de 0 cm–5 cm, 5 cm–10 cm, 10 cm–20 cm, 20 cm–40 cm, 40 cm–60 cm, 60 cm–80 cm e 80 cm–100 cm. Já para os casos de coletas de amostras deformadas de solos para análises de atividade enzimática microbiana (biologia de solos) e de coletas de serrapilheira para estimar estoques de carbono no solo e na fitomassa (biomassa/carbono), as coletas se limitaram à camada superficial dos solos.

Para os estudos de caso presentes, os sistemas de produção (agricultura orgânica do bioma Cerrado; transição agroflorestal no bioma Amazônia) foram classificados como “sistemas produtivos integrados (SpIs)”, sendo coletadas amostras em áreas com diferentes estágios de desenvolvimento, visando traçar uma curva evolutiva de comportamento dos indicadores científicos de serviços ambientais ao longo do processo de desenvolvimento dos próprios SpIs estudados. Adicionalmente, outros tipos de uso da terra foram definidos como controle de pesquisa, isto é, foram realizadas coletas de solos e serrapilheira, nos mesmos estabelecimentos rurais e nas mesmas profundidades anteriormente mencionados, em matas nativas, áreas em regeneração natural e pastagens, além de coletas em áreas de monocultivos

convencionais em estabelecimentos rurais vizinhos. Há de se considerar que antes do procedimento de coletas de amostras de solos e serrapilheira, é imprescindível que os pesquisadores envolvidos observem as classificações de solos dos estabelecimentos rurais, pois comparações futuras quanto ao comportamento de indicadores de serviços ambientais só terão validade científica desde que as coletas tenham sido realizadas em classificações pedológicas similares.

Caso os estabelecimentos rurais envolvidos na pesquisa agronômica estejam alocados em classificações de solos distintas, o procedimento adequado será adotar o mesmo protocolo de pesquisa mencionado no parágrafo anterior.

Após as coletas das amostras de solos e de serrapilheira, elas devem ser encaminhadas para análises laboratoriais. Os resultados obtidos irão subsidiar a interpretação do comportamento dos indicadores de serviços ambientais dentro dos SpIs ao longo do tempo, assim como entre os SpIs e as áreas de controle (matas nativas, áreas em regeneração natural, pastagens e monocultivos convencionais). Os resultados obtidos também serão importantes para apontar mudanças qualitativas no manejo dos sistemas de produção e no próprio uso de indicadores empíricos de serviços ambientais.

No presente estudo, as amostras de solos e de serrapilheira foram analisadas em laboratórios da Embrapa Cerrados e da Embrapa Amazônia Oriental, e os resultados obtidos estão em fase de interpretação pela equipe do projeto e gerarão publicações que se somarão aos estudos já disponibilizados por Turetta e Mattos (2018) e Turetta et al. (2016a; 2016b; 2016c; 2015) com resultados parciais do *Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais*.

A quantidade de repetições na coleta de amostras de solos e de serrapilheira irá depender do tamanho, das classificações de solos e dos tipos de uso da terra existentes nas áreas de estudo, assim como dos objetivos do manejo dos sistemas de produção estudados (que podem demandar coletas de outros materiais bióticos ou abióticos). Já a quantidade de estabelecimentos rurais envolvida no estudo não é uma variável condicionada à quantidade de repetições necessárias na coleta de amostras de solos e de serrapilheira dentro de cada classificação de solos, ao revés, é uma das variáveis que condiciona a quantidade de repetições das mesmas coletas (a partir da soma de cada classificação de solos do conjunto de unidades de produção

envolvidas). Há de se compreender que a definição da quantidade de estabelecimentos rurais é uma variável do processo social, ou seja, a adoção da metodologia de validação científica de indicadores de serviços ambientais deve ser efetivada de modo coletivo e o número de unidades de produção e a quantidade de hectares que elas representam são condicionados pela quantidade de sócios (de uma entidade que cumpre o papel de certificadora nas modalidades SpG e OCS do sistema oficial de certificação de agricultura orgânica) interessada na adoção da metodologia proposta neste estudo.

Etapa 3 – Levantamento de indicadores empíricos de serviços ambientais

A aplicação da metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais na Etapa 3 envolve uma visita de um membro da equipe do projeto por unidade de produção envolvida no mesmo projeto. Caso a quantidade de unidades de produção seja muito robusta em relação à capacidade operacional da equipe do projeto, grupos de famílias vinculadas a um conjunto de 3 a 5 estabelecimentos rurais vizinhos e com classificação de solos que permita comparações com validade científica devem ser organizados para a realização do levantamento de indicadores empíricos de serviços ambientais a campo. Nesse caso, a aplicação da metodologia pode ser dada no conjunto dos estabelecimentos rurais do mesmo grupo ou em parte deles, desde que todos os participantes se sintam contemplados com as áreas visitadas. Por exemplo, se uma das famílias participantes do grupo verificar que um ou mais indicadores empíricos de serviços ambientais utilizados por ela não esteja(m) presente(s) nos estabelecimentos rurais visitados, o grupo deve finalizar o exercício na unidade de produção daquela mesma família, com abordagem restrita à pendência identificada por ela.

O levantamento de indicadores empíricos de serviços ambientais exige a formulação prévia de um questionário para auxiliar as atividades de campo. Nesse sentido, não há um modelo único, afinal, seu conteúdo irá variar conforme a seleção e a especificação dos temas de pesquisa agronômica e/ou etnopesquisa social estabelecidos na Etapa 1. Contudo, qual seja o conteúdo dos questionários, eles não podem prescindir de perguntas interpretáveis à realidade da agricultura familiar envolvida no projeto. Com o questionário em mãos, o membro do projeto deve realizar transectos (linha imaginária traçada na unidade de produção que subsidiará a caminhada coletiva e o registro

das declarações sobre conhecimento empírico relativo à etnopesquisa) com a família ou com o grupo de famílias envolvido no exercício, e no decorrer da atividade, anotar os indicadores empíricos de serviços ambientais relacionados a cada tema de etnopesquisa. Além das anotações, o membro da equipe do projeto deve fotografar os indicadores empíricos e, quando possível, fazer coleta de materiais, dessa forma, as dúvidas surgidas a campo (ex: nome popular e/ou científico de uma planta mencionada como indicadora empírica de acidez de solos) poderão ser sanadas por outros membros da equipe do projeto especialistas no tema de etnopesquisa em questão, por outros especialistas e/ou por consultas à literatura científica nacional e internacional relativa ao mesmo tema.

Nos estudos de caso apresentados no próximo tópico, foram visitados cinco estabelecimentos rurais familiares de agricultura orgânica localizados no Território Águas Emendada (bioma Cerrado, Distrito Federal e Entorno, DF/GO) e mais cinco unidades de produção familiar em transição agroflorestal localizadas no Território Nordeste Paraense (bioma Amazônia, Pará, PA). Deve-se considerar que os estudos de caso trabalhados na presente publicação cumpriram o objetivo de conceber a metodologia e testar a aplicação dela de modo preliminar. No caso particular deste estudo, as visitas dos membros da equipe do projeto foram realizadas individualmente por se tratar de uma proporção exequível entre pesquisadores e estabelecimentos rurais. O modelo de questionário utilizado a campo nos estudos de caso encontra-se no Anexo I e o modelo para sistematização dos dados levantados a campo, para subsidiar a Etapa 4, consta no Anexo II. Adaptações, caso a caso, devem ser realizadas em ambos os questionários.

Etapa 4 – Oficina de Validação Científica de Indicadores Empíricos de Serviços Ambientais

A Etapa 4 prevê a realização da Oficina de Validação Científica de Indicadores Empíricos de Serviços Ambientais. E dela em diante, tem-se início o processo de monitoramento da qualidade ambiental dos sistemas de produção com base nos indicadores empíricos de serviços ambientais cientificamente validados nesta etapa.

A oficina deve prever a presença de agricultores/as familiares, técnicos/as, pesquisadores/as, com duração de uma ou dois dias, a depender da quantidade de temas de pesquisa/etnopesquisa selecionados e do número

de indicadores empíricos de serviços ambientais levantados a campo. Já a quantidade de participantes da oficina irá depender do número de famílias presentes em um mesmo grupo comunitário envolvido na modalidade de SpG ou OCS da certificação oficial de agricultura orgânica. No entanto, o número recomendável à realização da oficina é de, no máximo, 30 pessoas, e caso o grupo comunitário exceda o mesmo patamar, a plenária final pode ser subdividida em plenárias por tema de pesquisa/etnopesquisa.

No primeiro período ou dia da oficina, os participantes serão divididos em grupos por tema de pesquisa/etnopesquisa, sendo alocados em cada grupo os agricultores/as familiares, técnicos/as, pesquisadores/as com conhecimento notório ou academicamente especializado no tema. Em cada grupo deve constar um computador e um arquivo com a sistematização dos indicadores empíricos de serviços ambientais levantados a campo (Anexo II). Cada grupo deve designar um moderador e um relator. O moderador irá apresentar a pergunta proferida a campo e o conjunto de indicadores empíricos de serviços ambientais apontados para aquela mesma pergunta. Em seguida, cada indicador empírico será discutido pelo grupo, um a um, e classificado entre SIM (com validade científica), NÃO (sem validade científica), SIM SOB CONDIÇÃO (com validade científica desde que observados outros indicadores manifestos) e OBJETO DE P&D (sem informação científica; objeto potencial de pesquisa). O relator deve marcar a classificação na coluna da esquerda (Anexo II).

A classificação dos indicadores empíricos de serviços ambientais deve ser construída por consenso (sem a aplicação de notas mínimas ou exigência de “n” respostas), e nesse contexto, a presença de agricultores e agricultoras familiares é de fundamental importância nas discussões, pois poderão apontar, mais detalhadamente, como os mesmos indicadores empíricos se comportam e são utilizados pelas famílias no dia a dia, eliminando as possibilidades de erros de interpretação de suas respostas a campo por técnicos/as, pesquisadores/as. No passo seguinte, o moderador proporá uma redação, baseada em literatura nacional e/ou internacional, que justifique a classificação designada ao indicador empírico em questão e, após consolidar a redação, o relator deve inserir as referências bibliográficas. Ressalta-se que o preenchimento da coluna da direita deve ser procedido somente se o indicador empírico em questão for classificado entre SIM, NÃO ou SIM SOB CONDIÇÃO na coluna da esquerda, pois se a escolha for por OBJETO DE

P&D, basta o relator inserir a frase padrão “sem informação científica – objeto potencial de pesquisa” na coluna da direita (Anexo II).

No segundo período ou dia da oficina, os participantes se disporão em plenária e os resultados de cada grupo por tema de pesquisa/etnopesquisa serão apresentados pelos respectivos moderadores. A apresentação deve prezar pela projeção do arquivo com a sistematização dos indicadores empíricos de serviços ambientais levantados a campo (Anexo II) e, quando houver discordâncias quanto à classificação dos indicadores, redações apresentadas e/ou literaturas utilizadas, advindas de participantes de outros grupos, propostas devem ser apresentadas e discutidas e, quando for o caso, o relator deve efetuar as modificações construídas por consenso.

Após o fechamento dessas quatro etapas, tem-se início o processo de monitoramento da qualidade ambiental dos sistemas de produção com base nos indicadores empíricos de serviços ambientais classificados como SIM (com validade científica) e SIM SOB CONDIÇÃO (com validade científica desde que observados outros indicadores manifestos). Vale ressaltar que as relações entre indicadores de serviços ambientais são complexas e integradas, logo, a observação contínua dos fenômenos ambientais irá aprimorar o processo de monitoramento da qualidade ambiental dos sistemas de produção, sobretudo, no uso de indicadores de serviços ambientais classificados como SIM SOB CONDIÇÃO (com validade científica desde que observados outros indicadores manifestos).

Como será observado no tópico *Resultados e Discussão*, para cada tema de pesquisa/etnopesquisa, os usuários da metodologia devem recorrer a um conjunto de indicadores. Por exemplo, no bioma Cerrados, para o tema “acidez de solo”, surgiram diversos indicadores empíricos de serviços ambientais remetidos a acidez (solos não corrigidos) e não acidez (solos corrigidos). Para “acidez de solo”, dois indicadores foram classificados com SIM (com validade científica e uso prontamente autorizado para monitoramento ambiental) e dez como SIM SOB CONDIÇÃO (com validade científica desde que observados outros indicadores manifestos). Nesse último caso, portanto, os dez indicadores selecionados devem ser observados de modo integral, pois as dúvidas eventuais sobre a pertinência de uso de um indicador poderão ser sanadas a partir da observação de um conjunto de indicadores na mesma condição. Se for o caso, considerar também as condições estabelecidas

para um indicador somente (que poderá ocorrer em algumas situações, mas não sempre), sobretudo, se o conjunto de indicadores empíricos de serviços ambientais classificados como SIM SOB CONDIÇÃO for composto por quantidade muito restrita de opções, entre uma e três.

Se a etnopesquisa estiver integrada a uma pesquisa agronômica, os indicadores empíricos de serviços ambientais classificados como OBJETO DE P&D (sem informação científica) tornam-se objeto potencial de pesquisa para nova fase deste projeto ou de outros projetos de pesquisa agronômica. Já os indicadores empíricos de serviços ambientais classificados como NÃO (sem validade científica) devem ser descartados do monitoramento da qualidade ambiental de sistemas de produção.

Nas modalidades SpG e OCS da certificação oficial de agricultura orgânica, as visitas de avalição da conformidade de serviços ambientais (em outras palavras, o monitoramento participativo para verificar cumprimento das normas oficiais), que tem periodicidade previamente definida pelos participantes (em geral, entre uma a quatro por safra), devem incluir um diagnóstico sobre a aplicação dos resultados obtidos na oficina de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais em cada unidade de produção, com levantamento dos pontos fortes e fracos e, uma vez ao ano, oficinas similares à proposta na Etapa 4 devem ser organizadas para avaliar e ajustar a aplicação da mesma metodologia no monitoramento da qualidade ambiental de sistemas de produção, com discussão centrada nos pontos fortes e fracos levantados ao longo da safra agrícola anterior e, se for o caso, na incorporação de novos indicadores empíricos de serviços ambientais apresentados e classificados com SIM (com validade científica) e SIM SOB CONDIÇÃO (com validade científica desde que observados outros indicadores manifestos).

Na aplicação dos estudos de casos apresentados no próximo tópico, a equipe do *Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais* realizou uma oficina por biomas, envolvendo a equipe do projeto, pesquisadores/as da Embrapa Cerrados e Embrapa Amazônia Oriental (em seus respectivos biomas), pesquisadores/as, técnicos/as e gestores/as do *Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement* (CIRAD), Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal (EMATER/DF) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) no bioma Cerrado, e Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA) no bioma Amazônia.

O próximo tópico apresenta e discute os resultados da aplicação da metodologia de validação científica de indicadores de serviços ambientais em cinco estabelecimentos rurais familiares de produção orgânica do Território Águas Emendadas (bioma Cerrado, Distrito Federal e Entorno, DF/GO) e em mais cinco unidades de produção familiar em transição agroflorestal do Território Nordeste Paraense (bioma Amazônia, Pará, PA), de modo que seus resultados possam colaborar na gestão ambiental dos estabelecimentos familiares rurais adeptos à produção orgânica e aos sistemas agroflorestais, assim como embasar gestores públicos na concepção de benefícios adicionais vinculados às políticas públicas voltadas à agricultura familiar, à agricultura orgânica, aos sistemas agroflorestais e aos sistemas agroecológicos em geral.

O *Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais* possui um componente específico para avaliações laboratoriais de temas de pesquisa agronômica e etnopesquisa social (acidez de solo, fertilidade de solo, disponibilidade de água no solo, microbiologia de solo, biomassa e carbono), que se somam e fortalecem o processo de validação científica de indicadores de serviços ambientais (Turetta; Mattos, 2018; Turetta et al., 2016a; 2016b; 2016c; 2015). Esse componente será mantido na Fase II do mesmo projeto, de modo a avaliar, de forma integrada, a relação dos indicadores empíricos de serviços ambientais elencados na Fase I com os temas específicos de pesquisa agronômica e etnopesquisa social, constituindo uma fase de auditagem dos resultados encontrados.

Resultados e Discussão

Nos exercícios de campo, no bioma Cerrado, foram levantados 101 indicadores empíricos de serviços ambientais, sendo 56 indicadores químicos (Q) (acidez, acidez potencial, fertilidade e fertilidade potencial de solos); 30 indicadores físico-hídricos (FH) (compactação e disponibilidade de água nos solos); e 15 indicadores biológicos (B) (microbiologia, macrobiologia, biomassa e carbono). Em seguida, foi realizada a *Oficina de Validação Científica de Indicadores Empíricos do Bioma Cerrado*, em que participantes de áreas de conhecimento afins agruparam os 101 indicadores empíricos do bioma em 32 indicadores com validade científica (código “SIM”) (14Q, 13FH, 5B), 32 indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO (código “SIM SOB

CONDIÇÃO") (16-Q, 9-FH, 7-B); 24 indicadores sem validade científica (código "NÃO") (15-Q, 6-FH, 3-B); e 13 indicadores sem informação científica (código "OBJETO DE P&D") (11-Q, 2-FH, zero-B). Os resultados preliminares apontam que todos os indicadores científicos tiveram, ao menos, a correspondência de um indicador empírico classificado com códigos "SIM" ou "SIM SOB CONDIÇÃO".

Entre os 101 indicadores empíricos de serviços ambientais levantados no bioma Cerrado, 32 indicadores (32%) classificados como SIM já podem ser utilizados a campo, outros 32 indicadores (32%) classificados como SIM SOB CONDIÇÃO podem ser utilizados a campo desde que observadas outras condições (se houver entre 1 e 3 indicadores assim classificados, devem ser observadas as condições para os próprios indicadores; se houver mais de 3, o conjunto de indicadores SOB CONDIÇÃO devem ser utilizados de modo integral, além da consideração das condições apontadas na oficina aos próprios indicadores, quando houver), enquanto 13 indicadores (13%) se tornam OBJETO DE P&D potenciais, com descarte de 24 indicadores (24%) classificados como NÃO (sem validade científica). Os resultados demonstram que 76% dos indicadores empíricos levantados no bioma Cerrado têm, SOB CONDIÇÃO ou podem ter validade científica, uma marca significativa que expressa a capacidade de observação da agricultura familiar (Tabela 3; Figuras 2, 3, 4, 5, 6).

Tabela 3. Sistematização e agrupamento de indicadores empíricos - Bioma Cerrado.

Indicador de serviço ambiental (químico, biológico e físico-hídrico)	Frequência (n) de respostas				
	Total	Sim	Não	Sim sob condição	Objeto de P&D
Quadro I – indicadores químicos de solos	-	-	-	-	-
Pergunta: o que indica acidez de solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de acidez / solos não corrigidos	16	2	1	10	3
Indicadores de não acidez / solos corrigidos	4	0	3	1	0
Pergunta: o que indica fertilidade de solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de baixa fertilidade	3	1	0	2	0
Indicadores de alta fertilidade	33	11	11	3	8
Subtotal	56 (55%)	14	15	16	11
Quadro II – indicadores biológicos de solos	-	-	-	-	-
Pergunta: o que indica vida no solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de microbiologia de solo	4	2	2	0	0
Indicadores de macrobiologia de solo	8	2	1	5	0
Pergunta: o que indica biomassa na superfície do solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de biomassa na superfície do solo	3	1	0	2	0
Subtotal	15 (15%)	5	3	7	0
Quadro III – indicadores físico-hídricos de solos	-	-	-	-	-
Pergunta: o que indica compactação de solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de compactação de solo	4	0	1	3	0
Indicadores de não compactação de solo	8	4	0	4	0
Pergunta: o que indica disponibilidade de água no solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de água no solo	10	3	4	1	2
Indicadores de escassez de água no solo	3	1	1	1	0
Indicadores de excesso de água no solo	4	4	0	0	0
Indicadores de água profunda no solo	1	1	0	0	0
Subtotal	30 (30%)	13	6	9	2
Total geral de indicadores mencionados	101	-	-	-	-
Subtotal por classificação de indicadores	-	32	24	32	13
Total de indicadores selecionados (sim + sim SOB CONDIÇÃO)	64 (63%)	32	-	32	-

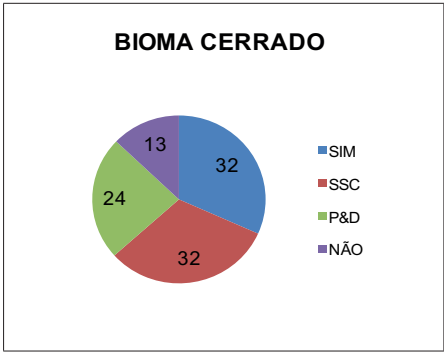

Figura 2. Classificação de indicadores empíricos de serviços ambientais – Cerrado.

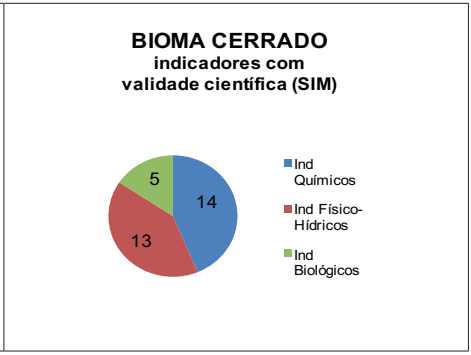

Figura 3. Classificação de indicadores com validade científica – Cerrado.

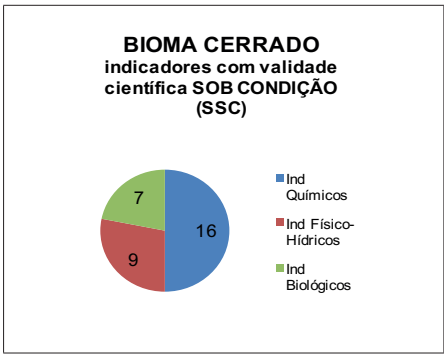

Figura 4. Classificação de indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO – Cerrado.

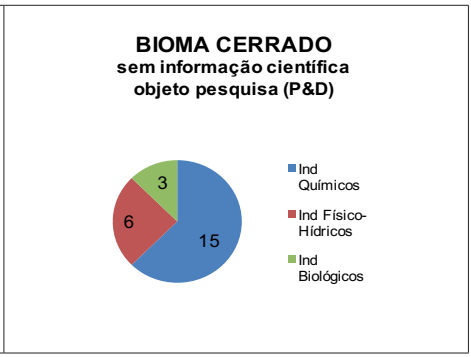

Figura 5. Classificação de indicadores sem informação científica/objeto P&D – Cerrado.

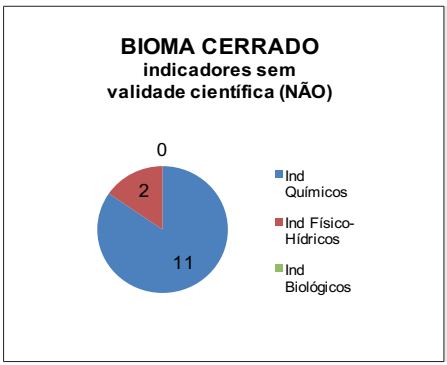

Figura 6. Classificação de indicadores sem validade científica – Cerrado.

LEGENDAS

SIM - indicador empírico de serviços ambientais com validade científica

SSC - indicador empírico de serviços ambientais com validade científica SOB CONDIÇÃO

P&D - indicador empírico de serviços ambientais sem informação científica (objeto potencial de P&D)

NÃO - indicador empírico de serviços ambientais sem validade científica

Nos exercícios de campo, no bioma Amazônia, foram levantados 51 indicadores empíricos de serviços ambientais, sendo 21 químicos (Q) (acidez, acidez potencial, fertilidade e fertilidade potencial de solos); 22 físico-hídricos (FH) (compactação e disponibilidade de água nos solos); e 8 biológicos (B) (microbiologia, macrobiologia, biomassa e carbono). Posteriormente, foi realiza a *Oficina de Validação Científica de Indicadores Empíricos do Bioma Amazônia*, quando foram agrupados 51 indicadores empíricos do bioma em 31 indicadores com validade científica (código "SIM") (8-Q, 16-FH, 7-B); 14 com validade científica SOB CONDIÇÃO (código "SIM SOB CONDIÇÃO") (11-Q, 2-FH, 1-B); 3 sem validade científica (código "NÃO") (2-Q, 1-FH, zero--B); e 3 sem informação científica (código "OBJETO DE P&D") (zero-Q, 3-FH, zero-B).

Os resultados preliminares apontam que todos os indicadores científicos tiveram, ao menos, a correspondência de um indicador empírico classificado com códigos "SIM" ou "SIM SOB CONDIÇÃO", exceto aos indicadores de água profunda, sem manifestação de conhecimento empírico com validade científica, porém, trata-se de um indicador de menor importância no bioma Amazônia, afinal, ele apresenta precipitação média acima de 2 mil milímetros e com chuvas bem distribuídas ao longo das estações do ano.

Entre os 51 indicadores empíricos de serviços ambientais levantados no bioma Amazônia, 31 (61%) classificados como SIM já podem ser utilizados a campo, outros 21 (41%) classificados como SIM SOB CONDIÇÃO podem ser utilizados a campo desde que observadas outras condições (se houver entre um e três indicadores assim classificados, devem ser observadas as condições para os próprios indicadores; se houver mais de três, o conjunto de indicadores SOB CONDIÇÃO devem ser utilizados de modo integral, além da consideração das condições apontadas na oficina aos próprios indicadores, quando houver), enquanto três indicadores (6%) se tornam OBJETO DE P&D potenciais, com descarte de três indicadores (6%) classificados como NÃO (sem validade científica).

Os resultados demonstram que 94% dos indicadores empíricos levantados no bioma Amazônia têm, SOB CONDIÇÃO ou podem ter validade científica, uma marca mais significativa que o caso anterior e que expressa a capacidade de observação da agricultura familiar (Tabela 4; Figuras 7, 8, 9, 10, 11).

Para os indicadores biológicos de solos, a validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais foi centrada em microbiologia de solos (análises de atividade enzimática) e biomassa/carbono (Tabelas 1 e 2), porém, no exercício de campo (Etapa 3), os agricultores/as familiares apontaram indicadores de microbiologia e macrobiologia, além de biomassa/carbono (Tabelas 3 e 4), afinal, não é uma prática comum a observação empírica da atividade enzimática no solo, sendo complexa e, muitas vezes, inexequível, a assimilação desse conhecimento pela agricultura familiar.

Tabela 4. Sistematização e agrupamento de indicadores empíricos – Bioma Amazônia.

Indicador de serviço ambiental (químico, biológico e físico-hídrico)	Frequência (n) de respostas				
	Total	Sim	Não	Sim sob condição	Objeto de P&D
Quadro IV – indicadores químicos de solos	-	-	-	-	-
Pergunta: o que indica acidez de solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de acidez / solos não corrigidos	7	2	0	5	0
Indicadores de não acidez / solos corrigidos	2	1	1	0	0
Pergunta: o que indica fertilidade de solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de baixa fertilidade	5	1	1	3	0
Indicadores de alta fertilidade	7	4	0	3	0
Subtotal	21 (41%)	8	2	11	0
Quadro II – indicadores biológicos de solos	-	-	-	-	-
Pergunta: o que indica vida no solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de microbiologia de solo	1	1	0	0	0
Indicadores de macrobiologia de solo	4	3	0	1	0
Pergunta: o que indica biomassa na superfície do solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de biomassa na superfície do solo	3	3	0	0	0
Subtotal	8 (16%)	7	0	1	0
Quadro III – indicadores físico-hídricos de solos	-	-	-	-	-
Pergunta: o que indica compactação de solo?	-	-	-	-	-
Indicadores que evitam compactação de solo	3	2	0	1	0
Indicadores que indicam compactação de solo	4	4	0	0	0
Pergunta: o que indica disponibilidade de água no solo?	-	-	-	-	-
Indicadores de água no solo	5	3	0	1	1
Indicadores de escassez de água no solo	5	3	0	0	2
Indicadores de excesso de água no solo	4	4	0	0	0
Indicadores de água profunda no solo	1	0	1	0	0
Subtotal	22 (43%)	16	1	2	3
Total geral de indicadores mencionados	51	-	-	-	-
Subtotal por classificação de indicadores	-	31	3	14	3
Total de indicadores selecionados (sim + sim SOB CONDIÇÃO)	45 (88%)	31	-	14	-

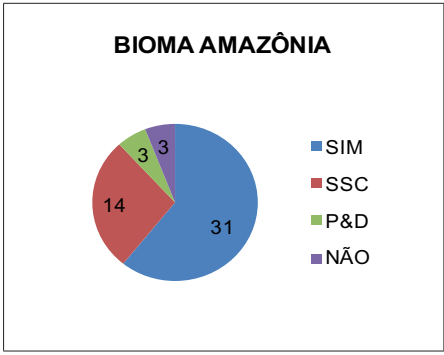

Figura 7. Classificação de indicadores empíricos de serviços ambientais – Amazônia.

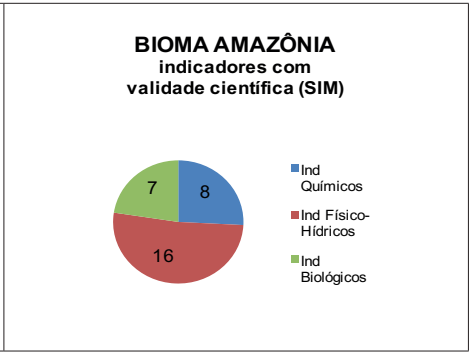

Figura 8. Classificação de indicadores com validade científica – Amazônia.

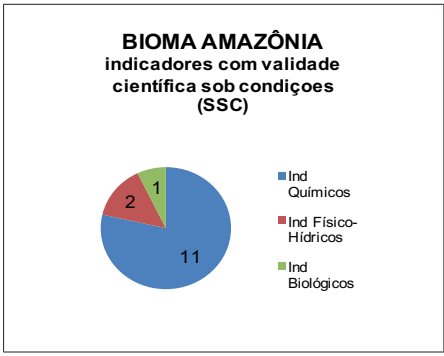

Figura 9. Classificação de indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO – Amazônia.

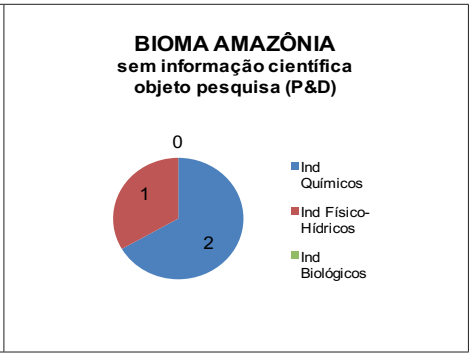

Figura 10. Classificação de indicadores sem informação científica/objeto P&D – Amazônia.

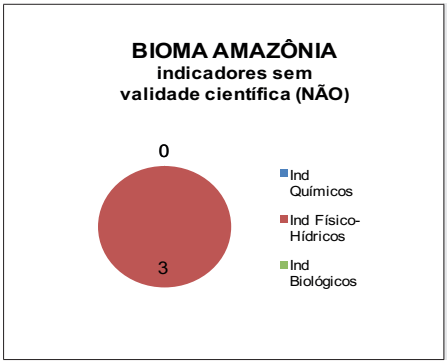

Figura 11. Classificação de indicadores sem validade científica – Amazônia.

LEGENDAS

SIM - indicador empírico de serviços ambientais com validade científica

SSC - indicador empírico de serviços ambientais com validade científica SOB CONDIÇÃO

P&D - indicador empírico de serviços ambientais sem informação científica (objeto potencial de P&D)

NÃO - indicador empírico de serviços ambientais sem validade científica

Na Tabela 5, observam-se 16 indicadores empíricos de *Acidez de Solos* (ou indicadores de *Solos não Corrigidos*, conforme terminologia dialogada junto aos agricultores familiares) no bioma Cerrado, distribuídos entre 2 indicadores com validade científica; 10 com validade científica SOB CONDIÇÃO; 3 sem informações científicas que se tornam objetos de pesquisa e 1 sem validade científica.

Vale lembrar que, de maneira geral, em quadro de acidez de solos, as funções ecossistêmicas serão comprometidas e a prestação de serviços ambientais será potencialmente reduzida. Entre os dois indicadores com validade científica, a lobeira (*Solanum lycocarpum*) e a mimosa (*Acutistipulaou gemulata*), espécies nativas do bioma Cerrado, foram apontadas como indicadores de solos ácidos. De acordo com Souza e Lorenzi (2005), a lobeira (*Solanum lycocarpum*) está amplamente distribuída pelo cerrado brasileiro, é considerada uma espécie invasora das pastagens e apresenta preferência por solos ácidos e arenosos. Apesar de não haver informação científica que comprove ou refute o conhecimento empírico sobre a mimosa (*Acutistipulaou gemulata*), os pesquisadores da Embrapa Cerrados participantes da Oficina de Validação Científica de Indicadores Empíricos do Bioma Cerrado classificaram ambas as espécies nativas como indicadores com validade científica, afinal, são espécies nativas de um bioma com alta presença de solos ácidos. As contribuições científicas trazidas por Silva et al. (2015) e Souza e Lobato (2003) acerca da ocorrência de acidez de solos no bioma Cerrado corroboram indiretamente esses conhecimentos empíricos.

Para os nove indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO, os indicadores empíricos apontados foram área nova não cultivada; cor amarela das plantas cultivadas; plantas cultivadas sem vigor, que se dividem em dois indicadores: morango-murcho (*Fragaria vesca*) e batata rachada (*Solanum tuberosum*); cor verde clara das pastagens, que se manifestam por dois indicadores: a braquiária (*Brachiaria decumbens*) e o capim-elefante – *Pennisetum purpureum*); pastagens sem vigor; uso excessivo de esterco de galinha; presença de cupinzeiro – *Coptotermes formosanus*; presença de formigas cortadeiras saúvas (*Atta* sp) e quenquéns (*Acromyrmex* sp).

Tabela 5. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***acidez / solo não corrigido***.

Acidez / Solo não corrigido
Presença de árvores nativas (Frequência: n = 2) Lobeira – *Solanum lycocarpum* (X) SIM; NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de árvores nativas (Frequência: n = 2) Mimosa – *Acutistipulaou gemulata* (X) SIM; NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Área nova não cultivada (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor amarelada das plantas cultivadas (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas sem vigor (Frequência: n = 2) Morango murcho – *Fragaria vesca* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas sem vigor (Frequência: n = 2) Batata rachada – *Solanum tuberosum* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor verde clara das pastagens (Frequência: n = 2) Braquiária – *Brachiaria* sp ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor verde clara das pastagens (Frequência: n = 2) Capim-elefante – *Pennisetum* sp ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Pastagens sem vigor (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Uso excessivo de esterco de galinha (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de cupinzeiro (Frequência: n = 1) *Termitidae, Rhinotermitidae, Kalotermitidae* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de formigas cortadeiras saúvas (*Atta sp*) e quenquéns (*Acromyrmex sp*) (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de plantas espontâneas (Frequência: n = 2) Tiririca – *Cyperus* sp ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de plantas espontâneas (Frequência: n = 2) Vassourinha – *Sida* sp ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de capim-andropogon (Frequência: n = 1) *Andropogon* sp ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Cor do solo – amarela (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Quanto à área não cultivada, em geral, solos do bioma Cerrado são naturalmente ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes (Sousa; Lobato, 2004). No entanto, os valores de pH de sistemas de produção devem se distanciar do pH original (sob vegetação nativa), centrando as comparações entre sistemas com manejos diferenciados, sejam relacionadas aos *inputs* químicos ou de matéria orgânica, por exemplo. Assim, efeitos indiretos dessa variável (pH ou acidez de solos) podem ser avaliados empiricamente pelas condições de coloração das culturas (diagnose visual das deficiências nutricionais ou da toxidez), profundidade de enraizamento ou espessura e coloração de raízes. Decorrente do comportamento das raízes no perfil, espera-se melhor agregação do solo e estabilização do carbono, com relação direta às diversas funções do solo de interesse agronômico, como retenção de água, ciclagem de nutrientes e fluxo de gases. Vale a ressalva de que ambientes naturais (sem intervenção humana) em regiões tropicais apresentam solos naturalmente ácidos (salvo exceções), não significando, porém, restrição na oferta de serviços ecossistêmicos desses ambientes.

A cor amarela das plantas cultivadas pode se manifestar devido a problemas nutricionais (ex: deficiência de nitrogênio – N) decorrentes ou não da acidez ou ainda de problemas fitopatológicos (ex: Mal de Shigatoka nas bananeiras – *Musa sapientum*), logo, há de se observar a manifestação dos demais indicadores apontados acima. Sobre plantas cultivadas sem vigor, não somente a acidez e a fertilidade de solos levam à perda de vigor, portanto, deve-se fazer uso do indicador desde que observada outras variáveis, como escassez de água e ou sombreamento excessivo (Sousa; Lobato, 2004).

A cor verde clara das pastagens, a exemplo da cor amarela de plantas cultivadas, pode se manifestar devido a problemas nutricionais (ex: deficiência de nitrogênio – N), decorrentes ou não da acidez ou ainda de problemas fitopatológicos (doenças diversas em pastagens), assim, a observação desses outros fenômenos é condição para uso do indicador empírico em questão. E a exemplo das plantas cultivadas sem vigor, não somente acidez e fertilidade de solos levam à perda de vigor das pastagens, portanto, deve-se fazer uso do presente indicador desde que observada outras variáveis, como escassez ou excesso de água e/ou sombreamento excessivo (Sousa; Lobato, 2004).

Sobre o uso excessivo de esterco de galinha, a manifestação da acidez vai depender da composição do adubo orgânico (o pH pode aumentar se

houver excesso de óxido de cálcio no insumo) (Sousa; Lobato, 2004) e da quantidade aplicada do produto (sempre considerando a relação entre composição e quantidade aplicada, afinal, por ser um produto artesanal, pode haver profundas variações conforme o manejo e o fornecedor do produto). Portanto, o uso do indicador requer a observação de outros indicadores SOB CONDIÇÃO apontadas empiricamente nessa área de conhecimento e/ou por meio de análise química complementar. De maneira geral, a cama de frango é rica em N, que pode acarretar em lixiviação de NO_3 em solos de textura mais leve, diminuindo seu potencial agronômico, e é da nitrificação do N orgânico também que a acidez se origina independentemente do tipo de solo. Ademais, o uso da cama de franco pode ter seu uso restringido caso alguns metais pesados estejam acima dos limites estabelecidos pela Resolução 420 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Ou seja, a avaliação do impacto do uso da cama de frango no solo de forma empírica é dependente de uma avaliação mais complexa (ver Corrêa; Miele, 2011). E em pastagens, a restrição de uso de cama diretamente sobre o solo deve ser atendida por força da Instrução Normativa N.º 25, de julho de 2009.

A literatura atesta que não há relação direta entre acidez de solos e presença de cupinzeiro (*Coptotermes formosanus*), no entanto, como cupins migram à superfície em solos em caso de deficiência de nitrogênio (N) e fósforo (P), em alguns casos pode haver relação indireta, pois a acidez de solos compromete a disponibilidade de nutrientes (Baretta et al., 2011; Lima et al., 2011). Em relação às formigas cortadeiras saúvas (*Atta* sp) e quenquéns (*Acromyrmex* sp), elas ocorrem em condições naturais de solos ácidos e de baixa fertilidade no bioma Cerrado, porém, suas presenças podem não significar, necessariamente, que a área esteja com solos ácidos, podendo ocorrer em áreas com acidez e fertilidade corrigidas, mas nesse caso, essas áreas são adjacentes às áreas ácidas de onde migram as formigas, desse modo, passa a ser fundamental observar a paisagem para o uso correto do indicador (Melo et al., 2009). Sob o ponto de vista empírico, as ocorrências de cupins e formigas desses gêneros podem estar associados também a perdas de seus inimigos naturais, o que poderia ser usado como estratégia na avaliação da qualidade desses agroecossistemas. Assim, a observação desses indicadores deve ser integrada a dos demais indicadores empíricos SOB CONDIÇÃO selecionados, além da observação dos indicadores de fertilidade de solos listados anteriormente.

Quanto à presença de plantas espontâneas como tiririca (*Cyperus* sp) e vassourinha (*Sida* sp), assim como a da pastagem capim-andropogon (*Andropogon* sp), não há informação científica na literatura acadêmica que baseie seus usos como indicadores de acidez de solos, logo, o conhecimento empírico dos agricultores familiares entrevistados torna-se objeto potencial de pesquisa. Por fim, o estudo de Sousa e Lobato (2004) desautoriza a utilização da cor de solo como indicador de acidez, afinal, a coloração depende da mineralogia (ou da rocha que deu origem ao solo) e, mesmo que o manejo orgânico tenha influência no escurecimento da camada superficial, o uso do indicador deve ser descartado pelos agricultores familiares.

Na Tabela 6, são apresentados quatro indicadores empíricos de ***não acidez de solos*** (ou indicadores de ***solos corrigidos***, conforme terminologia dialogada junto aos agricultores familiares) no bioma Cerrado, distribuídos entre um indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO e três indicadores sem validade científica.

Tabela 6. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***não acidez / solo corrigido.***

Não acidez / Solo corrigido
Presença de cobertura de solo e matéria orgânica na superfície (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor do solo – escura (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de cupim na matéria orgânica (Frequência: n = 1) *Termitidae*, *Rhinotermitidae*, *Kalotermitidae* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Substituição das formigas cortadeiras saúvas (*Atta* sp) e quenquéns (*Acromyrmex* sp) por formiga lava-pé (*Solenopsis* spp) (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

A presença de cobertura de solo e matéria orgânica na superfície foi classificada como indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO pelos pesquisadores da Embrapa Cerrados participantes da *Oficina de Validação Científica de Indicadores Empíricos do Bioma Cerrado*, pois, conforme Resck et al. (2008b), os elevados aportes de biomassa decorrentes do solo corrigido e do aumento da disponibilidade de nutrientes geram alto contingente de cobertura de solo e maior acúmulo de matéria orgânica na superfície e na subsuperfície. No entanto, outras variáveis não relacionadas à correção de solos podem impactar a produção de biomassa e devem ser observadas, como

manejo de podas, luminosidade e as próprias características de crescimento aéreo e subterrâneo das raízes das espécies sob cultivo.

A cor do solo escura, a presença de cupim (*Termitidae, Rhinotermitidae, Kalotermitidae*) na matéria orgânica (cobertura de solo) e a substituição das formigas cortadeiras saúvas (*Atta sp*) e quenquéns (*Acromyrmex sp*) por formiga lava-pé (*Solenopsis spp*) foram consideradas indicadores empíricos sem validade científica. Segundo Sousa e Lobato (2004), a cor do solo resulta da mineralogia, da drenagem natural (variáveis não influenciadas pelo manejo) e do teor de matéria orgânica (variável influenciada pelo manejo), e não de solo com acidez corrigida. Para Lima et al. (2011) e Marques et al. (2008), não há relação entre solos corrigidos e presença de cupim na matéria orgânica, isto é, embora dados científicos atestem presença significativa de matéria orgânica em cupinzeiros, não se pode afirmar que o fenômeno decorre da correção de solos. E para Baretta et al. (2011) e Melo et al. (2009), a presença de formigas lava-pé é indicadora de matéria orgânica, mas não de solo corrigido e, como o acúmulo de matéria orgânica na superfície não represente, necessariamente, correção de solo, o indicador não deve ser utilizado com essa finalidade. Assim, os três últimos indicadores empíricos devem ser descartados na gestão ambiental por observação pelas unidades de produção familiar.

Na Tabela 7, são apresentados três indicadores empíricos de ***baixa fertilidade de solos*** no bioma Cerrado, distribuídos entre um indicador com validade científica e dois indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Tabela 7. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***baixa fertilidade***.

Baixa fertilidade
Presença de cupinzeiro (Frequência: n = 1) *Termitidae, Rhinotermitidae, Kalotermitidae* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Área nova não cultivada (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor do solo – clara (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Conforme menção anterior, cupins migram à superfície em solos com deficiência de nitrogênio (N) e fósforo (P), logo, a presença de cupinzeiros é um indicador com validade científica (Baretta et al., 2011; Lima et al., 2011)

e deve ser utilizado como indicador de baixa fertilidade de solos, enquanto, para observação de acidez, deve ser utilizado como indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Os indicadores cor clara do solo e área nova não cultivada, a exemplo da observação de acidez de solos, têm validade científica SOB CONDIÇÃO para indicar baixa fertilidade de solos, pois a cor do solo resulta da mineralogia, drenagem natural (variáveis não influenciadas pelo manejo) e do teor de matéria orgânica (variável influenciada pelo manejo), ao passo que áreas novas não cultivadas do bioma Cerrado, em geral, são naturalmente ácidas e com baixa disponibilidade de nutrientes, porém, podem ser naturalmente eutróficas, logo, para atestar o fenômeno empiricamente é necessário observar outras características na área não cultivada, conforme mencionado anteriormente (Sousa; Lobato, 2004).

Na Tabela 8, são mostrados 33 indicadores empíricos de ***alta fertilidade de solos*** no bioma Cerrado, resultado mais robusto dentro do mesmo bioma, distribuídos entre 11 indicadores com validade científica, 3 com validade científica SOB CONDIÇÃO, 8 sem informações científicas que se tornam objetos de pesquisa e 11 sem validade científica.

Tabela 8. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***alta fertilidade***.

Alta fertilidade
Presença de cobertura de solo e matéria orgânica na superfície (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas com vigor (Frequência: n = 4) Agrião – *Nasturtium officinale* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas com vigor (Frequência: n = 4) Banana – *Musa* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas com vigor (Frequência: n = 4) Cacau – *Theobroma cacao* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas com vigor (Frequência: n = 4) Pupunha – *Bactris gasipaes* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Pastagens com vigor (Frequência: n = 3) Braquiária – *Brachiaria* sp (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Continua...

Tabela 8. Contiuação.

Alta fertilidade
Pastagens com vigor (Frequência: n = 3) Capim-elefante – *Pennisetum purpureum* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Pastagens com vigor (Frequência: n = 3) Capim-colonião – *Panicum maximum* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de minhocas (Frequência: n = 1) *Haplotaxida* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de formigas lava-pé (Frequência: n = 1) *Solenopsis* sp (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de torrão de solo granulado e estruturado (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor do solo – escura (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Caruru – *Amaranthus* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Serralha – *Sonchus oleraceus* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Assa-peixe – *Vernonia* spp ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Margaridão – *Tithonia diversifolia* ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Fumo-bravo – *Solanum mauritianum* ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Guanxuma – *Sida rhombifolia* ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Jaborandiba – *Piper aduncum* ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Malva – *Sida codifolia* ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D

Continua...

Tabela 8. Contiuação.

Alta fertilidade
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Mastruz – *Chenopodium ambrosioides* ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 10) Picão-preto – *Bidens pilosa* ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Cor verde escura das matas (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Desenvolvimento com vigor das matas (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor verde escura das plantas cultivadas (Frequência: n = 4) Agrião – *Nasturtium officinale* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor verde escura das plantas cultivadas (Frequência: n = 4) Banana – *Musa* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor verde escura das plantas cultivadas (Frequência: n = 4) Cacau – *Theobroma cacao* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor verde escura das plantas cultivadas (Frequência: n = 4) Pupunha – *Bactris gasipaes* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor verde escura das pastagens (Frequência: n = 3) Braquiária – *Brachiaria sp* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor verde escura das pastagens (Frequência: n = 3) Capim-elefante – *Pennisetum purpureum* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor verde escura das pastagens (Frequência: n = 3) Capim-colonião – *Panicum maximum* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de cupim na matéria orgânica (Frequência: n = 1) *Termitidae, Rhinotermitidae, Kalotermitidae* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de passarinhos (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

De acordo com o item anterior sobre ***não acidez de solos***, o solo corrigido aumenta a disponibilidade de nutrientes e potencializa a produção de biomassa, que, por sua vez, pode gerar alto contingente de cobertura de solo e maior acúmulo de matéria orgânica na superfície (Resck, 2008b). A diferença entre a observação de não acidez de solos (ou solo corrigido) e de alta fertilidade de solos é que o uso da presença de cobertura de solo e matéria orgânica na superfície como indicador empírico tem validade científica e deve ser utilizado pelos agricultores familiares (enquanto, no caso anterior, o indicador foi classificado com validade científica SOB CONDIÇÃO).

Em seguida, os agricultores familiares levantaram quatro plantas cultivadas e três pastagens com vigor para identificar áreas com alta fertilidade. Para os casos do agrião (*Nasturtium officinale*), banana (*Musa*), cacau (*Theobroma cacao*), pupunha (*Bactris gasipaes*), braquiária (*Brachiaria sp*), capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e capimcolonião (*Panicum maximum*), os indicadores empíricos têm validade científica, pois vigor de plantas cultivadas e pastagens indicam fertilidade adequada, porém, a observação não exclui a possibilidade de se melhorar o manejo nutricional (Sousa; Lobato, 2004; Epstein; Bloom et al., 2004).

A presença de minhocas está associada a solos de elevada fertilidade e a diminuição de déficit hídrico dos solos (Lavelle, 2006). Ademais, há estudos que atestam a relação entre solos cauliníticos com alta saturação por base e presença de minhocas e, da mesma forma, a presença de formigas lava-pé é indicadora de elevada concentração de fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica, logo, os indicadores tem validade científica (Baretta et al., 2011; Melo et al., 2009; Vendrame et al., 2009).

De forma geral, há relação entre presença de torrão de solo granulado/estruturado e aporte elevado de matéria orgânica, no entanto, o alto teor de matéria orgânica não denota, necessariamente, alta disponibilidade de nutrientes, inclusive há casos de solos tropicais de altitude com teores elevados de matéria orgânica e baixos em nutrientes, devido ao clima ameno e à baixa atividade microbiana. No entanto, para o caso do bioma Cerrado, embora a relação não seja linear, a estrutura do solo, especialmente naqueles sob baixo *turnover* de macroagregados (sob plantio direto, especialmente), tem validade científica para uso como indicador (Resende et al., 2002; Denef et al., 2007).

Da mesma forma que nas interpretações do conhecimento empírico para acidez e não acidez de solos, a cor do solo resulta da mineralogia, drenagem natural (variáveis não influenciadas pelo manejo) e teor de matéria orgânica (variável influenciada pelo manejo), mas diferentemente do caso acima, em que o indicador não tem validade científica, no contexto de alta fertilidade, o indicador tem validade científica SOB CONDIÇÃO e deve ser utilizado para atestar alta fertilidade de solo, desde que composto com outras observações, como teor de matéria orgânica e a presença de plantas cultivadas e pastagens com vigor (Sousa; Lobato, 2004).

Quanto à presença de ervas como o caruru (*Amaranthus*) e a seralha (*Sonchus oleraceus*), não há informação científica, entretanto, por conhecimento empírico generalizado no meio rural e ratificado pelos pesquisadores da Embrapa Cerrados participantes da *Oficina de Validação Científica de Indicadores Empíricos no Bioma Cerrado*, é possível afirmar que há relação entre caruru/serralha e fertilidade de solos, mas devido à ausência de estudos, recomenda-se a observação de outros indicadores empíricos validados cientificamente neste mesmo estudo, o que resulta na classificação da presença daquelas ervas como indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Conquanto as espécies acima sejam classificadas como indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO, para a presença de assa-peixe (*Vernonia sp*), margaridão (*Tithonia diversifolia*), fumo-bravo (*Solanum mauritianum*), guanxuma (*Sida rhombifolia*), jaborandiba (*Piper aduncum*), malva (*Sida codifolia*), mastruz (*Chenopodium ambrosioides*) e picão-preto (*Bidens pilosa*), não há informações científicas nem tampouco conhecimento empírico generalizado no meio rural sobre a relação das mesmas espécies com fertilidade de solos, o que torna as espécies objetos potenciais de pesquisa.

Para o uso como indicador empírico, não há evidências científicas sobre a relação entre alta fertilidade dos solos e cor escura das matas ou desenvolvimento com vigor das matas (Orreano et al., 2012), cor verde escura das plantas cultivadas agrião (*Nasturtium officinale*), banana (*Musa*), cacau (*Theobroma cacao*) e pupunha (*Bactris gasipaes*), assim como cor verde escura das pastagens braquiária (*Brachiaria sp*), capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e capim-colonião (*Panicum maximum*) (SOUSA e LOBATO, 2004; EPSTEIN e BLOOM, 2004), presença de cupim na matéria orgânica (BARETTA et al, 2011; LIMA et al, 2011; MARQUES, 2008) e presença de passarinhos.

Para a cor verde escura das plantas cultivadas e pastagens, ao revés, essa cor pode indicar deficiência de fósforo (Sousa; Lobato, 2004; Epstein; Bloom, 2004), enquanto para a presença de cupim na matéria orgânica, a literatura atesta que apesar do grau significativo de matéria orgânica e nutrientes em cupinzeiros, não se pode afirmar que o fenômeno decorre da alta fertilidade de solos, pois como os cupins migram à superfície em solos com deficiência de nitrogênio (N) e fósforo (P), a sua ausência poderia ser tomado como um indicador, mas não deve, pois o fenômeno está condicionado a diversas variáveis (Baretta et al., 2011; Lima et al., 2011; Marques, 2008). Já a presença de passarinhos depende do ambiente adjacente e (ou) do sistema de produção cultivado. Por conseguinte, esses 11 indicadores empíricos devem ser descartados nas observações e nos processos de gestão ambiental das unidades de produção familiar concernentes à alta fertilidade de solos.

Na Tabela 9, são mostrados quatro indicadores empíricos de ***microbiologia de solos*** no bioma Cerrado, distribuídos entre dois indicadores com validade científica e dois indicadores sem validade científica.

Tabela 9. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***microbiologia de solo.***

Microbiologia de solos
Presença de cobertura de solo, matéria orgânica, palhada, restos de cultura (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Torrão de terra agregado que borbulha com água oxigenada (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de raízes – solos com enraizamento na superfície (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de fungos no solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Cobertura de solo, matéria orgânica, palhada e restos de cultura são indicadores empíricos adequados, pois todos criam ambientes favoráveis à microbiologia de solo (Tomita, 2009; Mendes; Reis Junior, 2004), assim como o torrão de terra agregado que borbulha com abundância em água oxigenada (sendo recomendável o uso de escalas de nota de 0 a 10), pois a ocorrência do aborbulhamento igualmente indica atividade microbiológica no solo (Machado, 2007), dessa feita, todos tem validade científica como indicadores empíricos de microbiologia de solos.

Em relação à presença de raízes (mais especificamente, solo com enraizamento na superfície), por conhecimento empírico dos pesquisadores da Embrapa Cerrados, participantes da *Oficina de Validação Científica de Indicadores Empíricos no Bioma Cerrado*, é possível afirmar que o desenvolvimento radicular necessita ter boa distribuição no perfil de solo, ademais, o enraizamento na superfície de solo pode indicar adubação ou fertilização excessiva, logo, deve ser descartado como indicador de microbiologia de solo, pois não há evidências científicas. No entanto, a avaliação do enraizamento em profundidade (até 30 cm, por exemplo), levando em consideração aspectos relacionados à forma e tamanho de agregados e à atividade da fauna no solo, é a base do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) (Ralisch et al., 2017), que pode ser adotado em futuras pesquisas. Quanto à presença de fungos no solo, seu uso como indicador vai depender do fungo, pois muitos são causadores de doenças de plantas, ao passo que fungos ectomicorrízicos são benéficos, devendo também ser descartado como indicador (Souza et al., 2006).

Na Tabela 10, encontram-se oito indicadores empíricos de ***macrobiologia de solos*** no bioma Cerrado, distribuídos entre dois indicadores com validade científica, cinco indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO e um indicador sem validade científica.

Tabela 10. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***macrobiologia de solos.***

Macrobiologia de solos
Plantas cultivadas (Frequência: n = 1) Batata-doce-sem-broca – *Ipomoea batatas* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de minhocas (Frequência: n = 1) *Haplotaxida* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de formigas lava-pé (Frequência: n = 1) *Solenopsis sp* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de formigas de cisco (Frequência: n = 1) *Acromyrmex* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Continua...

Tabela 10. Contiuação.

Macrobiologia de solos
Presença de tatu-bola (Frequência: n = 1) *Isopoda* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de besouro indiamin (ou cascudo) (Frequência: n = 1) *Lagria villosa* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de coró-branco (Frequência: n = 1) *Digitonthophagus* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de cupim na matéria orgânica (Frequência: n = 1) *Termitidae, Rhinotermitidae, Kalotermitidae* ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

De acordo com Mendes e Reis Junior (2004) e Lopes et al. (2013), em 50 dias de cultivo, as plantas indicam a biota do solo, pois plantas saudáveis indicam solos saudáveis, logo, o uso da batata-doce-sem-broca (*Ipomoea batatas*) pode ser considerado como um indicador adequado para atestar presença benéfica de macrobiologia de solos.

Para Melo et al. (2009) e Correia (2002), a presença de minhoca eleva a fertilidade e reduz o déficit hídrico dos solos, ademais, há estudos que atestam a relação entre solos cauliníticos com alta saturação por base e presença de minhoca, dessa forma, o indicador tem validade científica para atestar macrobiologia de solos.

A presença de formigas lava-pé (*Solenopsis sp*) indica concentração elevada de fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica (N), mas como o fenômeno não representa, necessariamente, diversidade de espécies, o indicador tem validade científica SOB CONDIÇÃO, ou seja, deve ser utilizado a partir da observação da presença de outros organismos de macrobiologia. Da mesma forma, as formigas-de-cisco (*Acromyrmex*), o tatu-bola (Ordem *Isopoda*), o besouro indiamin (*Lagria villosa*) e o coró-branco (*Digitonthophagus*) são bons indicadores de macrobiologia de solos, no entanto, a presença individual deles não representa, necessariamente, diversidade de espécies, logo, os indicadores são classificados com validade científica SOB CONDIÇÃO e devem ser utilizados com cautela, a partir da observação da presença de todos ou parte deles ao mesmo tempo (Baretta et al., 2011; Melo et al., 2009; Correia, 2002).

Já a presença de cupim na matéria orgânica (Famílias *Termitidae, Rhinotermitidae, Kalotermitidae*), por si só, não é um indicador adequado, sendo considerado como um indicador sem validade científica, pois há de se observar se ocorre diversidade de espécies na composição de solo (Lima et al., 2011; Correia, 2002).

Na Tabela 11, são mostrados três indicadores empíricos de ***biomassa microbiana de solos*** no bioma Cerrado, distribuídos entre um indicador com validade científica e dois indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Tabela 11. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***biomassa microbiana de solos.***

Biomassa microbiana de solos
Presença de microrganismos nos solos (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de cobertura de solo, matéria orgânica, restos de capim, palha de milho (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Desenvolvimento de agrofloresta com cobertura de solo (que produz matéria orgânica ou que recebe acréscimo externo) (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

A presença de microrganismos nos solos, em geral, é associada à macrofauna de solo pelos agricultores familiares, que por sua vez se relaciona à atividade biológica do solo, incluindo o conceito de microrganismos. A cobertura morta (serrapilheira) cria ambiente favorável à microbiota de solo, favorece o desenvolvimento da biomassa aérea e o acúmulo de biomassa microbiana no solo (Tomita, 2009; Mendes; Reis Júnior, 2004), sendo assim, o indicador pode ser considerado com validade científica.

Como visto, a presença de cobertura de solo é bom indicador de biomassa microbiana de solos, mas desde que diversificada e de modo a garantir disponibilidade de nutrientes e relação carbono-nitrogênio (C/N) adequada. Restos de capins e de palha de milho, por exemplo, somente garantem boa qualidade de solo se a relação C/N estiver adequada, sendo sua variação pelas necessidades nutricionais e características do sistema de produção (Silva, 2013; Tomita, 2009; Mendes; Reis Júnior, 2004; Tsukamoto Filho et al., 2004), logo, o indicador tem validade científica SOB CONDIÇÃO. Nesse caso, condições como relação C/N não podem ser confirmadas empiricamente, desse modo, devem ser observadas as manifestações dos demais indicadores com validade científica e com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Um sistema de produção não é um bom indicador de biomassa microbiana de solo, entretanto, a adoção de técnicas adequadas de manejo (ex: policultivo, alocação de restos de podas do sistema de produção ou aporte externo de restos de podas urbanas para cobertura de solos) favorece a produção de biomassa (Silva, 2013; Tomita, 2009). Assim, o desenvolvimento de agrofloresta com cobertura de solo pode ser considerado um indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO, desde que observados o volume e a diversidade da biomassa (que resulta em composição plural).

Na Tabela 12, são mostrados quatro indicadores empíricos de ***compactação de solo evitada*** no bioma Cerrado, distribuídos entre três indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO e um indicador sem validade científica.

Tabela 12. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***compactação de solo evitada.***

Compactação de solo evitada
Desenvolvimento de agrofloresta com cobertura de solo (que produz matéria orgânica ou que recebe acréscimo externo) (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas de milho – (*Zea mays* – quebram a compactação (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas leguminosas quebram a compactação (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de cobertura de solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

A relação entre desenvolvimento de agrofloresta (subentendendo presença de espécies com diferentes hábitos de crescimento e estratégias de captação de energia, água e nutrientes) com cobertura de solo e compactação de solo irá depender da periodicidade de uso de máquinas e implementos agrícolas dentro do sistema de produção, mas é notório que a cobertura de solo armazena água no solo e favorece o desenvolvimento radicular, que por sua vez colabora na redução de compactação (Sá et al., 2009; Sá; Santos Junior, 2005). Árvores, arbustos e plantas herbáceas coexistindo em um ambiente sem uso excessivo de máquinas, como comumente ocorre em muitos estabelecimentos rurais familiares, resulta em processo de compactação ameno ou quase inexistente, sendo assim, o indicador tem validade científica SOB

CONDIÇÃO dadas pela observação dos impactos físicos causados pelo próprio uso da mecanização agrícola.

O desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays*), uma cultura cultivada muito presente nas entrelinhas de agroflorestas sucessionais, tem mais relevância na descompactação de solos que outras plantas cultivadas, mas se houver formação de camada compactada devido ao uso excessivo de máquinas e implementos agrícolas, pode ocorrer impedimento ou comprometimento no desenvolvimento do seu sistema radicular (Santos Junior et al., 2006). Sobre o uso de plantas leguminosas para quebrar a compactação, o sucesso da iniciativa irá depender da espécie ou variedade selecionada, pois algumas reduzem a compactação de solos (ex: guandu – *Cajanus cajan*), mas outras são sensíveis às camadas subterrâneas de impedimento, com prejuízo ao seu desenvolvimento (Godoy et al., 2007). Assim, para ambos os casos, milho (*Zea mays*) e leguminosas são indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO, isto é, não bastam suas presenças, pois o comportamento de seus sistemas radiculares deve ser observado. Cabe frisar que há distinção a ser observada entre a compactação antrópica do adensamento natural das camadas subsuperficiais de solos.

Já a cobertura de solos pode ser considerada como um indicador sem validade científica, afinal, o solo pode apresentar condições contrastantes de resistência à penetração, em distintas condições de umidade (Sá et al., 2009; Sá, 2004).

Na Tabela 13, são observados oito indicadores empíricos de ***compactação de solo*** no bioma Cerrado, distribuídos entre quatro indicadores com validade científica e quatro indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Em geral, o escoamento superficial indica compactação de solo, mas se ele estiver descoberto ou contiver presença de argila 2:1 e, em ambos os casos, com umidade excessiva, pode ocorrer escoamento sem necessariamente indicar compactação (Derpsch et al., 1991). Porém, mesmo com essa particularidade, o indicador tem validade científica, visto que solos com argila 2:1 são muito raros no Cerrado. Da mesma forma, a observação de raízes tortas no perfil e que se erguem à superfície é uma prática adequada, pois o desenvolvimento radicular é o melhor indicador de compactação de solos (Sá et al., 2007a; Sá; Santos Júnior, 2005), podendo ser dado continuidade à utilização das culturas de mandioca (*Manihot esculenta*), cenoura (*Daucus carota*) e nabo (*Brassica napus*) como indicadores com validade científica.

Tabela 13. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: c***ompactação de solo***.

Compactação de solo
Escoamento superficial (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Mandioca – *Manihot esculenta* – torta e que se ergue à superfície indica compactação (Frequência: n = 3) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cenoura – *Daucus carota* – torta e que se ergue à superfície indica compactação (Frequência: n = 3) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Nabo – *Brassica napus*- torto e que se ergue à superfície indica compactação (Frequência: n = 3) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Solo descoberto (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Dificuldade em cavar o solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Dificuldade na limpeza do solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Dificuldade na penetração de arame (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

O solo descoberto ou com ausência de cobertura morta pode advir de vários motivos, como manejo inadequado do sistema de produção, baixa fertilidade ou selamento superficial de solos, que é um impedimento físico, principalmente, em pastagens nativas sob Cambissolos ou solos com argila 2:1 (Curi et al., 1994). Ou seja, práticas que estimulem a decomposição da matéria orgânica e da serrapilheira do solo, como revolvimento constante provocado por uso excessivo de mecanização agrícola ou mesmo o processo de erosão por si só, podem levar à exposição do solo. Porém, o solo descoberto é um indicativo de baixa cobertura vegetal (baixa produção líquida de biomassa) e de degradação do solo sob os pontos de vista físico e químico. A umidade do solo é outro atributo que interfere bastante na avaliação dessa variável. Já a dificuldade de se cavar o solo se remete à consistência do solo, que varia conforme a umidade, ou seja, solo seco traz mais dificuldades na cavação, mesmo se não compactado, enquanto o uso do indicador em condições úmidas indica compactação de solo se persistir a dificuldade na operação (Sá et al., 2009). A consistência do solo varia conforme a umidade, assim, similarmente ao exemplo anterior, a limpeza de solo e a penetração

de arame se tornam mais complexas em solos secos, mesmo se não compactados, logo, os indicadores devem ser utilizados em condições úmidas de solos, e se persistir a dificuldade, há indicação de compactação de solo (Sá et al., 2009; Sá et al., 2007a; Sá; Santos Junior, 2005). Portanto, todos os indicadores acima tem validade científica SOB CONDIÇÃO e devem ser avaliados conjuntamente.

Na Tabela 14, são mostrados dez indicadores empíricos de ***disponibilidade de água no solo*** no bioma Cerrado, distribuídos entre três indicadores com validade científica, um indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO, dois indicadores sem informação que se tornam objetos de pesquisa e quatro indicadores sem validade científica.

Tabela 14. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***disponibilidade de água no solo***.

Disponibilidade de água no solo
Vigor das plantas cultivadas no período seco indica água no solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Áreas com cultivo anterior de milho – *Zea mays* – aumentam porosidade do solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Torrão de terra apertado na mão que se agrega indica água no solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de cobertura de solo /matéria orgânica indica água no solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 4) Pimenta-de-macaco – *Xilopia aromatica* – indica água superficial no solo ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 4) Jaborandiba – *Piper aduncum* – indica água superficial no solo ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 4) Feijão-guandu – *Cajanus cajan* – indica água superficial no solo ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 4) Embaúba – *Cecropia pachystachya* – indica água superficial no solo ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Áreas com cultivo anterior de leguminosas aumentam porosidade do solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Declividade plana indica água no solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

O vigor das plantas cultivadas no período seco pode ser considerado sempre como um indicador adequado para verificar umidade de solo (Bernardo et al., 2005). As áreas com cultivo anterior de milho (*Zea mays*) tendem a aumentar a porosidade de solo e, consequentemente, a água no solo, mas a efetividade dessa relação irá também depender do volume superficial de palha. Para Sá et al. (2015), é possível associar o comportamento do milho ao da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), pois ambas as culturas guardam relação similar palha versus umidade de solo. O torrão de terra apertado na mão que se agrega também pode ser utilizado como indicador de água no solo (Sá, 2004). Dessa forma, todos esses indicadores tem validade científica. Complementarmente, vale lembrar que solos com boa agregação e distribuição de poros permitem que a água penetre, seja armazenada e saia do perfil de forma eficiente.

Por sua vez, a cobertura de solo pode amenizar a evaporação da água do solo, mas não necessariamente indicar disponibilidade de água no solo, pois a precipitação é uma variável relevante nesse sentido, logo, conforme exposto no parágrafo acima, o teste do torrão e a observação da turgidez vegetal devem ser realizados de modo complementar (Curi et al., 1994), o que torna o indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Em relação à presença de ervas, arbustos e árvores, especialmente, pimenta-de-macaco (*Xilopia aromatica*) e jaborandiba (*Piper aduncum*), não há informação científica para atestar ou refutar esses conhecimentos empíricos, por conseguinte, os indicadores se tornam objeto potencial de pesquisa. Já em relação ao feijão-guandu (*Cajanus cajan*) e a embaúba (*Cecropia pachystachya*), ambas não devem ser utilizadas para observação de água no solo, pois são indicadores sem validade científica. De acordo com Braga et al. (2009a; 2009b), Fontes (2009a; 2009b), Godoy et al. (2007) e Sá et al. (2007b), a primeira espécie tem alta capacidade de penetração no solo, obtendo coloração verde mesmo em situação de escassez de água no solo, enquanto a segunda espécie ocorre comumente em áreas de baixada, obtendo coloração verde devido ao contexto úmido dessas localidades.

As áreas com cultivo anterior de leguminosas foram mencionadas como indicadoras de aumento de porosidade e de água no solo, mas segundo Godoy et al. (2007), há somente efeito indireto. Uma área cultivada com leguminosa fixa nitrogênio no solo e oferece melhores condições posteriores de

desenvolvimento de culturas anuais, como o milho (*Zea mays*), que deixará maior volume de palhada e colaborará com a retenção de umidade de solo. Outra menção foi em relação ao uso da declividade plana como indicador de água no solo, mas, como aponta Resende et al. (2002), a relação não necessariamente se estabelece, exceto em áreas de várzea e (ou) com solos de coloração cinza ou preta. Destarte, ambos os indicadores não tem validade científica e devem ser descartados para associação com água no solo.

Na Tabela 15, são mostrados três indicadores empíricos de ***escassez de*** água no solo no bioma Cerrado, distribuídos entre um indicador com validade científica, um indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO e um indicador sem informação que se torna objeto de pesquisa.

Tabela 15. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***escassez de água no solo***.

Escassez de água no solo
Torrão de terra apertado na mão que se desagrega indica escassez de água no solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Murcha das plantas cultivadas em qualquer período indica escassez de água no solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Declividade alta indica escassez de água no solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Agregados com baixa estabilidade física (em água ou a seco) estão associados à perda gradual da matéria orgânica do solo. Sendo a matéria orgânica uma “esponja” de água e responsável pela formação de complexos organominerais, poros pequenos e grandes que podem armazenar água no solo deixam de existir quando o solo perde sua estrutura. Assim, torrão de terra apertado na mão que se desagrega (ou torrão seco que se desfaz na mão) pode indicar escassez de água no solo (Sá, 2004), dessa maneira, o indicador tem validade científica. Por sua vez, a murcha das plantas cultivadas, em qualquer período do ano, deve ser utilizada com cautela para indicar escassez de água no solo, afinal, em zonas com temperatura elevada, o indicador não deve ser aplicado, enquanto, em zonas com temperatura amena, o indicador pode atestar escassez de água no solo, deficiência nutricional ou incidência de pragas de solos. Em dias muito quentes, a evapotranspiração é muito alta, o que pode levar à murcha de plantas sem representar escassez de água no solo (Bernardo et al., 2005), por isso, o indicador tem

validade científica sob essas condições. Outra condição é aquela em que há adubação excessiva da lavoura ou de covas de plantas, consequentemente, por osmose, a planta perde água para o meio e se seca, mesmo que o solo esteja úmido. Já a relação entre declividade alta e escassez de água no solo é praticamente inexistente (Resende et al., 2002), pois a taxa de infiltração do solo é que determina a entrada de água no perfil e, por conseguinte, a de escoamento superficial. Diante do exposto, o indicador não tem validade científica e deve ser descartado nas observações de campo.

Na Tabela 16, são mostrados quatro indicadores empíricos de ***excesso de*** água no solo no bioma Cerrado, todos com validade científica.

Tabela 16. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrados: ***excesso de água no solo***.

Excesso de água no solo
Cenoura – *Daucus carota* – aberta nos talos indica excesso de água no solo (Frequência: n = 2) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Nabo – *Brassica napus* – aberto nos talos indica excesso de água no solo (Frequência: n = 2) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Torrão de terra apertado na mão com escorrimento indica excesso de água no solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Declividade baixa (áreas de baixada ou alagadas) indica excesso de água no solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

O uso da cenoura (*Daucus carota*) e do nabo (*Brassica napus*) abertos nos talos é adequado para indicar excesso de água no solo, sobretudo, se tiver ocorrido período de déficit hídrico anterior ou manejo inadequado da irrigação. Para a primeira cultura, a prática é bastante corriqueira no campo e popularmente conhecida como “cenoura rachada”, podendo ser igualmente aplicada ao nabo. Da mesma forma, o torrão úmido quando apertado na mão com escorrimento de água pelos dedos também é pertinente para comprovar excesso de água no solo (Sá et al., 2004). E a princípio, não há relação entre declividade baixa e excesso de água no solo, mesmo que em algumas ocasiões haja formação de áreas alagadas em terras baixas (Resende et al., 2002), pois o fenômeno pode ser temporário ao longo da estação chuvosa.

Na Tabela 17, é mostrado apenas um indicador empírico de água profunda no solo no bioma Cerrado, com validade científica. A ocorrência de braquiária

verde (*Brachiaria decumbens*) indica que há proximidade do lençol freático até 2 m de profundidade, pois as raízes dessa espécie têm enraizamento profundo. Ademais, o desenvolvimento radicular vigoroso dessa forrageira pode contribuir com a abertura de galerias profundas e melhorar as condições de umidade de solo.

Tabela 17. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Cerrado: ***água profunda no solo.***

Água profunda no solo
Presença de braquiária verde – *Brachiaria decumbens* – indica água profunda (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Na Tabela 18, observa-se que foram levantados sete indicadores empíricos (ou indicadores de ***solos não corrigidos***, conforme terminologia dialogada com os agricultores familiares) no bioma Amazônia, distribuídos entre dois indicadores com validade científica e cinco indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Tabela 18. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***acidez de solos***.

Acidez de solos
Presença de capim-estrepe ou rabo-de-burro – *Andropogon* sp (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de pau-de-lacre - *Vismia guianensis* (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Área nova não cultivada (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Capoeira baixa que não desenvolve (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas sem vigor (Frequência: n = 1) Cupuaçu – *Theobroma grandiflorum* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Pastagens sem vigor (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de capim-navalha - *Paspalum virgatum* sp (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

O capim-estrepe ou rabo-de-burro, nomes populares adotados para o gênero *Andropogon* no bioma Amazônia, com ocorrência local bastante frequente, é conhecido por desenvolver-se em solos ácidos e de baixa fertilidade,

da mesma forma que a presença do pau-de-lacre (*Vismia guianensis*) está associada a solos desgastados, especialmente em áreas de pastagens (Mascarenhas, 1999; Dias Filho, 1990), logo, ambas as espécies podem ser utilizados como indicadores com validade científica para observação e monitoramento de acidez de solos.

Quanto ao uso de área nova não cultivada para atestar acidez de solos, em geral, os solos da região amazônica são naturalmente ácidos, porém, devido aos altos custos (sobretudo de frete), não é comum a utilização de fontes de calcário para correção de solos pela agricultura familiar. Em função disso, o método mais utilizado no preparo de área é o de derruba e queima (ou corte e queima), em que as cinzas contribuem para a elevação do pH e redução da acidez do solo durante o período de cultivo. Destarte, a acidez no solo não é uma variável considerada pela agricultura familiar como limitante ao cultivo, porém, as características da área nova não cultivada devem ser observadas (Rheinheimer, 2003) para confirmar a manifestação da acidez de solos, como a presença de plantas indicadoras com validade científica apontadas no exemplo anterior (capim-estrepe ou rabo-de-burro – *Andropogon;* pau-de-lacre – *Vismia guianensis*). Quanto ao uso da capoeira baixa que não se desenvolve para indicar acidez de solo, há de se considerar que, no bioma Amazônia, a composição florística é bastante diversa, podendo conter espécies que tenham um bom desenvolvimento mesmo em solos ácidos, assim como um solo sem problemas de acidez pode conter espécies de crescimento lento. Desse modo, o tamanho da capoeira é mais relacionado à fertilidade do solo devido à quantidade de nutrientes estocados na biomassa. Outro fator importante é o tipo e a intensidade do manejo da capoeira, por exemplo, áreas queimadas sucessivamente reduzem o potencial regenerativo da capoeira e destroem o banco de sementes no solo (Zarin, 2005). Logo, o indicador tem validade científica SOB CONDIÇÃO, ou seja, o histórico de uso da terra deve ser considerado.

A presença de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) sem vigor como indicadora de acidez de solo deve ser tomada com cuidado, pois sua produtividade depende de variáveis como genética, manejo, nutrientes nos solos e incidência de pragas e doenças. Na Amazônia, com solos naturalmente ácidos e de baixa fertilidade natural, a cultura apresenta melhor desempenho em solos com maiores teores de potássio (K), ainda que sobreviva em solos ácidos. Por sua vez, a calagem aumenta a eficiência do adubo potássico e

a produção de frutos (Ayres; Alfaia, 2007). Já a falta de vigor das pastagens não se relaciona só à acidez do solo, mas também com teores de nitrogênio (N) e fósforo (P) para o seu desenvolvimento (Correa; Reichardt, 1995). E o capim-navalha (*Paspalum virgatum*) como indicador de acidez de solos se caracteriza como uma planta com alta capacidade de multiplicação e de baixa palatabilidade pecuária, sendo mais frequentes em solos úmidos e pouco drenados (Dias Filho, 1990). À vista do exposto, os indicadores acima podem ser considerados com validade científica SOB CONDIÇÃO, desde que observadas as condições nutricionais das plantas.

Na Tabela 19, são mostrados dois indicadores empíricos de ***solo corrigido*** **(**ou de ***não acidez de solo***) no bioma Amazônia, sendo um indicador com validade científica e um indicador sem validade científica.

Tabela 19. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***não acidez / solo corrigido.***

Não acidez / Solo corrigido
Presença de cobertura de solo e matéria orgânica na superfície (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor do solo – escura (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

A presença de cobertura de solo e matéria orgânica na superfície é um indicador pertinente de solo corrigido (ou ***não acidez de solo***), afinal, a decomposição do material orgânico sob o solo exerce influência sobre a disponibilidade de nutrientes. Essa influência está muito relacionada com a adsorção de íons competidores, inibindo a ação dos grupos funcionais do solo, deixando assim os nutrientes mais livres em solução (Pavinato; Rosolem, 2008), assim sendo, o indicador tem validade científica.

Conquanto, a cor é uma medida primária identificadora do solo influenciada por propriedades químicas, físicas e mineralógicas. É uma pratica comum entre agricultores e técnicos associar a cor de solo escura à boa qualidade, entretanto, não é um fator que pode ser considerado pertinente (Campos; Demattê, 2004), por isso o indicador não tem validade científica.

Na Tabela 20, são mostrados cinco indicadores empíricos de ***baixa fertilidade*** no bioma Amazônia, distribuídos em um indicador com validade científica, três indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO e um indicador sem validade científica.

Tabela 20. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***baixa fertilidade***.

Baixa fertilidade
Presença de formigas tapiba ou formiga-de-embaúba (*Azteca sp*) (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor do solo – clara (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Desenvolvimento sem vigor das capoeiras (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Solo arenoso (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Área nova não cultivada (Frequência: n = 1) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

A presença de formigas tapiba ou formiga-de-embaúba (*Azteca sp*.) pode servir de indicador de baixa fertilidade de solos. A *Cecropia pachystachya* e a *Cecropia urticaceae*) são espécies rústicas e pioneiras na sucessão ecológica, com bom desenvolvimento em solos ácidos, neutros, argilosos, arenosos e pedregosos, além de muito atrativa à fauna, com frequente colonização de formigas *Azteca sp* (Mello, 2009; Borges, 2007), dessa forma, o indicador tem validade científica.

Conforme exposto anteriormente, a cor é uma medida primária identificadora do solo, influenciada por propriedades químicas, físicas e mineralógicas. É uma pratica comum entre os agricultores, técnicos e profissionais associar a cor clara a um solo de baixa qualidade, entretanto, não é um fator que pode ser considerado pertinente, ainda que a cor escura possa indicar alta fertilidade de solos. Logo, o indicador tem validade científica SOB CONDIÇÃO (Campos; Demattê, 2004), ou seja, sempre que esse atributo físico for levado em consideração, deve-se relativizá-lo, comparando-se amostras de solo semelhantes.

O desenvolvimento sem vigor de capoeiras não pode ser associado somente à baixa fertilidade do solo, pois outras variáveis, como composição florística, fatores ambientais e manejo da área, devem ser também avaliadas (Oliveira, 1998). A frequência de ocorrência de fogo, o tempo de pousio e a presença do gado são algumas das variáveis que podem se relacionar com a intensidade de regeneração de capoeiras. Já o solo arenoso pode apresentar características físico-químicas adequadas para alguns cultivos, dependendo

do tipo de manejo nutricional realizado (Primavesi, 2002). Sendo assim, os indicadores tem validade científica SOB CONDIÇÃO, as mesmas apontadas no parágrafo anterior.

Sobre área nova não cultivada, Lepsch (2010) expõe que os solos da região amazônica são naturalmente ácidos, entretanto, uma área nova não cultivada, sob o ponto de vista de fertilidade, não representa um impedimento para a implantação de um sistema de produção adequado ao trópico úmido, bastando manejá-lo para reduzir a acidez e propiciar a disponibilização de nutrientes, dessa feita, o indicador não tem validade científica e deve ser descartado para uso empírico.

Na Tabela 21, são mostrados sete indicadores empíricos de ***alta fertilidade*** no bioma Amazônia, distribuídos em quatro indicadores com validade científica e três indicadores com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Tabela 21. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***alta fertilidade***.

Alta fertilidade
Presença de cobertura de solo e matéria orgânica na superfície (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 1) Lantana – *Lantana camara* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas: Mandioca – (*Manihot esculenta* (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de minhocas (diversas espécies) (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Cor do solo – escura (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 1) Margaridão - *Tithonia diversifolia* ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Desenvolvimento com vigor das capoeiras (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

A presença de cobertura de solo e matéria orgânica na superfície é pertinente para indicar ***alta fertilidade de solo***, afinal, como já discutido anteriormente sobre correção de solos, a decomposição do material orgânico sob o solo exerce influência sobre a disponibilidade de nutrientes. Essa influência

está muito relacionada com a adsorção de íons competidores, inibindo a ação dos grupos funcionais do solo, deixando assim os nutrientes mais livres em solução (Pavinato; Rosolem, 2008), assim sendo, o indicador tem validade científica.

A presença de ervas, arbustos e árvores, como o arbusto florido de lantana (*Lantana camara)*, de plantas cultivadas, como a mandioca (*Manihot esculenta*), e de organismos, como as minhocas (diversas espécies), ***são bons indicadores de alta fertilidade de solos.*** A lantana é uma planta rústica, de fácil propagação e adaptada a diversos solos, porém, apresenta um excelente desenvolvimento em solo rico em matéria orgânica, por isso é considerada uma planta invasora e em geral está presente em áreas com pastoreio excessivo, torando-se indesejada devido à sua toxidade para animais (Dias Filho, 1990). Sobre a mandioca, sua produtividade em níveis adequados está associada à fertilidade do solo e à disponibilidade de nutrientes (Silva; Freire, 1968). E a presença de minhocas é amplamente reconhecida na ciência quanto aos seus efeitos benéficos sobre a fertilidade do solo, principalmente devido à mistura de solo e matéria orgânica nos coprólitos (dejetos ou fezes fossilizadas de animais) e à formação de túneis subterrâneos (Mello, 2009). Desse modo, os indicadores tem validade científica para atestar alta fertilidade de solo.

A exemplo da discussão sobre solo corrigido, a cor é uma medida primária identificadora do solo, influenciada por propriedades químicas, físicas e mineralógicas. É uma pratica comum entre os agricultores, técnicos e profissionais associar a cor de solo escura à boa qualidade, entretanto, não é uma variável que pode ser considerada totalmente pertinente na medida em que pode assumir variações significativas na paisagem (Campos; Demattê, 2004). Daí a importância de se avaliar esse atributo em contraste com áreas sob vegetação natural e mesma condição de solo. A presença de ervas, arbustos e árvores, como o arbusto margaridão (*Tithonia diversifolia*), igualmente, precisa ser utilizada com cautela para o acompanhamento empírico de alta fertilidade de solo. O margaridão é uma espécie invasora com capacidade de acumular fósforo (P) em seus tecidos, sendo também reconhecida como planta adubadora. Porém, como outros nutrientes podem limitar o crescimento das culturas, o uso de uma planta apenas deve ser feito com cautela. Entre os efeitos da adubação verde na fertilidade do solo estão o aumento do teor de matéria orgânica, a maior disponibilidade de nutrientes, a maior capacidade de tro-

ca de cátions efetiva, a diminuição dos teores de alumínio e a capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes (Ng'inja, 1998; Calegari, 1993). Assim, os indicadores tem validade científica SOB CONDIÇÃO apontadas anteriormente.

O desenvolvimento com vigor das capoeiras pode ser útil na observação da relação entre o potencial de regeneração do fragmento e a quantidade de nutrientes ciclados e (ou) estocados na biomassa, entretanto, outras variáveis são importantes de se observar, como o manejo da capoeira e a frequência de queimadas, pois ambas podem reduzir o potencial regenerativo da capoeira e destruir banco de sementes no solo (Zarin, 2005). A regeneração vigorosa das capoeiras indica boa fertilidade e os processos adequados sustentam a sucessão ecológica, por isso os indicadores empíricos supracitados tem validade científica SOB CONDIÇÃO mencionadas.

Na Tabela 22, é mostrado apenas um indicador empírico de ***microbiologia de solo*** com validade científica no bioma Amazônia. As presenças de cobertura de solo, de matéria orgânica, de palhada e de restos de culturas propiciam um ambiente adequado para a manutenção (alimento, abrigo) e a reprodução da fauna de solo, pois ela desenvolve funções detritívoras e predatórias nas teias tróficas de detritos da serrapilheira e do interior do solo. Essas funções ecológicas podem ser associadas a diversos processos como a ciclagem de nutrientes, o revolvimento do solo, a incorporação de matéria orgânica e o controle biológico de pragas do solo (Mello, 2009). Portanto, o indicador tem validade científica e deve ser utilizado para indicar microbiologia de solo.

Tabela 22. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***microbiologia de solo.***

Microbiologia de solo
Presença de cobertura de solo, matéria orgânica, palhada, restos de culturas (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Na Tabela 23, são mostrados quatro indicadores empíricos de ***macrobiologia de solo*** no bioma Amazônia, sendo 3 indicadores com validade científica e 1 indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Tabela 23. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***macrobiologia de solo.***

Macrobiologia de solo
Presença de lesmas (*Stylommatophora*) (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de minhocas (diversas espécies) (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de tatu-branco ou tatuzinho-de-jardim *(Isopoda*) (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de formigas cortadeiras (*Atta*) (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

A presença de lesmas (*Stylommatophora*), de minhocas (diversas espécies) e de tatus-branco ou tatuzinhos-de-jardim (Ordem *Isopoda*) são bons indicadores de macrobiologia de solos. Como lesmas se alimentam de plantas, além de vermes, caracóis e animais mortos, muitas vezes comprometem os sistemas de produção. Os solos com minhocas são mais granulados, com facilidade na absorção de água e no crescimento de raízes, o que propicia desenvolvimento adequado de plantas cultivadas e aumento dos índices de produtividade. Já os tatus-brancos ou tatuzinhos-de-jardim são crustáceos terrestres que trazem muitos benefícios ao solo, sendo essenciais no processo de decomposição da matéria orgânica, além de auxiliar na aeração e na retenção de umidade. Devido à sua atividade saprófaga (alimentam-se de matéria orgânica em decomposição), contribuem significativamente para a fragmentação da serrapilheira e a colonização microbiana, regulando uma etapa fundamental no processo de decomposição. O consumo de serrapilheira por esses animais estimula a comunidade microbiana do solo, promovendo o aumento da respiração e da biomassa microbiana, consequentemente, eleva-se a disponibilidade de macronutrientes no solo (Mello, 2009). Logo, os indicadores têm validade científica e devem ser utilizados para certificar a macrobiologia de solo. Um ponto relevante é que o primeiro indicador (lesma) é prejudicial aos sistemas de produção, ao passo que os dois últimos (minhocas e tatus-brancos ou tatuzinhos-de-jardim) são benéficos, porém, todos indicam macrobiologia de solo.

Estudo de Mello et al. (2009) demonstra que a sobrevivência inicial das colônias de formigas cortadeiras (*Atta*) é maior em solos pobres em nutrientes. Essas formigas são bastante adequadas para serem utilizadas como bioindi-

cadoras das condições de recuperação ambiental, mas devem ser utilizadas com ressalvas como indicadoras com validade científica SOB CONDIÇÃO para a macrobiologia de solos, ou seja, desde que outros organismos estejam presentes e o ambiente evidencie diversidade de espécies, pois caso contrário, só a presença das formigas cortadeiras não traz uma informação segura sobre ação plural de fauna de solo, podendo apenas indicar problemas de baixa fertilidade.

Na Tabela 24, são mostrados três indicadores empíricos de ***biomassa de solo*** no bioma Amazônia, todos com validade científica.

Tabela 24. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***biomassa de solo.***

Biomassa na superfície do solo
Presença de cobertura de solo, matéria orgânica, material triturado, palha de milho (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de microrganismos nos solos (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Desenvolvimento de culturas com cobertura de solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Os efeitos do teor e da qualidade da cobertura de solo, a matéria orgânica, a palhada e os restos de culturas sobre os microrganismos são medidos pela biomassa microbiana (total de organismos presentes em uma amostra do solo) e pela atividade microbiana (total de microrganismos vivos). Essas medidas representam a integração dos efeitos da matéria orgânica sobre as condições biológicas do solo. A presença de microrganismos de solos pode ser utilizada como sensíveis bioindicadores de qualidade do solo, pois apresentam propriedades ou processos biológicos que indicam o estado do ecossistema. Os microrganismos também são bastante dependentes da matéria orgânica do solo que, em resumo, é constituída pelos produtos da decomposição de resíduos de origem animal e vegetal e pelos próprios microrganismos vivos. Durante a decomposição, cerca de 20% do carbono presente nos resíduos orgânicos é liberado para a atmosfera como gás carbônico (CO_2) e o restante passa a compor a matéria orgânica do solo. Já o desenvolvimento de culturas com cobertura de solo influencia diretamente na persistência dos resíduos, no tamanho da biomassa microbiana e, consequentemente, na sustentabilidade dos agroecossistemas. Práticas de manejo que aumentam

o conteúdo total de matéria orgânica aumentam também a biomassa e a atividade dos microrganismos e, portanto, elevam a sustentabilidade ambiental (Araújo; Monteiro, 2007). Diante do exposto, os indicadores tem validade científica.

Na Tabela 25, são mostrados três indicadores empíricos de ***compactação de solo evitada*** no bioma Amazônia, sendo dois com validade científica e um com validade científica SOB CONDIÇÃO.

Tabela 25. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***compactação de solo evitada.***

Evita compactação de solo
Presença de cobertura de solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas leguminosas quebram a compactação – feijão-guandu – *Cajanus cajan* (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Plantas cultivadas de milho – (*Zea mays* - quebram a compactação (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Diversos estudos explicam o efeito da presença de cobertura de solo (ou do acúmulo de matéria orgânica do solo) na amenização da compactação de solo, pois como resultado há o efeito amortecedor da matéria orgânica, além da melhoria na capacidade de retenção da água e de estabelecer ligações entre as partículas de solo (Braida; Reichert, 2014). Já o feijão-guandu (*Cajanus cajan*) apresenta rusticidade, tolerância à seca, sistema radicular pivotante com crescimento vigoroso e desenvolvimento em profundidade, grande capacidade de descompactação do solo, de ciclagem de nutrientes e de renovação de folhas, multiplicidade de usos como alimentação humana e animal, adubação verde e produção de fibras (Wutke et al., 2009). Face a esses achados, os indicadores têm validade científica para a observação de não compactação de solo.

Na literatura, são encontrados trabalhos conflitantes quanto à relação entre cultivo de milho (*Zea mays*) e quebra de compactação de solos (na forma de aumento ou diminuição da porosidade do solo após o cultivo do milho), como pode ser visto em Chioderoli et al. (2012) e Matias et al. (2009), logo, o indicador tem validade científica SOB CONDIÇÃO, podendo ser assumido como cultura adequada para evitar compactação de solo desde que observados outros indicadores de forma integrada, como a presença de cobertura de solo e da planta leguminosa feijão-guandu, ambos usos validados anteriormente.

Na Tabela 26, são mostrados quatro indicadores empíricos de ***compactação de solo*** no bioma Amazônia, sendo todos indicadores com validade científica.

Tabela 26. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***compactação de solo***.

Indica compactação de solo
Dificuldade em cavar o solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Dificuldade na limpeza do solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Mandioca - *Manihot esculenta* – não cresce ou entorta indica compactação (Frequência: n = 2) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Batata-doce - *Ipomoea batatas* – não cresce ou entorta indica compactação (Frequência: n = 2) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Gama (2004) demonstra que solos compactados possuem maior densidade e resistência ao trabalho de ferramentas e implementos agrícolas, assim, a dificuldade de cavar e limpar o solo são indicadores adequados para evidenciar compactação de solo. Para Mattos e Cardoso (2016), como o principal produto da mandioca (*Manihot esculenta*) são as raízes, a cultura necessita de solos profundos e friáveis (soltos), sendo ideais os solos arenosos ou de textura média, por possibilitarem fácil crescimento das raízes, pela boa drenagem e pela facilidade de colheita. Os solos argilosos são indesejáveis por serem mais compactos que os de textura média, dificultarem o crescimento das raízes e apresentarem maiores riscos de encharcamento, provocando o apodrecimento das raízes, além de que, nesses solos, verificam-se maiores dificuldades na colheita, principalmente se ela coincidir com a época seca. Na mesma direção, Silva et al. (2016) expõem que a batata-doce (*Ipomea batatas*) é recomendada para plantio em solos arenosos e bem drenados, e solos pesados, rasos ou compactados provocam torção das raízes ou excesso de raízes finas. Assim, os indicadores tem validade científica para comprovação de compactação de solo.

Na Tabela 27, são mostrados cinco indicadores empíricos de ***disponibilidade de*** água no solo no bioma Amazônia, sendo três indicadores com validade científica, um indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO e um indicador sem informação científica que se torna objeto potencial de pesquisa.

Tabela 27. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***disponibilidade de água no solo.***

Disponibilidade de água no solo
Presença de cobertura de solo e matéria orgânica indica água no solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Áreas com cultivo anterior de leguminosas aumentam porosidade do solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Torrão de terra apertado na mão que se agrega indica água no solo – terra fria (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 1) Embaúba – *Cecropia pachystachya* - indica água superficial no solo ( ) SIM; ( ) NÃO; (X) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Áreas com cultivo anterior de milho – (*Zea mays* – aumentam porosidade do solo (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D

A presença de cobertura de solo e o acúmulo de matéria orgânica do solo são geralmente associados ao aumento de água no solo (Braida; Reichert, 2014). As áreas com cultivo anterior de leguminosas aumentam a porosidade e, consequentemente, a água no solo, pois elas promovem aumento da matéria orgânica do solo, que, por sua vez, favorecem o desenvolvimento de microrganismos promotores de aglutinação mecânica de partículas e melhoria na estrutura do solo, e se bem estruturado, o solo proporciona o aumento da porosidade e da retenção hídrica (Ambrosano et al., 2014; Wutke et al., 2009). E o torrão de terra apertado na mão que se agrega também indica água no solo, pois solos que apresentam, em sua textura, porcentagens altas de estruturas finas são muito influenciados pela umidade, além da forma das suas partículas e da sua composição química e mineralógica, causando grandes variações nas suas propriedades plásticas. Assim, solos com presença de umidade nos agregados e textura menos arenosa quando comprimidos possuem a capacidade de se moldar (Souza et al., 2000). Dessa maneira, os indicadores têm validade científica e devem ser utilizados para água no solo.

A presença de ervas, arbustos e árvores como a embaúba (*Cecropia pachystachya*) para indicar água no solo deve ser utilizada com critério. Para Oliveira e Carvalho (2011a, 2011b, 2010, 2009a, 2009b, 2008), Oliveira (2010), Oliveira e Mota (2010) e Oliveira et al. (2010), as embaúbas são plantas pioneiras com rápido crescimento, porém, a sua presença não indica necessariamente água no solo. Como visto anteriormente, a planta é indicadora de alta fertilidade devido à sua capacidade de extração de fósforo (P) do solo, sendo este nutriente muito limitante para a agricultura, por isso devem ser

observados os indicadores anteriores com a presença da embaúba, pois a última é considerada um indicador com validade científica SOB CONDIÇÃO.

A relação entre cultivo de milho (*Zea mays*) e aumento de porosidade é controversa. Na literatura, são encontrados trabalhos que demonstram aumento e diminuição da porosidade do solo após o cultivo do milho (Chioderoli et al., 2012; Matias et al., 2009), logo, o indicador não tem informação científica e pode se tornar um relevante objeto de pesquisa sobre a relação entre o cultivo e a disponibilidade de água no solo.

Na Tabela 28, são mostrados cinco indicadores empíricos de ***escassez de água no solo*** no bioma Amazônia, sendo três com validade científica e dois sem informação científica que se tornam objetos potenciais de pesquisa.

Tabela 28. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***escassez de água no solo.***

Escassez de água no solo
Murcha das plantas cultivadas em qualquer período indica escassez de água no solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Torrão de terra apertado na mão que se desagrega indica escassez de água no solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 1) Caju – *Anacardium occidentale* (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Limão – *C. limon* – e laranja - *C. sinensis* – esmigalham na mão se apertadas (Frequência: n = 1) ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D
Presença de ervas, arbustos e árvores (Frequência: n = 1) Muruci - *Byrsonima crassifólia* ( ) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; (X) OBJETO DE P&D

A murcha de plantas cultivadas em qualquer período indica escassez de água no solo, pois plantas em déficit hídrico tendem a apresentar folhas murchas mesmo nos horários de menor temperatura e luminosidade (Taiz; Zeiger, 2013). Torrão apertado na mão que se desagrega também indica escassez de água no solo, afinal, como já discutido anteriormente, solos que apresentam, em sua textura, alta porcentagem de estruturas finas são muito influenciados pela umidade, além da forma das partículas e da sua composição química e mineralógica, causando grandes variações nas suas propriedades plásticas, e a ausência de umidade nos agregados provoca a pulverização quando comprimido (Souza et al., 2000). A presença de ervas, arbustos e árvores,

como o cajueiro (*Anacardium occidentale*), pode ser utilizada como indicador de escassez de água no solo, afinal, a espécie sempre foi considerado uma planta tolerante à seca e capaz de se desenvolver em solos arenosos com baixa capacidade de retenção de água (Miranda, 2005). Nesse sentido, os indicadores têm validade científica.

Plantas cítricas como limão (*Citrus limon*) e laranja (*Citrus sinensis*), que se "esmigalham" (ou se desfazem) na mão quando apertadas, assim como a presença de ervas, arbustos e árvores, como muruci ou murici (*Byrsonima crassifólia*), são indicadores sem informação científica que se tornam objetos potenciais de pesquisa para indicar escassez de água no solo.

Para Sharma et al. (2006), a desagregação das plantas cítricas nas mãos está relacionada a uma desordem fisiológica conhecida como granulação das vesículas dos citros. A granulação tem confrontado pesquisadores em muitos países produtores de cítricos, porém, suas causas ainda não são totalmente compreendidas. Vários fatores associados aos distúrbios são citados nas diversas publicações, por exemplo, frequência de irrigação, elevadas taxas de adubação nitrogenada, crescimento vigoroso após podas ou adubações pesadas e colheita retardada. Da mesma forma, várias plantas popularmente conhecidas, como muruci ou murici, do gênero *Byrsonima*, toleram os períodos secos, mas não foram identificados registros na literatura que relatem sobre as espécies ocorrentes na Amazônia.

Na Tabela 29, são mostrados quatro indicadores empíricos de ***excesso de água no solo*** no bioma Amazônia, todos indicadores com validade científica.

Tabela 29. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***excesso de água no solo.***

Excesso de água no solo
Torrão de terra apertado na mão com escorrimento indica excesso de água no solo (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Morte das plantas cultivadas em alagamentos – ex: mamão – *Carica papaya* (Frequência: n = 2) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Morte das plantas cultivadas em alagamentos – ex: pimenta-do-reino - *Piper nigrum* (Frequência: n = 2) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D
Mandioca - *Manihot esculenta* – amolece (Frequência: n = 1) (X) SIM; ( ) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

O torrão de terra apertado na mão com escorrimento novamente aparece como conhecimento empírico, agora para indicar excesso de água no solo. Para Brito et al. (2011), o solo está próximo ou já atingiu sua capacidade de campo (CC) quando, após a compressão do torrão na mão e sua consequente deformação, resulta no escorrimento de água advinda dos poros. A morte das plantas cultivadas em alagamentos, como no caso do mamão (*Carica papaya*), também foi apontada empiricamente como indicador de excesso de água no solo. Conforme Souza et al. (2000), em condições de encharcamento, as plantas apresentam-se estioladas, com desprendimento prematuro das folhas inferiores, amarelecimento das folhas mais jovens, troncos finos e altos, desenvolvimento atrasado e produções reduzidas. E ainda de acordo com os mesmos autores, solos com problemas de encharcamento também proporcionam maior incidência da doença, como podridão-do-colo-do-mamoeiro, causada por fungos do gênero *Phytophthora.* A morte da pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) e o amolecimento da mandioca (*Manihot esculenta*) foram mencionados como mais dois indicadores de excesso de água no solo. Para Albuquerque et al. (1989), a recomendação para o cultivo da pimenta-do-reino se direciona para solos bem drenados e os solos sujeitos à encharcamento devem ser rejeitados devido à mortandade potencial da espécie cultivada. E para Mattos e Cardoso (2003), em condições de encharcamento, aumentam-se as possibilidades de ocorrência de agentes causadores de podridão radicular da mandioca. Assim, todos os indicadores tem validade científica.

Por fim, na Tabela 30, é mostrado um indicador empírico de água profunda no solo no bioma Amazônia sem validade científica. A presença do coqueiro-comum (*Cocos nucifera*) foi colocada como indicador de água profunda no solo, porém, para Miranda et al. (2003), o sistema radicular do coqueiro é superficial, sendo 90% das raízes encontradas até 1,5 m do tronco, o que torna o indicador sem validade científica.

Tabela 30. Classificação dos indicadores empíricos no bioma Amazônia: ***água profunda no solo.***

Água profunda no solo
Presença de coqueiro-comum - *Cocos nucifera*- indica água profunda no solo (Frequência: n = 2) ( ) SIM; (X) NÃO; ( ) SIM SOB CONDIÇÃO; ( ) OBJETO DE P&D

Conclusões

A aplicação da metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais possibilita o levantamento a campo e a classificação dos mesmos indicadores em dinâmicas participativas, a partir de temas de pesquisa e (ou) etnopesquisa pré-concebidos conjuntamente entre agricultura familiar, técnicos e pesquisadores.

A classificação dos indicadores empíricos de serviços ambientais em "com validade científica" (SIM), "com validade científica SOB CONDIÇÃO" (SIM SOB CONDIÇÃO), "sem validade científica" (NÃO) e "sem informação científica e que se tornam objeto potencial de pesquisa" (OBJETO DE P&D) torna prático e estratégico o uso dos mesmos indicadores, pois os dois primeiros grupos classificados como "SIM" e "SIM SOB CONDIÇÃO" (desde que observadas as condições adicionais) auxiliam na adesão e (ou) na qualificação do monitoramento da qualidade ambiental dos sistemas de produção, o terceiro grupo "NÃO" elimina observações equivocadas e riscos de tomadas de decisões inadequadas a partir do descarte de conhecimentos empíricos sem validade científica, e o último "OBJETO DE P&D" traz oportunidades de novos desafios científicos com potencial de impactos imediatos no campo após novo processo de validação científica. E o processo de levantamento a campo e validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais em dinâmicas participativas pode ser contínuo no âmbito comunitário, trazendo ganhos sucessivos aos sistemas de produção e à gestão ambiental dos estabelecimentos rurais.

Nos estudos de caso trazidos pelo presente trabalho, por exemplo, em ambos os biomas, pelo menos um indicador empírico de serviços ambientais foi classificado como "SIM" ou "SIM SOB CONDIÇÃO" para cada tema de pesquisa agronômica e (ou) etnopesquisa social, exceto para água profunda no bioma Amazônia, tema específico que não recebeu indicação, mas sem prejuízo à aplicação da metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais, pois se trata de um indicador de menor importância no manejo de agroecossistemas de um bioma com índices pluviométricos não limitantes à consolidação de sistemas de produção. Portanto, os resultados robustos alcançados nos estudos de caso demonstram a viabilidade da metodologia proposta no monitoramento da qualidade ambiental de sistemas de produção.

No bioma Cerrado, dos 101 indicadores empíricos de serviços ambientais levantados a campo, 64 (ou 63%) foram validados cientificamente, sendo 32 com validade científica (SIM) (14Q, 13FH, 5B)[12] e 32 com validade científica SOB CONDIÇÃO (SIM SOB CONDIÇÃO) (16-Q, 9-FH, 7-B). Entre os restantes, 24 indicadores sem validade científica (NÃO) (15-Q, 6-FH, 3-B) foram descartados e 13 sem informação científica (OBJETO DE P&D) (11-Q, 2-FH, zero-B) tornaram-se objetos potenciais de pesquisa.

Já no bioma Amazônia, dos 51 indicadores empíricos de serviços ambientais levantados a campo, 45 (ou 88%) foram validados cientificamente, sendo 31 com validade científica (SIM) (8Q, 16FH, 7B) e 14 com validade científica SOB CONDIÇÃO (SIM SOB CONDIÇÃO) (11-Q, 2-FH, 1-B). Entre os restantes, 3 indicadores sem validade científica (NÃO) (2-Q, 1-FH, zero-B) foram descartados e 3 sem informação científica (OBJETO DE P&D) (zero-Q, 3-FH, zero-B) tornaram-se objetos potenciais de pesquisa.

Por conseguinte, dos 152 indicadores empíricos levantados em ambos os biomas, 63 (41%) com validade científica (SIM) podem ser prontamente utilizados no monitoramento da qualidade ambiental de sistemas de produção, enquanto 46 (30%) com validade científica SOB CONDIÇÃO (SIM SOB CONDIÇÃO) podem ser utilizados para a mesma finalidade desde que observadas as condições adicionais, ao passo que 16 (11%) se tornaram objetos potenciais de pesquisa para projetos futuros e apenas 27 (18%) foram descartados, o que denota a capacidade de conhecimento empírico da agricultura familiar.

A metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais deve ser aplicada de forma integral, ou seja, a observação do conjunto de indicadores deve servir para expressar as mudanças no uso da terra e auxiliar o monitoramento da qualidade ambiental dos sistemas de produção. A partir de conhecimentos empíricos, a agricultura familiar observa as relações entre mudanças no uso da terra e qualidade ambiental dos sistemas de produção, avançando ou retrocedendo nas tomadas de decisões conforme essas relações se manifestam no tempo. Assim, a incorporação de novos conhecimentos empíricos utilizados em outros estabelecimentos rurais, somados aos já exercitados em suas unidades de produção, permitirá a

[12] Q = indicadores de química de solos; B = indicadores de biologia de solos; F = indicadores físico-hídricos de solos.

cada família que novas relações entre mudanças no uso da terra e qualidade ambiental dos sistemas de produção sejam observadas, o que poderá trazer aprendizados e melhorias nas tomadas de decisão quanto à gestão produtiva e ambiental integrada dos imóveis rurais.

Os processos de tomadas de decisões auxiliados pelo agrupamento dos indicadores empíricos de serviços ambientais e pelo uso daqueles com validade científica (SIM + SIM SOB CONDIÇÃO, desde que observadas as condições do próprio indicador ou na manifestação de outros indicadores assim classificados), também aumentam o grau de confiabilidade das relações entre mudanças de uso da terra e provisão de serviços ambientais correspondentes. Assim, a metodologia proposta preza pela integração entre conhecimentos empíricos e científicos, sem a preocupação de se traçar relações unívocas entre indicadores e provisão de serviços ambientais, pois, dentro dessas relações, há uma complexidade enorme que deve ser interpretada, paulatinamente, por meio da aplicação contínua da metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais.

Dessa forma, a metodologia de validação científica de indicadores empíricos de serviços ambientais pode contribuir na qualificação de políticas públicas, especialmente, se incorporada como metodologia adicional à certificação oficial de agricultura orgânica. De um lado, a metodologia proposta pode estreitar as relações com outras políticas públicas voltadas à agricultura familiar (ex: desconto por qualidade ambiental nas parcelas de amortização do crédito rural do Pronaf, benefício proposto há anos pelos movimentos sociais do campo e denominado de “rebate ecológico”), e do outro, pode basear a efetivação de programas governamentais de serviços ambientais (ex: PSA baseado na contabilização do custo de trabalho adicional para erradicação do uso do fogo na agricultura de corte e queima).

Por fim, vale ressaltar que a colaboração teórica, metodológica e dos estudos de caso presentes no estudo demonstram não somente que o conhecimento popular sobre indicadores de serviços ambientais tem relevante validade científica, mas também que as formas empíricas de observação e interpretação das funções providas pelos ecossistemas e agroecossistemas têm potencial de identificar diversos objetos potenciais de pesquisa e colaborar com o avanço do conhecimento dialogado entre conhecimento tradicional e científico.

Agradecimentos

Agradecemos à Embrapa pelo apoio financeiro ao *Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais*; aos gestores públicos Aloísio Melo (Ministério da Fazenda), Rogério Dias e Jorge Ricardo Gonçalves (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) pelas discussões sobre mecanismos de qualificação de políticas públicas; à pesquisadora Alba Leonor da Silva Martins (Embrapa Solos), aos pesquisadores Rafael Gonçalves Tonucci (Embrapa Caprinos e Ovinos), Mauricio Kadooka Shimizu (Embrapa Amazônia Oriental), Marcelo Nascimento de Oliveira (Embrapa Sede) e Edmundo Barrios (ICRAF), ao gestor público Roberto Mattar (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e ao técnico Luís Fernando Guedes Pinto (Imaflora) pelas colaborações na *Oficina de Construção Metodológica*, realizada no Rio de Janeiro (RJ), em 2015; aos agricultores e agricultoras familiares dos biomas Cerrado e Amazônia pelas atividades de campo; à estagiária Gleidianny Eleutério (Agronomia, UPIS) e aos estagiários Carlos Henrique Vieira (Geografia, UEG), André Franco Netto e Pedro Attilio Fragale (Eng. Florestal, UnB) pelo apoio nas atividades de campo; aos pesquisadores(as) Alexsandra Duarte de Oliveira, Cícero Donizete Pereira, Djalma Martinhão Gomes de Sousa, Éder de Souza Martins, Eloisa Belleza Ferreira, Fabiana de Góis Aquino, Fábio Bueno Reis, Fernando Antônio Macena da Silva, Giuliano Marchi, Ieda de Carvalho Mendes, Jorge Cesar dos Anjos Antonini, Marcos Aurélio Carolino de Sá, Robélio Leandro Marchão, Thomas Adolpho Rein, Vinícius Bof Buffon e Zaré Augusto Brum Soares (Embrapa Cerrados) e Célia Maria Braga Calandrini de Azevedo, Débora Veiga Aragão, Kelly Regina Pantoja, Lucilda Maria Sousa de Matos e Osvaldo Ryohei Kato (Embrapa Amazônia Oriental) pelas participações nas *Oficinas de Validação Cientifica de Indicadores Empíricos dos Biomas Cerrado e Amazônia*, respectivamente, realizadas em Planaltina, DF e Belém, PA, em 2016; e à Yumi Parralego (Mutirão Agroflorestal) pelo auxílio na revisão bibliográfica.

Referências

ABRAMOVAY, R. O capital social dos territórios: repensando o desenvolvimento rural. **Economia Aplicada**, v. 4, n. 2, 2000.

ALBUQUERQUE, F. C. de; VELOSO, C. A. C.; DUARTE, M. de L. R.; KATO, O. R. **Pimenta-do-reino**: recomendações básicas para seu cultivo. Belém: EMBRAPA-UEPAE de Belém, 1989. 40 p. il. (EMBRAPA-UEPAE de Belém. Documentos, 12).

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, G. M. B. Adubação verde na agricultura orgânica. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 2, p. 45-80.

ANA. Articulação Nacional de Agroecologia, 2014. Disponível em: <http://www.agroecologia.org.br>. Acesso em: 02 abr. 2015.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. L. **Tropical soil biology and fertility**: a handbook of methods. Wallingford: CAB International, 1993. 221 p.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. The Soil Management Assessment Framework: a quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 1945-62, 2004.

ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. (Ed.). **Agricultural Technologies and Tropical Deforestation**. Oxfordshire: CABI Publishing, 2001.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, July./Sept. 2007.

AYRES, M. I. C; ALFAIA, S. S. Calagem e adubação potássica na produção do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais da Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 7, p. 957-963, jul. 2007.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAL, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; ALVES, M. V. **Fauna edáfica e qualidade de solo**. Tópicos em Ciência do Solo, v. 7, p. 119-170, 2011.

BARRIOS, E.; COUTINHO, H. L. C.; MEDEIROS, C. A. B. **InPaC-S: Integração Participativa de Conhecimentos sobre Indicadores de Qualidade de Solo**. Nairóbi (Quênia): ICRAF: Brasília, DF: Embrapa, 2011.

BARRIOS, E.; TREJO, M. T. Implications of local soil knowledge for integrated soil management in Latin America. **Geoderma**, n. 111, p. 217-231, 2003.

BARRIOS, E.; DELVE, R. J.; BEKUNDA, M.; MOWO, J.; AGUNDA, J.; RAMISCH, J.; TREJO, M. T.; THOMAS, R. J. Indicators of soil quality: a south–south development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. **Geoderma**, n. 135, p. 248-259, 2006.

BEDUSCHI FILHO, L. C. **Assentamentos rurais e conservação da natureza**: do estranhamento à ação coletiva. São Paulo: IGLU Editora: FAPESp, 2003.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005.

BORGES, A.; PAVANI, L.; CARRIJO, T.; MARQUES, V. Desenvolvimento de triquílias e colonização por formigas Azteca sp. em embaúba (Cecropia pachystachya, urticaceae). **Pratica da pesquisa em Ecologia da Mata Atlântica**, 2007.

BRAGA, L. M.; FONTES, A. O.; SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. Crescimento de raízes de soja MG/BR "Conquista" em Latossolo submetido a níveis de compactação. In: ENCONTRO DE JOVENS TALENTOS DA EMBRAPA CERRADOS, 4., 2009, Planaltina, DF. **Resumos apresentados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009a. p. 118-119 (Embrapa Cerrados. Documentos, 243).

BRAGA, L. M.; FONTES, A. O.; SÁ, M. A. C.; **SANTOS JUNIOR, J. D. G. Crescimento de raízes de soja MG/BR "Conquista" em Latossolo submetido a níveis de compactação.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009b. 1 folder.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e comportamento mecânico para fins de manejo do solo. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. **Agricultura Conservacionista no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 309-339.

BRITO, A. S; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1939-1948, 2011.

BRONDIZIO, E. S.; OSTROM, E.; YOUNG, O. R. Connectivity and the governance of multilevel social-ecological systems: the role of social capital. **Annual Review of Environmental and Resources**, 2009.

CALEGARI A; MONDARDO A; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. p. 1-56.

CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. **Cor do solo**: uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição à automatização do método para fins de classificação de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, 2004.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; KARLEN, D. L.; CERRI, C. C. Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil & Tillage Research**, v. 173, n. 64-74, 2017.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 02 abr. 2015.

CORRÊA, J. C.; MIELE, M. A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. **Manejo ambiental na avicultura.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 125-152.

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 107-114, jan. 1995.

CORREIA, M. E. F. **Relações entre a diversidade de fauna de solo e o processo de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002. 33 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 156).

COSTANZA, R.; DE GROOT, R.; SUTTON, P.; VAN DER PLOEG S.; ANDERSON S. J.; KUBISZEWSKI I.; FARBER S.; TURNER. R. K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, n. 1, p. 152-158, 2014.

COSTANZA, R. **Current History - an excellent six-page (including a concise chart) exposition of ecological economics**. Burlington, VM: University of Vermont and State Agricultural College, 2008.

COSTANZA, R.; DARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; ONEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. May, p. 253-260, 1997.

CURI, N.; CHAGAS, C. S.; GIAROLA, N. F. B. Distinção de ambientes agrícolas e relações solo-pastagens nos Campos da Mantiqueira (MG). In: EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M.; CURI, N. (Ed.). **Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes, MG**: reunião de trabalho sobre pastagens nativas e desenvolvimento de pastagens para gado de leite nos Campos das Vertentes. Lavras: ESAL: Embrapa, 1994. p. 21-43.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological Economics**: principals and applications. Washington, DC: Pan-American, 2000.

DENEF, K.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. B.; SIX, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 5, p. 1165-1172, May 2007.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil:** sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn Deutsche: Gesellschaff fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1991. 272 p.

DIAS FILHO, M. B. **Plantas invasoras em pastagens cultivadas na Amazônia: estratégias de manejo e controle.** Belém: Embrapa-CPATU, 1990. 103 p. (Embrapa-CPATU. Documentos, 52).

DOMINATI, E.; MURRAY, P.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics**, v. 69, p. 1858-1868, 2010.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and acessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special publication, 35).

DRINKWATER, L. E.; SNAPP, S. S. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. **Advances in Agronomy,** v. 92, p. 163–86, 2007.

EMBRAPA, 2015 (Em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 02/04/15).

EMBRAPA. **Marco Referencial em Agroecologia**. Brasília, DF: Embrapa, 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas**: princípios e perspectivas. 2. Ed. Londrina: Editora Planta, 2004.

ESpÍRITO-SANTO FILHO, K. **Efeito de distúrbios ambientais sobre a fauna de cupins (Insecta: Isoptera) e seu papel como bioindicador**. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia)- Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2005.

FOLKE, C.; HAMMER, M.; COSTANZA, R.; JANSSON, A. M. (Ed.). Investing in Natural Capital: Why, What, and How? In: JANSSON, A. M.; HAMMER, M.; FOLKE, C.; COSTANZA, R. **Investing in Natural Capital**: the ecological economics approach to sustainability **.** Washington, D.C.: Island Press, 1994. p. 1-20.

FONTES, A. O.; BRAGA, L. M.; SA, M. A. C. de; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos. Compactação crítica do solo para o crescimento de raízes de brachiaria brizantha cv. Marandu. In: ENCONTRO DE JOVENS TALENTOS DA EMBRAPA CERRADOS, 4., 2009, Planaltina, DF. **Resumos apresentados...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009b. p. 29-30 (Embrapa Cerrados. Documentos, 243).

FRAGALE, P. A. C.; FRANCO NETTO, A. de S.; LUZ, I. de S. B.; VIEIRA, C. H. N.; PEREIRA, J.; MATTOS, L. M. de. Análise da viabilidade financeira de sistema agroflorestal sucessional: da implantação da horticultura orgânica à sucessão por café sombreado. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA CERRADOS. **Jovens talentos 2016**: resumos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016. p. 90 (Embrapa Cerrados. Documentos, 334).

FRAGALE, P. A. C.; FRANCO NETTO, A. de S.; ELEUTÉRIO, G.; MATTOS, L. M. de. Levantamento de indicadores empíricos para subsidiar a construção de metodologia de avaliação da conformidade de serviços ambientais. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA CERRADOS, 2015, Planaltina, DF. **Jovens Talentos 2015**: resumos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. p. 105

FRANÇA, C. G.; DEL GROSSI, M. E.; MARQUES, V. P. M. A. **O Censo Agropecuário 2006 e a agricultura familiar no Brasil**. Brasília, DF: NEAD/MDA, 2009.

FRANCO NETTO, A. de S.; FRAGALE, P. A. C.; VIEIRA, C. H. N.; AQUINO, F. de G.; FERREIRA, E. A. B.; MATTOS, L. M. de. Validação científica de indicadores empíricos para subsidiar construção de metodologia de avaliação da conformidade de serviços ambientais. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA CERRADOS**. Jovens talentos 2016**: resumos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016. p. 57 (Embrapa Cerrados. Documentos, 334).

FRANCO NETTO, A. de S.; FRAGALE, P. A. C.; LUZ, A. de S. B.; VIEIRA, C. H. N.; PEREIRA, J.; MATTOS, L. M. de. Análise da viabilidade financeira de uso de culturas de ciclo curto para amortizar investimentos em sistemas agroflorestais sucessionais. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA CERRADOS, 2015, Planaltina, DF. **Jovens Talentos 2015**: resumos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. p. 56 (Embrapa Cerrados. Documentos, 328).

GAMA, J. R. N. F. **Solos**: manejo e interpretação. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 183 p.

GLIGO, N. Política, Sustentabilidad Ambiental y Evaluación Patrimonial. Pensamiento Iberomericano. **Revista de Economia Política**, n. 12, jul./dec. 1987.

GODOY, R.; BACCHI, O. O. S.; MOREIRA, F. **Metodologias de laboratório para compactação de solos para análise de desenvolvimento de plantas**. São Carlos, Sp: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 34p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documento, 74).

HARDIN, G. The tragedy of the commons. **Science**, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, 1968.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop rotation systems**. Applied Soil Ecology,** v. 42, p. 288-296, 2009.

IBGE. **Censo Agropecuário2006 - agricultura familiar.** Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IEA. Instituto de Economia Agrícola, 2013. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 02 abr. 2015.

JORGENSEN, S. E.; BURKHARD, B.; MULLER, F. Twenty volumes of ecological indicators, an accounting short review. **Ecological Indictors**, v. 28, p. 4-9, 2013.

KOELLNER, T.; DE BAAN, L.; BECK, T.; BRANDÃO, M.; CIVIT, B.; MARGNI, M.; CANALS, L. M. UNEP-SETAC guideline on global land use impact assessment on biodiversity and ecosystem services in LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 6, p. 1188-1202, 2013.

LAMARQUE, P.; QUERTIER, F.; LAVOREL, S. The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. **Biologies,** v. 334, p. 441-449, 2011.

LAVELLE, P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, n. 1, p. 3-15, 2006.

LEPSCH, I. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo. Oficina de textos, 2010.

LIMA, S. S.; ALVES, B. J. R.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; PINHEIRO, E. F. M.; SANT'ANNA, S. A. C.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Relação entre a presença de cupinzeiros e a degradação de pastagens. **Revista Agropecuária Brasileira,** v. 46, n. 12, 2011.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 461, 2013.

LOUREIRO, W. ICMS Ecológico: a consolidação de uma experiência brasileira de incentivo à conservação da biodiversidade. **Ambiente Brasil.** 2008. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em: 27 fev. 2008.

MACHADO, C. T. T.; VIDAL, M. C. Avaliação participativa do manejo de agroecossistemas: indicadores de sustentabilidade. In: DE BOEF, W. S.; THIJSSEN, M. H.; OGLIARI, J. B.; STHAPIT, B. R. (Org.). **Biodiversidade e agricultores**: fortalecendo o manejo comunitário. Porto Alegre: L&PM, 2007, p. 103-113.

MALUCHE-BARRETA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T.; KLAUBERG- FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1531-1539, 2006.

MARANHÃO, N. **Sistema de indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas.** 2007. 422 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

MARQUES, A. L. **Ermitofauna associada a pastagens cultivadas**: parâmetros para sua utilização como indicador ecológico na pecuária. 2008. 51 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual do Mato Grosso, Cáceres, 2008.

MARTÍNEZ-ALIER, J. **Da economia ecológica ao ecologismo popular**. Blumenau: FURB, 1998.

MARTINEZ-ALIER, J.; ROCA JUSMET, J**. Economia ecológica e política ambiental**. Ciudad de México: Fondo de Cultura Econômica, 2001. 499 p.

MASCARENHAS, R. E. B.; MODESTO JUNIOR, M. de S.; DUTRA, S.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; TEIXEIRA NETO, J. F. Plantas daninhas de uma pastagem cultivada de baixa produtividade no nordeste paraense. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, p. 399-418, 1999.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agron**ômica, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.

MATTOS, L.; HERCOWITZ, M. (Org). **Economia do Meio Ambiente e Serviços Ambientais**: estudo aplicado à agricultura familiar, às populações tradicionais e aos povos indígenas. Brasília, DF: Embrapa, 2011.

MATTOS, L. **Decisões sobre usos da terra e dos recursos naturais na agricultura familiar amazônica**: o caso do Proambiente. 458 f. Tese (Doutorado)- Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010a.

MATTOS, L. Agricultura Familiar: um dos Rumos do Brasil. *Blog Rumos do Brasil*. Rio de Janeiro/RJ, 2010b.

MATTOS, L.; CAU, A. Efetividade do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no contexto das atividades agroflorestais no Brasil: uma análise crítica. In: PORRO, R. (Org.). **A alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação**. Belém: Embrapa: ICRAF, 2009.

MATTOS, P. L. P.; CARDOSO, H. M. R. **Cultivo da Mandioca para o Estado do Pará**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. (**Sistemas de Produção, 13**).

Mello, F. V. et al. **A importância da mesa e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores**. Boletim informativo da SBCS. Janeiro-Abril, 2009.

MELO, F. V.; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J. N. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W.; ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna de solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim informativo da SBCS**, jan-abr 2009.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. dos. **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 34 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 112).

MENDES, I. C.; TORMENTA, C. A.; CHERUBIN, M. R. Soil health assessment and maintenance in Central and South-Central Brazil. In: REICOSKY, D. (Ed.). **Managing soil health for sustainable agriculture.** Cambridge: Burleigh Dodds Science, 2018. v. 2

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Millennium Ecosystem Assessment, ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. World Resources Institute, Washington DC, 2005.

MIRANDA, F. R. Irrigação. In: OLIVEIRA, V. H.; COSTA, V. S. O. **Manual de produção integrada de caju**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2005. p. 173-194.

MIRANDA, F. R. de; FREITAS, J. de A. D. de; MONTENEGRO, A. A. T.; CRISÓTOMO, L. A. **Distribuição das raízes do coqueiro-anão verde para o manejo da irrigação e a aplicação de fertilizantes**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 5 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 16).

MORAN, E. **Nós e a Natureza:** introdução às relações homem-ambiente. São Paulo: Editora Senac, 2008.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JUNIOR, R. N. de. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, 2013.

NG'INJA, J.O. LAURIKS, R.; NIANG, A. I.; PALM, C. A. **Traditional hedges in western Kenya: typology, composition, distribution, uses, productivity and tenure**. Maseno, Kenya: World Agroforestry Research Centre, 1998.

NIEMEIJER, D., DE GROOT, R. S. “A conceptual framework for selecting environmental indicator sets.” **Ecological Indicators**, v. 8, p. 14-25, 2008.

OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. **Environmental Indicators – Development, measurement and use**. Reference paper. 2003. Disponível em: <http://www.oecd.org/env/>. Acesso em: 15 ago. 2018.

OLIVEIRA, P. C. Fenologia & crescimento de espécies acumuladoras de fósforo na Amazônia. **Holos,** v. 3, p. 37-45, 2010.

Oliveira, L. C. Dinâmica de crescimento e regeneração natural de floresta secundaria no Estado do Para. Ecology and management of tropical secondary forest. **Science, People and Policy**, 1998.

OLIVEIRA, P. C.; CARVALHO, C. J. R. Estratégias de sobrevivência de espécies arbóreas em ambientes deficientes por fósforo na Amazônia. **Holos,** v. 27, p. 2-14, 2011a.

OLIVEIRA, P. C.; CARVALHO, C. J. R. Rizosferas de árvores acumuladoras de fósforo na Amazônia Brasileira. **Universitas Scientiarum**, v. 16, p. 111-118, 2011b.

OLIVEIRA, P. C.; CARVALHO, C. J. R. Respostas eco fisiológicas por espécies arbóreas acumuladoras de fósforo na Amazônia. **Holos,** v. 1, p. 3-17, 2010.

OLIVEIRA, P. C.; CARVALHO, C. J. R.; SÁ, T. D. A. Árvores prestadoras de serviços ecológicos na Amazônia Brasileira. **Universitas Scientiarum,** v. 15, p. 265-277, 2010.

OLIVEIRA, P. C.; CARVALHO, C. J. R. Reabsorção de nutrientes por espécies arbóreas acumuladoras de fósforo na Amazônia: influência na qualidade da serrapilheira**. Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, p. 11-19, 2009a.

OLIVEIRA, P. C.; CARVALHO, C. R. A serrapilheira de espécies arbóreas amazônicas potencialmente acumuladoras de fósforo: um *mulch* importante para sistemas de produção agrícola familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, p. 20, 2009b.

OLIVEIRA, P. C.; CARVALHO, C. J. R. Interações biofísicas em espécies arbóreas potencialmente acumuladoras de fósforo: diversidade de irradiância e de comportamento hídrico. **Acta Amazônica,** v. 38, p. 445-452, 2008.

OLIVEIRA, P. C.; MOTA, L. Preservando cecropiais nativos em paisagens amazônicas: uma estratégia ecológica em solos deficientes por fósforo. **Holos,** v. 2, p. 3-20, 2010.

ORREANO, M. C. M.; RODRIGUES, R. R.; BOARETTO, A. E. **Guia de nutrição para espécies florestais nativas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 254 p.

OSTROM, E. **El gobierno de los bienes comunes**: la evolución de las instituciones de acción colectiva. Ciudad de México: UNAM; CRIM-Fondo de Cultura Económica, 2000. 395 p.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 2002.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. S.; BONA, F. D. Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo -DRES. Londrina: Embrapa Soja, 2017. (Embrapa Soja. Documentos 390).

RAMOS, M. R. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, v. 115, n. 1, p. 131-140, 2014.

RESCK, D. V. S.; FEREIRA, E. A. B.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; FIGUEIREDO, C. C. Manejo do solo sob um enfoque sistêmico. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. D. (Ed.). **Savanas**: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008a. p. 417-473.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, p. 359-417, 2008b.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORREA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 338 p. 2002.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, J. P. C.; FERNANDES, V. B. B.; MAFRA, A. L.; ALMEIDA, J. A. Changes of chemical attributes of a soil after burning its native permanent pasture. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, jan-fev, 2003.

ROMEIRO, A. R. **Desenvolvimento sustentável e mudança institucional: notas preliminares.** Campinas: IE/UNICAMP, 1998. 26 p. (Textos para Discussão, n. 68).

ROMEIRO, A. R. **Economia ou economia política da sustentabilidade**? Campinas: IE/UNICAMP, 2001. 28 p. (Textos para Discussão, n 102).

SÁ, M. A. C. Qual a relação entre a compactação do solo e a erosão? **Boletim Pecuário**, 18 mar. 2004.

SÁ, M. A. C. de; FRANZ, C. A. B.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos; REIN, T. A.; BUFON, V. B.; CARVALHO, A. M. de; MULLER, A. G. **Manejo do palhiço residual n a cultura de cana-de-açúcar no Cerrado**: primeira aproximação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. 6 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 27).

SÁ, M. A. C. de; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos. **Compactação do solo**: consequências para o crescimento vegetal. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 25 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 136).

SÁ, M. A. C.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; FRANZ, C. A. B. **Manejo e conservação do solo e da água em sistema de plantio direto no Cerrado.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 53 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 258).

SÁ, M. A. C.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; MIRANDA, L. N. **Avaliação do intervalo hídrico ótimo e sua relação com a produtividade e a massa de raízes de feijoeiro em sistema de plantio direto e preparo convencional do solo.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007b. 28 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 194).

SÁ, M. A. C.; SHIRATSUCHI, L. S.; FRANZ, C. A. B.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. **Compactação do solo e produtividade da cultura da soja em área irrigada no Cerrado.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007a. 31 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 177).

SAMBUICHI, R. H. R.; SpÍNOLA, P. A. C.; MATTOS, L. M.; ÁVILA, M. L.; MOURA, I. F.; SILVA, A. P. M. **A Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica no Brasil**: uma trajetória pelo desenvolvimento rural sustentável. Brasília, DF: IPEA, 2017a. 463 p.

SAMBUICHI, R. H. R.; SpÍNOLA, P. A. C.; MATTOS, L. M.; ÁVILA, M. L.; MOURA, I. F.; SILVA, A. P. M. **Análise da construção da política nacional de agroecologia e produção orgânica no Brasil**. Brasília, DF: IPEA, 2017b. (Texto para Discussão, 2305).

SANTOS JÚNIOR, J. de D. G.; SÁ. M. A. C. de; REIN, T. A. **Qualidade física do solo em sistemas de preparo convencional e plantio direto em latossolo do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. 27 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 171).

SHARMA, R. R.; SINGH, R.; SAXENA, S. K. Characteristics of citrus fruits in relation to granulation. **Scientia Horticulturae**, v. 111, p. 91-96, 2006.

SHIELDS, D. J.; ŠOLAR, S. V.; MARTIN, W. E. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicators**, v. 2, p. 149-160, 2002.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Batata-doce (Ipomoea batatas)**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. (Sistemas de Produção, 6). Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batata-doce/Batata-doce_Ipomoea_batatas/ apresentacao.html>. Acesso em: 17 nov. 2016.

SANTOS-SILVA, J.; FRAGOMENI, S. M.; TOZZI, A. M. G. A. Taxonomic revision of the species of Mimosa ser. Leiocarpae sensu lato (Leguminosae - Mimosoideae). **Rodriguésia,** v. 66, n. 1, jan./mar. 2015.

SILVA, S. M. **Quantificação de carbono de um sistema agroflorestal em área de Cerrado no Brasil Central**. 2013. 58 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

SILVA, A. P. et al. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 241-280.

SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. Ed. Brasília: Embrapa. 2004.

SOUZA, C. M. A.; RAFUL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 4, n. 3, p. 460-464, 2000a.

SOUZA, L. S.; COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G. Exigências edafoclimáticas. In: TRINDADE, A. V. **Mamão**: produção e aspectos técnicos. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000b. p. 16-17. (Frutas do Brasil, 3).

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 640 p.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TOMITA, C. K. **Manejo em sistemas orgânico e convencional: epidemiologia e controle de doenças em culturas de goiaba, gipsofila e pupunha**. 2009. 163 f. Tese (Doutorado)- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos Avançados em Ciência do Solo**, v. 2, p. 195-276, 2002.

TSUKAMOTO FILHO, A. A.; COUTO, L.; NEVES, J. C. L.; PASSOS, C. A. M.; SILVA, M. L. Fixação de carbono e produção de biomassa em um sistema agroflorestal com eucalipto na Região do Cerrado de Minas Gerais. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2004.

TURETTA, A. P.; MATTOS, L. M. A proposal to enhance ecosystem services provision in rural landscapes: a study case in Brazil. In: **BOOK of Abstracts**: Landscape 2018: Frontiers of agricultural landscape research. Müncheberg: Leibniz Centre of Agricultural Landscape Research, 2018.

TURETTA, A. P. D.; PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; SCHLER, A. E.; COUTINHO, H. L. C. Seleção de indicadores para o monitoramento de PSA hídricos. In: FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; SCHULER, A. E. (Ed.). **Manual para pagamento por serviços ambientais h**ídricos: seleção de áreas e monitoramento. Brasília, DF. Embrapa, 2017. 78 p. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071113/manual-para-pagamento-por-servicos-ambientais-hidricos-selecao-de-areas-e-monitoramento>. Acesso em: 29 ago. 2018.

TURETTA, A. P. D.; TONUCCI, R.; MATTOS, L. M.; AMARO, G.; BALIEIRO, F.C.; PRADO, R.B.; SOUZA, H.A.; OLIVEIRA, A. P. An approach to assess the potential of agroecosystems in providing environmental services. **Revista Agropecuária Brasileira,** v. 51, n. 9, p. 1051-1060, set. 2016.

TURETTA, A. P. D.; TONUCCI, R. G.; MATTOS, L. M. de. Agricultural management strategies to enhance family farming in Brazil. In: TROPICAL AND SUBTROPICAL AGRICULTURAL AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT CONFERENCE, 2016, Vienna, Austria. **Solidarity in a competing world** - fair use of resources: proceedings... Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences, 2016. 1 p. TROPENTAG 2016.

Imagem marcado/desmarcado TURETTA, A. P. D.; BALIEIRO, F. de C.; ANDRADE, A. G. de; PRADO, R. B.; OLIVEIRA, A. P. de; DONAGEMMA, G. K.; MATTOS, L. M. de. Adaptive agriculture strategies to enhance ecosystem services provision in tropical mountain area in Brazil. In: EUROPEAN MOUNTAIN CONVENTION, 10., 2016, Bragança, Portugal. **Mountains? vulnerability to climate change**: how can people and territories adapt and mitigate its effects?: proceedings... Bragança: CIMO: Instituto Politécnico de Bragança, 2016.

TURETTA, A. P. D.; ARAGAO, D. V.; VASCONCELOS, S. S.; AMARAL, A. J. do; PRADO, R. B.; SILVA NETO, L. de F. da; OLIVEIRA, A. P. de; MATTOS, L. M. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; EVANGELISTA, B. A.; FERREIRA, E. A. B.; SILVA, O. D. D. da; FELIZZOLA, J. F.; TONUCCI, R. G.; AMARO, G. C.; ARCO-VERDE, M. F. **Seleção de indicadores de serviços ambientais no Projeto Transição Produtiva e Serviços Ambientais da Embrapa**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 5 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 72).

TURNHOUT, E., ILER, M. H., EIJSACKERS, H. Ecological indicators: Between the two fires of science and policy. ***Ecological Indicators,*** 7: 215-228. 2007.

VENDRAME, P. R. S.; MARCHÃO, R. L.; BRITO, O. R.; GUIMARÃES, M. F.; BECQUER, T. Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. **Revista Agropecuária Brasileira,** v. 44, n. 8, 2009.

VIEIRA, C. H. N.; MARTINS, P. T. de A.; MATTOS, L. M. de. **Evolução temporal e espacial do uso da terra e dos recursos naturais em estabelecimentos rurais de agricultura orgânica do Distrito Federal e Entorno**. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA CERRADOS. Jovens talentos 2016: resumos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016. p. 59 (Embrapa Cerrados. Documentos, 334).

WUTKE, E. B.; TRANI, P. E.; AMBROSANO, E. J.; DRUGOWICH, M. I. **Adubação Verde no Estado de São Paulo**. Campina: CATI, 2009. 89 p. (Boletim Técnico 249).

ZARIN, D. J.; DAVIDSON, E. A.; BRONDIZIO, E.; VIEIRA, I. C. G.; SÁ, T.; FELDPAUSCH, T.; SCHUUR, E. A. G.; MESQUITA, R.; MORAN, E.; DELAMONICA, P.; DUCEY, M. J.; HURTT, G. C.; SALIMON, C.; DENICH, M. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazonian forest regrowth. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 3, n. 7, p. 365-369, Sep. 2005.

ANEXO I

QUESTIONÁRIO MODELO (REDUZIDO) – ATIVIDADES DE CAMPO

PROJETO TRANSIÇÃO PRODUTIVA E SERVIÇOS AMBIENTAIS
VALIDAÇÃO CIENTÍFICA DE INDICADORES EMPÍRICOS DE SERVÇOS AMBIENTAIS

QUESTIONÁRIO nº _____

BIOMA	( ) Cerrado	( ) Amazônia

Facilitador da dinâmica de campo (membro do projeto):	
Estabelecimento Rural:	
Endereço:	
CEP:	Município (UF):
Grupo de Participantes (máximo de 6 participantes por dinâmica de campo)	
Nome:	( ) A; ( ) T; ( ) P
Nome:	( ) A; ( ) T; ( ) P
Nome:	( ) A; ( ) T; ( ) P
Nome:	( ) A; ( ) T; ( ) P
Nome:	( ) A; ( ) T; ( ) P
Nome:	( ) A; ( ) T; ( ) P
A - Agricultor(a) familiar; P – Pesquisador(a); T – Técnico(a)	

INDICADORES QUÍMICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA ACIDEZ DE SOLO?	
INDICADORES DE ACIDEZ (SOLOS NÃO CORRIGIDOS) …	INDICADORES DE NÃO ACIDEZ (SOLOS CORRIGIDOS) …

INDICADORES QUÍMICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA FERTILIDADE DE SOLO?	
INDICADORES DE BAIXA FERTILIDADE DE SOLOS …	INDICADORES DE ALTA FERTILIDADE DE SOLOS …

INDICADORES BIOLÓGICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA VIDA NO SOLO?	
INDICADORES DE MICROBIOLOGIA DE SOLO …	INDICADORES DE MACROBIOLOGIA DE SOLO …

INDICADORES BIOLÓGICOS DE SOLOS
PERGUNTA: O QUE INDICA BIOMASSA NA SUPERFÍCIE DO SOLO?
INDICADORES DE BIOMASSA NA SUPERFÍCIE DO SOLO …

INDICADORES FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA COMPACTAÇÃO DE SOLO?	
INDICADORES DE COMPACTAÇÃO DE SOLOS …	INDICADORES DE NÃO COMPACTAÇÃO DE SOLOS …

INDICADORES FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS			
PERGUNTA: O QUE INDICA DISpONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO?			
INDICADORES DE ÁGUA NO SOLO …	INDICADORES DE ESCASSEZ DE ÁGUA NO SOLO …	INDICADORES DE EXCESSO DE ÁGUA NO SOLO …	INDICADORES DE ÁGUA PROFUNDA NO SOLO …

ANEXO II

QUESTIONÁRIO MODELO (REDUZIDO) – OFICINA

PROJETO TRANSIÇÃO PRODUTIVA E SERVIÇOS AMBIENTAIS
VALIDAÇÃO CIENTÍFICA DE INDICADORES EMPÍRICOS DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES QUÍMICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA ACIDEZ DE SOLO?	
INDICADORES DE ACIDEZ (SOLOS NÃO CORRIGIDOS)	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
Presença de pau de lacre *Vismia guianensis* (X) SIM ( ) NÃO ( ) SIM SOB CONDIÇÃO ( ) OBJETO DE P&D	A presença de pau-de-lacre (ou simplesmente lacre) está associada a solos desgastados e ácidos, especialmente em áreas de pastagens, logo, o uso do indicador para testar acidez de solos empiricamente é pertinente. MASCARENHAS, R. E. B. et al. Plantas daninhas de uma pastagem cultivada de baixa produtividade no Nordeste Paraense. Planta Daninha, v. 17, n. 3, 1999. DIAS FILHO, M. B. Plantas invasoras em pastagens cultivadas na Amazônia: estratégias de manejo e controle. Belém: EMBRAPA CPATU, 1990. 103p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos. 52).
Presença de árvores nativas Lobeira – *Solanum lycocarpum* (X) SIM ( ) NÃO ( ) SIM SOB CONDIÇÃO ( ) OBJETO DE P&D	Sem informação científica para lobeira, mas como é uma espécie nativa do bioma Cerrado, com alta presença de solos ácidos, o uso do indicador para testar acidez de solos empiricamente é pertinente. SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. Ed. Brasília: Embrapa. 2004. OBS: ver Capítulo 3. Correção da acidez
Cor do solo – amarelo ( ) SIM (X) NÃO ( ) SIM SOB CONDIÇÃO ( ) OBJETO DE P&D	A cor do solo resulta da mineralogia, drenagem natural (variáveis não influenciadas pelo manejo) e teor de matéria orgânica (variável influenciada pelo manejo), portanto, a cor de solos não é um indicador adequado para atestar empiricamente acidez de solos. SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. Ed. Brasília: Embrapa. 2004. OBS: Ver Tabela 2 do Capítulo 1. Solos e suas relações com uso e o manejo.

Área nova não cultivada ( ) SIM ( ) NÃO (X) SIM SOB CONDIÇÃO ( ) OBJETO DE P&D	Em geral, solos do bioma Cerrado são naturalmente ácidos (com baixa disponibilidade de nutrientes), mas para atestar empiricamente é necessário observar outras características na área não cultivada, como presença de espécies nativas com desenvolvimento vigoroso. SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. Ed. Brasília: Embrapa. 2004. OBS: ver Capítulo 3. Correção da acidez do solo.
Presença de plantas espontâneas ( ) SIM ( ) NÃO ( ) SIM SOB CONDIÇÃO (X) OBJETO DE P&D	Sem informação científica – objeto potencial de pesquisa
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES QUÍMICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA ACIDEZ DE SOLO?	
INDICADORES DE NÃO ACIDEZ (SOLOS CORRIGIDOS)	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES QUÍMICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA FERTILIDADE DE SOLO?	
INDICADORES DE BAIXA FERTILIDADE	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES QUÍMICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA FERTILIDADE DE SOLO?	
INDICADORES DE ALTA FERTILIDADE	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES BIOLÓGICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA VIDA NO SOLO?	
INDICADORES DE MICROBIOLOGIA DE SOLO	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES BIOLÓGICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA VIDA NO SOLO?	
INDICADORES DE MACROBIOLOGIA DE SOLO	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES BIOLÓGICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA BIOMASSA NA SUPERFÍCIE DO SOLO?	
INDICADORES DE BIOMASSA NA SUPERFÍCIE DO SOLO	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES FÍSSICO-HÍDRICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA COMPACTAÇÃO DE SOLO?	
INDICADORES QUE EVITAM COMPACTAÇÃO DE SOLO	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES FÍSSICO-HÍDRICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA DISpONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO?	
INDICADORES DE ÁGUA NO SOLO	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES FÍSSICO-HÍDRICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA DISpONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO?	
INDICADORES DE ESCASSEZ DE ÁGUA NO SOLO	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES FÍSSICO-HÍDRICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA DISpONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO?	
INDICADORES DE EXCESSO DE ÁGUA NO SOLO	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

GRUPO DE TRABALHO – INDICADORES FÍSSICO-HÍDRICOS DE SOLOS	
PERGUNTA: O QUE INDICA DISpONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO?	
INDICADORES DE ÁGUA PROFUNDA NO SOLO	JUSTIFICATIVAS DA CLASSIFICAÇÃO REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
...	...

ANEXO III

ÍNDICE REMISSIVO: TEMAS DE PESQUISA E ETNOPESQUISA (PARÂMETROS)

(Identificação dos temas de pesquisa e etnopesquisa nas Tabelas 1 a 30)

Acidez – 26, 28, 40, 43, 46, 49, 67, 69

Acidez (solo não corrigido) – 26, 28, 40, 43, 46, 67

Acidez (solo corrigido) – 26, 28, 40, 43, 49, 69

Água no solo – 26, 28, 40, 43, 63, 65, 66, 67

Água no solo (água profunda no solo) – 26, 28, 40, 43, 67, 81

Água no solo (disponibilidade de água no solo) – 26, 28, 40, 43, 63, 78

Água no solo (escassez de água no solo) – 26, 28, 40, 43, 65, 79

Água no solo (excesso de água no solo) – 26, 28, 40, 43, 66, 80

Biomassa microbiana de solos – 26, 28, 40, 43, 59, 75

Compactação de solos – 26, 28, 40, 43, 60, 62, 76, 77

Compactação de solos (indicadores de compactação) – 26, 28, 40, 43, 62, 77

Compactação de solos (indicadores de não compactação) – 26, 28, 40, 43, 60, 76

Fertilidade – 26, 28, 40, 43, 50, 51, 52, 53, 70, 71

Fertilidade (alta) – 26, 28, 40, 43, 51, 52, 53, 71

Fertilidade (baixa) – 26, 28, 40, 43, 50, 70

Microbiologia de solo – 26, 28, 40, 43, 56, 73

Macrobiologia de solo – 26, 28, 40, 43, 57, 58, 74

ANEXO IV

ÍNDICE REMISSIVO: INDICADORES EMPÍRICOS DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

(Identificação dos indicadores empíricos nas Tabelas 5 a 30)

Agrião – *Nasturtium officinale* – 51, 53

Agrofloresta – 59, 60

Alagamento – 80

Área nova não cultivada – 46, 50, 67, 70

Árvores nativas – 46

Assa peixe – *Vernonia* spp – 52

Banana – *Musa* – 51, 53

Batata – *Solanum tuberosum* – 46

Batata doce – *Ipomoea batatas* – 57, 77

Besouro cascudo – *Lagria villosa* – 58

Besouro indiamin – *Lagria villosa* – 58

Braquiária – *Brachiaria* sp – 46, 51, 53, 67

Cacau – *Theobroma cacao* – 51, 53

Caju – *Anacardium occidentale* – 79

Capim – 46, 52, 53

Capim-andropogon – *Andropogon* sp – 46, 67

Capim-colonião – *Panicum maximum* – 52, 53

Capim-elefante – *Pennisetum* sp – 46, 52, 53

Capim-estrepe – *Andropogon* sp – 46, 67

Capim-navalha – *Paspalum virgatum* sp – 67

Capim rabo-de-burro – *Andropogon* sp – 46, 67

Capoeira – 67, 70, 71

Caruru – *Amaranthus* – 52

Cavação de solo – 62

Cenoura – *Daucus carota* – 62, 66

Cobertura de solo – 49, 51, 56, 59, 60, 63, 69, 71, 73, 75, 76, 78

Coqueiro – *Cocos nucifera* – 81

Cor das matas – 53

Cor de pastagens – 46, 53

Cor de plantas – 46, 53

Cor do solo – 46, 49, 50, 52, 69, 70, 71

Coró branco – *Digitonthophagus* – 58

Cupim – 46, 49, 50, 53, 58

Cupim – *Kalotermitidae* – 46, 49, 50, 53, 58

Cupim – *Rhinotermitidae* – 46, 49, 50, 53, 58

Cupim – *Termitidae* – 46, 49, 50, 53, 58

Cupinzeiro – 46, 50

Cupuaçu – *Theobroma grandiflorum* – 67

Declividade – 63, 65, 66

Dificuldade em cavar o solo – 62, 77

Dificuldade na limpeza do solo – 62, 77

Dificuldade na penetração de arame – 62

Embaúba – *Cecropia pachystachya* – 63

Escoamento superficial – 62

Esterco de galinha – 46

Feijão-guandu – *Cajanus cajan* – 63, 76

Formiga – 46, 49, 52, 57, 70, 74

Formiga – *Atta* sp – 46, 49, 74

Formiga de cisco – *Acromyrmex* – 46, 49, 57

Formiga cortadeira (saúvas) – *Atta* sp – 46, 49, 74

Formiga de embaúba – *Azteca* sp – 70

Formiga lava pé –*Solenopsis* spp – 49, 52, 57

Formiga quenquém – *Acromyrmex* sp – 46, 49, 57

Formiga tapiba – *Azteca* sp – 70

Fumo bravo – *Solanum mauritianum* – 52

Fungos de solos – 56

Guandu – *Cajanus cajan* – 63, 76

Guanxuma – *Sida rhombifolia* – 52

Jaborandiba – *Piper aduncum* – 52, 63

Lantana – *Lantana câmara* – 71

Laranja – *Citrus sinensis* – 79

Leguminosas – 60, 63, 76

Lesmas – *Stylommatophora* – 74

Limão – *Citrus limon* – 79

Limpeza do solo – 62, 77

Lobeira – *Solanum lycocarpum* – 46

Malva – *Sida codifolia* – 52

Mamão – *Carica papaya* – 80

Mandioca *Manihot esculenta* – 62, 71, 77, 80

Margaridão – *Tithonia diversifolia* – 52, 71

Mastruz – *Chenopodium ambrosioides* – 53

Matas – 53

Matéria orgânica – 49, 51, 53, 56, 58, 59, 60, 63, 69, 71, 73, 75, 78

Material triturado – 75

Microrganismos de solos – 59, 75

Milho – *Zea mays* – 59, 60, 63, 75, 76, 78

Mimosa – *Acutistipulaou gemulata* – 46

Minhoca – 52, 57, 71, 74

Minhoca – Ordem *Haplotaxida* – 52, 57

Morango – *Fragaria vesca* – 46

Murcha das plantas – 65, 79

Muruci – *Byrsonima crassifólia* – 79

Nabo *Brassica napus* – 62, 66

Palha, Palhada (milho) – 56, 73, 59, 75

Passarinhos – 53

Pastagens – 46, 51, 52, 53, 67

Pau-de-lacre – *Vismia guianensis* – 67

Penetração de arame – 62

Picão-preto – *Bidens pilosa* – 53

Plantas cultivadas – 46, 51, 53, 57, 60, 63, 65, 67, 71, 76, 79, 80

Pimenta-de-macaco – *Xilopia aromatica* – 63

Pimenta-do-reino – *Piper nigrum* – 80

Plantas espontâneas – 46

Plantas leguminosas – 60, 63, 76, 78

Porosidade do solo – 63, 78

Pupunha – *Bactris gasipaes* – 51, 53

Rabo-de-burro – *Andropogon* sp – 67

Raízes – 56

Restos de cultura – 56, 73

Serralha – *Sonchus oleraceus* – 52

Solo arenoso – 70

Solo descoberto – 62

Tatu bola – *Isopoda* – 58

Tatu-branco – *Isopoda* – 74

Tatuzinho-de-jardim – *Isopoda* – 74

Tiririca – *Cyperus* sp – 46

Torrão de solo – 52, 56, 63, 65, 66, 78, 79, 80

Vassourinha – *Sida* sp – 46

Vigor das capoeiras – 70, 71

Vigor de pastagens – 46, 51, 67

Vigor de plantas cultivadas – 46, 51, 57, 63

Vigor das matas – 53

Embrapa
Cerrados

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 14967