

EFICIÊNCIA DO USO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS SUCESSIONAIS NA RECUPERAÇÃO DO SOLO EM FLOR DE IBEZ/BARRA DO GARÇAS-MT¹

Daisy Rickli Binde²
Tassiana Reis Rodrigues dos Santos³
Marco Antonio Vieira Morais⁴
Simón (Marcos Artur de Paula Carvalho)⁵

Resumo:

O tema qualidade dos solos é de extrema relevância, principalmente para a produção de alimentos num mundo em que a população mundial encontra-se em constante crescimento. Neste sentido, sabe-se que a produção de alimentos está diretamente relacionada com a qualidade do solo, o que torna imprescindível o fomento de pesquisa acerca do tema, inclusive e essencialmente para recuperação de áreas degradadas. Com vista na recuperação de áreas degradadas, os sistemas agroflorestais (SAFs) se apresentam como uma excelente alternativa, pela aproximação aos ecossistemas naturais. Podem ser usados como estratégia metodológica de restauração de solo e alternativa de fonte de renda com baixo custo. Assim, este trabalho teve por objetivo estudar quantitativamente e qualitativamente o processo de restauração do solo pela análise da atividade microbiana, por meio bioindicadores e análise de depoimentos. Nessa linha, o presente estudo aponta que a implantação dos sistemas agroflorestais no Instituto Flor de Ibez provocou mudanças positivas no solo. E a enzima arilsulfatase foi um bom indicador de aumento do estoque de carbono, o que aponta os benefícios desta prática, em contrapartida a β -glicosidase não teve o mesmo êxito. Por fim, o estudo apresenta os SAFs como alternativa para alcançar uma agricultura sustentável.

Palavras-chave:

Solo. Sistemas Agroflorestais. Bioindicadores.

EFFICIENCY OF THE USE OF SUCCESSION AGRO-FOREST SYSTEMS IN SOIL RECOVERY IN FLOR DE IBEZ / BARRA DO GARÇAS-MT

Abstract:

The theme of soil quality is extremely relevant, especially for food production in a world where the world population is constantly growing. In this sense, it is known that food production is directly related to soil quality, which makes it essential to encourage research on the subject, including and essentially to recover degraded areas. With a view to recovering degraded areas, agroforestry systems (SAFs) are an excellent alternative, due to their proximity to natural ecosystems. They can be used as a methodological strategy for soil restoration and as an alternative source of low-cost income. Thus, this work aimed to study quantitatively and qualitatively the process of soil restoration through the analysis of

¹ Trabalho realizado com financiamento do Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação - IFMT Diretoria de Pesquisa e com resultados para o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela Chamada MCTIC/MAPA/MEC/SEAD - Casa Civil/CNPq N° 21/2016.

² Mestra em Biotecnologia. IFMT – Barra do Garças. E-mail: daisy.binde@bag.ifmt.edu.br

³ Doutora em Botânica. IFMT – Barra do Garças. E-mail: tassiana.santos@bag.ifmt.edu.br

⁴ Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas. IFMT – Barra do Garças. E-mail: marco.morais@bag.ifmt.edu.br

⁵ Especialista em Agroecologia. Flor de Ibez – Instituto de Vida Integral/Barra do Garças. E-mail: simon@flordeibez.org.

microbial activity, through bioindicators and testimonial analysis. Along these lines, the present study points out that the implantation of agroforestry systems at the Flor de Ibez Institute caused positive changes in the soil.

And the enzyme arylsulfatase was a good indicator of an increase in the carbon stock, which points out the benefits of this practice, in contrast, β -glycosidase was not as successful. Finally, the study presents SAFs as an alternative to achieve sustainable agriculture.

Keywords:

Soil. Agroforestry Systems. Bioindicators.

EFICIENCIA DEL USO DE SISTEMAS AGRO-FORESTALES DE SUCESIÓN EN RECUPERACIÓN DE SUELOS EN FLOR DE IBEZ / BARRA DO GARÇAS-MT

Resumen:

El tema de la calidad del suelo es extremadamente relevante, principalmente para la producción de alimentos en un mundo donde la población mundial está en constante crecimiento. Al respecto, se sabe que la producción de alimentos está directamente relacionada con la calidad del suelo, haciéndolo imprescindible fomentar la investigación sobre el tema, inclusive y fundamentalmente la recuperación de áreas degradadas. Con vistas a la recuperación de áreas degradadas, los sistemas agroforestales (SAF) son una excelente alternativa, por su proximidad a los ecosistemas naturales. Pueden utilizarse como estrategia metodológica para la restauración de suelos y como fuente alternativa de ingresos de bajo costo. De esa manera, este trabajo tuvo como objetivo estudiar cuantitativa y cualitativamente el proceso de restauración de suelos mediante el análisis de la actividad microbiana, mediante bioindicadores y análisis testimoniales. Así, el presente estudio señala que la implantación de sistemas agroforestales en el Instituto Flor de Ibez provocó cambios positivos en el suelo. Y la enzima arilsulfatasa fue un buen indicador de un aumento en la reserva de carbono, lo que señala los beneficios de esta práctica, en cambio, la β -glicosidasa no tuvo tanto éxito. Finalmente, el estudio presenta los SAFs como una alternativa para lograr una agricultura sostenible.

Palabras clave:

Solo. Sistemas agroforestales. Bioindicadores.

Introdução

A grande predominância nos meios rurais é a substituição da vegetação original por plantações de monocultivos em extensas áreas, trazendo consigo grandes prejuízos ao ecossistema pelo desaparecimento de diversas espécies da fauna e da flora. Isso devido à utilização de defensivos agrícolas (herbicidas, fungicidas e inseticidas), essenciais para essa modalidade de cultivo, que causam contaminação dos alimentos, do solo, do lençol freático e dos cursos de água. O desmatamento e o preparo inadequado do solo também são prejudiciais

por desencadear processos erosivos e a compactação dos horizontes superficiais, além de promover a diminuição da matéria orgânica e da microbiota do solo (SANTOS, 2013).

Portanto a sociedade deve viabilizar projetos que contribuam para o desenvolvimento sustentável, isso é, que sejam economicamente viáveis, socialmente justos e beneficiem o meio ambiente. Nesse contexto, o tema qualidade dos solos merece atenção especial, principalmente devido à necessidade de produção de alimentos, considerando que a população mundial se encontra em constante crescimento. Sabe-se que as produções agrícolas estão diretamente relacionadas com a qualidade do solo, o que torna imprescindível o fomento de pesquisa acerca do tema, inclusive para recuperação de áreas degradadas. Assim, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) surgem como um recurso alternativo, pois apresentam inegável aptidão de sustentabilidade, podendo ser vistos como estratégia metodológica de recuperação do solo, com a finalidade de mitigar os custos através da equiparação a curto/médio prazo tanto para produtos agrícolas e florestais, como para o estabelecimento de agroecossistemas biodiversificados (MICCOLIS, et al., 2016).

SAFs são sistemas produtivos onde são intercaladas espécies perenes (arbustos, árvores, palmeiras) com cultivares agrícola e/ou forrageiras com alta diversidade de espécies e interações entre elas. Podendo ser classificados conforme os aspectos ecológicos, econômicos, funcionais e ainda de acordo com o arranjo dos componentes e a sua estrutura (SENAR, 2017). O emprego de SAFs são alternativas excelentes para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, pois elevam a disponibilidade de nutrientes e propiciam um equilíbrio biológico que promove o controle de pragas e doenças (XAVIER; CARDOSO; MENDONÇA, 2012).

Existem muitas variações de SAFs, desde os mais simplificados até os mais complexos, com alta biodiversidade. Existem os sistemas silvipastoris, voltados para criação de animais, no entanto, para restauração de Áreas de Preservação Permanente (APP) não são recomendados devido à compactação do solo, retirada de plantas na alimentação dos mesmos, descobertura e revolvimento do solo. Os sistemas que combinam culturas agrícolas anuais e espécies florestais são chamados de sistemas agrossilviculturais. Existem também os quintais agroflorestais, esses são sistemas de uso doméstico, próximos à residência, que combinam animais, árvores, plantas medicinais e outras para consumo. E as agroflorestas sucessionais, que são sistemas altamente biodiversos (MICCOLIS, et al., 2016).

Os sistemas agroflorestais sucessionais (SAF-SC) compõem um método caracterizado pela sucessão das espécies, no qual são consorciadas espécies de diferentes ciclos e extratos e, num processo dinâmico e contínuo, essas plantas sucedem uma à outra. “Os solos destruídos, degradados ou lixiviados são colonizados por plantas pioneiras. Estas são sucedidas por espécies da floresta secundária que, por sua vez, são substituídas pelas espécies da floresta primária” (GOTSCH, 1996, p. 3).

Quanto mais próximo o sistema for dos ecossistemas naturais, mais efetiva a ciclagem de nutrientes, portanto será mais sustentável. Devido à grande quantidade de espécies geradoras de biomassa e alta disponibilidade de nutrientes, os SAFs são importantes na recuperação dos solos. Isso é, a alta cobertura do solo nesses sistemas e a ação das raízes proporcionam a restauração da microfauna, essencial para a disponibilização de nutrientes para a planta (MICCOLIS, et al., 2016). Segundo Primavesi (2002, p. 127), “a adição de matéria orgânica no solo, quando melhora a sua bioestrutura é uma medida de melhorar a saúde vegetal, não somente porque melhora a estrutura grumosa mas por contribuir, também, à diversificação da microvida e fauna terrícola”. E sobre a relação entre a disponibilidade de matéria orgânica, consórcio de espécies, aumento da microbiota, a saúde dos sistemas e a melhora do solo, a autora acrescenta:

Manejam-se os organismos pelo uso de matéria orgânica, adicionando-se-lhe os adubo e o calcário, isto é, aos microrganismos; pela rotação de culturas ou, no mínimo, pela variação de plantas criadas num campo, como ocorre em culturas consorciadas, intercaladas, etc., e pela proteção do solo da insolação direta, com exceção das algas. Verifica-se facilmente o resultado da atividade dos microrganismos pela nodulação das raízes, pelo crescimento rápido e sadio das plantas e pela agregação das partículas do solo, formando uma estrutura grumosa. (PRIMAVESI, 2002, p. 193).

As variedades de espécies de plantas também melhoram o solo, porque suas raízes o colonizam uniformemente enriquecendo-o com substâncias orgânicas diferentes. Esse ambiente diverso proporciona uma microfauna também diversificada. Em oposição, “a monocultura é um ecossistema muito unilateral, portanto decai a bioestrutura do solo, formam-se “pans”, as colheitas baixam, erosão e enchentes aparecem e o último recurso é o abandono da terra” (PRIMAVESI, 2002, p. 411)

Portanto, a sustentabilidade nos sistemas terrestres está relacionada à qualidade do solo que é definida como a eficiência em sustentar a atividade biológica dentro do ecossistema, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais.

Tal parâmetro relaciona-se com os indicadores de qualidade, bióticos e abióticos, que devem ser medidos por técnicas simples e econômicas (DORAN; ZEISS, 2000). Os microrganismos constituem o principal componente de fertilidade dos solos por serem responsáveis pela degradação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes. Por apresentarem rapidamente respostas às mudanças no solo constitui-se um excelente parâmetro para estudar a qualidade dos solos, considerando que alterações nos teores de matéria orgânica levam anos para serem detectadas (SANTOS; MAIA, 2013).

A atividade enzimática é preconizada como um dos principais indicadores da atividade biológica e da qualidade do solo, haja vista que é capaz de indicar a intensidade de alguns processos bioquímicos e estar estreitamente ligada à atividade biológica e apresentar respostas rápidas às mudanças de manejo do solo (CHAER, TÓTOLA, 2007; MENDES et al., 2009). A atividade enzimática no solo pode contribuir com informações de mudanças qualitativas na matéria orgânica do solo, de forma que o aumento da atividade das enzimas pode estar ligado à estabilização do carbono no solo (BENDING, TURNER, JONES, 2002). Para Mendes et al. (2018) determinadas enzimas correlatas a ciclos de nutrientes específicos, como β -glucosidase no ciclo do carbono e arilsulfatase no ciclo do enxofre, auxiliam na ciclagem de nutriente e podem indicar como a diversidade funcional da comunidade microbiana é impactada. E na região do Cerrado, essas enzimas têm se destacado entre os parâmetros avaliados pela sua sensibilidade, coerência, precisão, simplicidade e custo. A médio prazo, essas análises são as que mais se habilitam a serem utilizadas em larga escala pelos laboratórios de análises de solo (SBM, 2017).

A β -glucosidase atua diretamente no ciclo de carbono, participando na etapa final do processo de decomposição da celulose, sendo responsável pela hidrólise dos resíduos de celobiose dando origem ao açúcar simples β -D-glucose. A atividade dessa enzima pode apresentar relação com os teores de carbono prontamente mineralizável (TABATABAI, 1994; MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003). A enzima arilsulfatase participa do ciclo do enxofre, ao hidrolisar ligações do tipo éster de sulfato ligado ao radical aril, o que libera íons sulfato na solução do solo. Tal enzima tem sido apresentada como indicadora sensível da degradação dos solos por mostrar, de forma prematura, alterações no conteúdo de matéria orgânica do solo, pois essa se relaciona positivamente com teor de matéria orgânica (BALIGAR, WRIGHT, SMEDLEY, M.D, 1988; TABATABAI, 1994).

Sendo, portanto, o solo um recurso natural, é importante que a sua qualidade seja avaliada por meio de indicadores que possuem a capacidade de detectar as variações na sua forma de funcionamento dentro dos limites dos ecossistemas (DORAN; ZEISS, 2000). No entanto, o estudo da qualidade do solo não é tarefa fácil, pois é necessária a análise de um grande número de características levando a muitos dados e dificuldade nas interpretações. Nessa tarefa os bioindicadores vêm apresentando bons resultados nos estudos de avaliação dos solos (CHAER, 2001).

Assim, esta pesquisa tem por objetivo estudar quantitativamente e qualitativamente o processo de restauração do solo pelo estudo da atividade microbiana, por meio de análise da atividade enzimática – Arilsulfatase e β -glucosidase e análise de deposimento. Tal estudo pretende colaborar na consolidação dos SAF-SC como método de recuperação de áreas degradadas, conforme afirma Götsch (1996) ao descrever esses sistemas como capazes de alcançar a sustentabilidade e permitirem a recuperação de áreas abandonadas de cinco a oito anos. Dessa forma, essas áreas podem ser transformadas em áreas produtivas e altamente biodiversas. Para tanto, foi feita a comparação da restauração do solo entre uma área de regeneração espontânea e SAFs-SC. Por conseguinte, esse estudo também visa estimular o uso de práticas que conciliem a produção de alimentos e de bens, com práticas ambientais, como recuperação de áreas degradadas e a manutenção de unidades de conservação (Áreas de Preservação Permanente – APP e Reserva Legal – RL), principalmente para a agricultura familiar.

Material e Métodos

Localização e caracterização do local de estudo:

O trabalho foi realizado no instituto Flor de Ibez – Instituto de Vida Integral⁶, localizada na MT-100, Km 14, sentido Araguaiana, no município de Barra do Garças, estado de Mato Grosso – Brasil, cuja posição geográfica é 15° 51' 55'' S e 52° 07' 34'' W. O clima dessa região é tropical, classificado segundo Köppen como Aw, onde os invernos são mais secos, os verões chuvosos e 25.6 °C é a temperatura média. A classe de solo predominante é

⁶ Flor de Ibez - Instituto de Vida Integral é uma associação civil sem fins lucrativos, situada em Barra do Garças-MT. Fundada em fevereiro de 2017, atua no desenvolvimento de pesquisa em sistemas agroflorestais em áreas degradadas, bem como na realização de oficinas e cursos em bioconstrução e outras práticas permaculturais. Disponível em:< <https://flordeibez.org/flor/>>. Acesso em: 24 ago. 2020.

latossolo vermelho e apresenta alto grau de compactação devido ao histórico anterior de uso da área – pasto para bovinos e equinos por, no mínimo, 20 anos.

Tratamentos:

Foram avaliadas três parcelas de 75 m², aproximadamente, sendo a primeira parcela no SAF-SC do tipo horta – tratamento 1 (T1), a segunda no SAF-SC do tipo roça – tratamento 2 (T2) e a terceira corresponde a uma área de regeneração espontânea – controle. O T1 e o T2 foram compostos por quatro canteiros de 13m de comprimento por 0,8m de largura, e espaço de 0,5m entre os canteiros, e o controle foi uma área adjacente e na mesma linha que T1 e T2, sem nenhum tipo de cultivo – somente braquiária.

Os tratamentos, T1 e T2, foram baseados no modelo desenvolvido por Ernst Götsch (1996) e iniciaram em novembro de 2017. O preparo da área e do solo para os T1 e T2, foi feito inicialmente com a roça do capim; sua retirada com rastelo, gradeamento e remoção das raízes mais grossas da braquiária. Posteriormente foi feita a calagem (500 g/m²), adubação com esterco bovino curtido (10litros/m²) e, com a enxada rotativa (tratorito), foi feito o revolvimento. Após o preparo do solo foram feitos os canteiros e os berços onde as árvores foram plantadas – esses foram preparados com fosfato natural e esterco bovino. Por fim, toda a área recebeu uma fina camada de esterco e fosfato natural e, para finalização, uma cobertura generosa de palha de braquiária, roçada inicialmente. Entre os canteiros foi feito um caminho de toras para minimizar a compactação e colaborar no enriquecimento do solo.

No primeiro canteiro do T1 foi cultivado eucalipto a cada metro, banana a cada três metros e, alternadas com as bananeiras, foram cultivadas mudas de frutíferas – carambola e cítricas. Ainda foram semeadas espécies arbóreas no pé do eucalipto: urucum, saboneteira, chichá, moringa, jatobá, aguaiá, ata, tamarindo, olho de cabra e, para aproveitar o espaço, foram cultivadas mostarda e rúcula. Nos três canteiros seguintes foram cultivadas espécies características de horta, como: mostarda, rúcula, pimentão, chicória, cenoura, quiabo e espinafre. Na sequência, no primeiro canteiro do T2 foram repetidas as espécies do primeiro canteiro do T1, porém as plantas de ciclo curto foram mostarda e berinjela e os próximos três canteiros foram de roça: diversas variedades de abóboras, feijão azuki, milho e mandioca.

Quando a planta de ciclo mais longo do consórcio completa o seu ciclo, renova-se todo o canteiro. Então, no T1 foi feito o replantio nos três canteiros que receberam plantas para um consórcio de 180 dias (horta); no T2 os consórcio eram de 360 dias (um ano) – sendo a mandioca a planta de ciclo mais longo, e nos canteiros de espécies arbóreas não houve

alterações, apenas roçagem. Dessa forma o T1 recebeu replantio após sete meses: o primeiro canteiro de horta foi substituído por mandioca, milho, feijão batata-doce; o segundo por banana (a cada 4 metros), intercalada com açaí (a cada 4 metros) e amora (a cada 2 metros); e o terceiro canteiro por mandioca, milho, feijão e abóbora. Os consórcios de plantas foram construídos observando os ciclos de maturação de cada planta; o estrato que ocupa, ou seja, a quantidade de luz que necessita; e o interesse de consumo ou comercialização. No entanto nos dois tratamentos a prioridade foi o plantio de frutíferas.

A palha de cobertura foi renovada a cada dois ou três meses e na renovação dos canteiros de 180 dias foi feita nova adubação: cinza, galhas, folhas trituradas e, nas mudas, foi adicionada urina de vaca diluída em água na proporção de 1:100. Após seis meses as podas das árvores cobrem apenas o próprio canteiro. No entanto, com aproximadamente três anos é esperado que não seja preciso trazer material de fora. Quando não se tem capim disponível em área próxima é preciso plantar o capim como parte do SAFs, para a produção de palhada.

A irrigação foi feita por microaspersão, com mangueira marca Santeno tipo I e sistema de filtragem. Porém, durante o período das chuvas não foi feita a irrigação, somente em épocas de estiagem prolongada e durante a seca os canteiros foram irrigados uma vez por dia, ao final da tarde.

Coleta de solos:

As coletas de amostras de solo foram realizadas após 12 meses de implantação, em dezembro de 2018 e a outra, 18 meses após a implantação, em junho de 2019. As amostras de solo foram coletadas nos três tratamentos, na profundidade de 0 a 10 cm em triplicata, de modo aleatório.

Análise enzimática:

Para análise da β -glicosidase o substrato utilizado na reação desta enzima foi o p-nitrofenil- β -D-glucopiranoside (PNG), 0,05 mol L⁻¹ e uma solução tampão estoque universal modificada (MUB estoque), preparada para uma solução MUB pH 6 a partir de 200 mL de MUB estoque, para 1000 mL de solução, corrigindo o pH com HCl 0,1 mol L⁻¹. As amostras de 0,5 g solo foram colocadas em tubos de ensaio separadamente, utilizando três repetições para cada tratamento, três tubos sem solo (brancos) também foram adicionados. Em seguida, foram adicionados 0,125 mL de tolueno, 2 mL de MUB pH 6 nas amostras com solo e 2,5 mL nas amostras sem solo, e 0,5 mL de PNG (0,05 M) em todos os frascos.

Os tubos de ensaio foram fechados, agitados em agitador tipo 16 Vórtex e incubados a 37°C em banho-maria por uma hora. Após incubação, a reação enzimática foi paralisada com adição de 0,5 mL de CaCl₂, 2 mL de solução extratora e Tris-Hydroxymetyl-Amino-Metano (THAM 0,1 M pH 12), seguidos por agitação em Vórtex e filtragem em papel filtro Whatman n° 02, com quantificação do filtrado lido imediatamente em espectrofotômetro calibrado e ajustado para 400 nm de absorbância. O teor de p-nitrofenol produzido foi calculado por referência a uma curva de calibração, traçada a partir dos resultados obtidos com os padrões que continham 0, 2, 4, 8, 10, 15, 20, 40, 60, 80 e 100 µg de p-nitrofenol. As concentrações de p-nitrofenol obtidas foram utilizadas para quantificação da β-glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase, calculadas de acordo com a equação de Tabatabai e Bremner (1969) e Eivazi e Tabatabai (1977).

A metodologia descrita para a análise da arilsulfatase consistiu na extração e determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberada quando a amostra de solo é incubada com solução tamponada (pH 5,8) contendo o substrato sintético p-nitrofenil sulfato. E foi determinada com modificação do método descrito por Tabatabai (1994). O substrato utilizado na reação desta enzima foi o p-nitrofenil sulfato de potássio (PNS) 0,05 M em solução tampão de acetato (0,5 M e pH 5,8). A solução tampão de acetato foi preparada com 68 g de acetato de sódio trihidratado adicionado em aproximadamente 700 ml de água destilada, seguido por adição de 1,70 mL de ácido acético glacial (99%), com pH ajustado para 5,8 (corrigindo o pH com HCl 0,1 mol L⁻¹) e o volume completado para 1,0 L com água destilada. Amostras de 0,5 g de solo foram pesadas em tubos de ensaio separadamente, utilizando três repetições para cada tratamento, e três tubos testemunhas (brancos) também foram adicionados. Aos tubos com solo foram adicionados 2 mL de solução tampão de acetato (pH 5,8) e 2,5 mL nos tubos sem solo, e 0,5 mL de PNS (0,05 M) em todos os frascos. Os tubos de ensaio foram fechados, agitados em agitador tipo Vórtex e incubados a 37°C em banho-maria por uma hora. Após incubação, a reação foi paralisada com adição de 0,5 ml de CaCl₂ 0,5 M e 2 ml de NaOH 0,5M, seguidos por agitação em agitador do tipo Vórtex e centrifugação dos tubos, a 2500 rpm de velocidade por 5 minutos, com posterior retirada do sobrenadante para a quantificação imediata em espectrofotômetro, calibrado e ajustado para 410 nm de absorbância. As amostras que ainda continham particulados em suspensão, o sobrenadante foi filtrado em papel filtro Whatman n° 02. O teor de p-nitrofenol produzido foi calculado por referência a uma curva de calibração de p-nitrofenol, seguindo mesmo procedimento descrito na β-glicosidase.

Os dados foram tabulados e analisados em planilha eletrônica. Realizou-se a análise descritiva dos dados obtidos, calculando-se a concentração média dos indicadores e seus respectivos desvios-padrão.

Resultado e Discussão

Inicialmente é importante apresentar observações qualitativas observadas pelo Instituto Flor de Ibez, que relata ter visualizado uma melhora no solo após a implantação do SAF-SC. Foi relatado, por observação visual, que houve aparecimento de macrobiota, escurecimento da cor e melhor agregação do solo. Nesse sentido é relevante destacar o seguinte relato dos responsáveis pelo instituto:

Não vimos nada que respondesse tão rapidamente como o SAF sucessional biodiverso. Porém, um SAF é mais que um método para recuperação de solos degradados. É um processo de cultivo, uma agricultura, em que se trabalha junto com a natureza - e não contra ela. Nessa agricultura, denominada sintrópica, ajudamos a construir o solo enquanto cultivamos, e ajudamos também a restabelecer processos ecológicos e o ciclo da água. Pudemos observar, dentre os procedimentos realizados no manejo das parcelas agroflorestais, a especial importância da manutenção da cobertura do solo, pelo acréscimo de matéria orgânica oriunda da poda das espécies arbóreas da própria parcela e de capim e galhos, cortados de áreas vizinhas, bem como a importância da poda em si como processo renovador das plantas e indutor de crescimento, sendo essas práticas fundamentais para a reestruturação do solo local. Essa reestruturação se torna visível nas diferenças de textura, cor, aroma, presença de mesofauna, hifas de fungos e multiplicidade de raízes nas áreas tratadas, comparadas com áreas vizinhas sem tratamento. Também se observa o surgimento espontâneo de arbóreas nativas, indicadoras de solo com melhor fertilidade, e no vigor das plantas locais. (Entrevistado).

A presença de macrobiota indica uma melhora na fertilidade do solo, por estar diretamente ligado à ciclagem de nutrientes. Esses estão diretamente relacionados ao processo de transformação física do solo e à regulação da microbiota. Tal relação ocorre devido à capacidade desses organismos de cavar e criar estruturas para se movimentarem no solo e também pela fragmentação de detritos vegetais que são incorporados no solo e disponibilizados aos microrganismos (CORREIA, 2002).

Pela a análise enzimática realizada neste trabalho, é possível apresentar uma tendência de melhora quantitativa dos atributos do solo apresentados na Tabela 1. Esses bioindicadores estão associados à atividade microbiana e a arilsulfatase revela-se sensível às

mudanças causadas pelos tratamentos. Esses atributos bioquímicos geralmente são utilizados como ferramentas sensíveis ao manejo do solo, o que não é frequentemente observado em outros parâmetros, como os químicos e os físicos (ACOSTA-MARTÍNEZ et al., 2007).

Tabela 1: Resultado da análise enzimática Arilsulfatase e nos diferentes tratamentos em dois tempos.

Duração (Meses)	Uso do Solo	Atividade Enzimática ($\bar{x} \pm \sigma$)	
		Arilsulfatase	β -Glicosidade
----- $\mu\text{g}[p\text{-nitrofenol}]. \text{g}^{-1}[\text{solo}].\text{h}^{-1}$ -----			
12	T1	399,1 \pm 39,1	982,1 \pm 74,1
	T2	265,1 \pm 73,1	821,1 \pm 61,1
	Controle	80,1 \pm 10,1	735,1 \pm 89,1
18	T1	583,1 \pm 50,1	663,1 \pm 164,1
	T2	827,1 \pm 30,1	645,1 \pm 84,1
	Controle	256,1 \pm 51,1	600,1 \pm 71,1

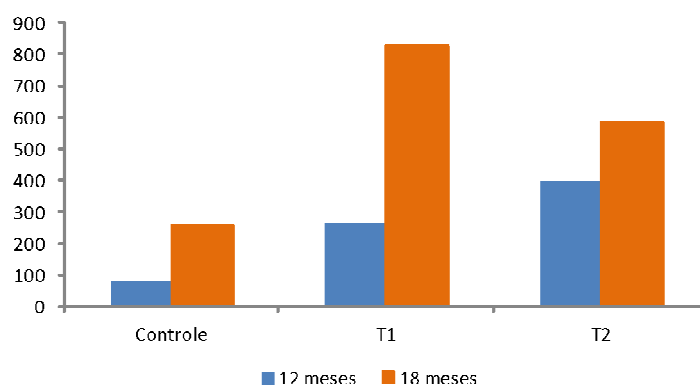
Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Quanto à atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, estas se diferenciam entre si nos dois tratamentos e no controle. A enzima β -glicosidase, um ano após tratamento, apresentou maior atividade em relação à arilsulfatase. No entanto depois de 18 meses não houve diferença semelhante, isso porque a atividade arilsulfatase nesse período apresentou um salto na atividade enquanto a β -glicosidase diminuiu. Considerando que: a atividade da β -glicosidase está relacionada à ciclagem do carbono na etapa final do processo de decomposição da celulose e se relaciona com os teores de carbono prontamente mineralizável (BALIGAR; WRIGHT; SMEDLEY, 1988; TABATABAI, 1994) e que o aumento da atividade da arilsulfatase no solo está relacionado com o crescente teor de matéria orgânica, por essa constituir a principal reserva de ésteres de sulfato – substratos da enzima (NOGUEIRA; MELO, 2003), a observação apontada sugere que no primeiro ciclo (12 meses) houve maior disponibilidade de material rico em celulose parcialmente decomposto e após 18 meses o solo possui reserva de ésteres de sulfato disponíveis.

O Gráfico 1 mostra a diferença da atividade da Arilsulfatase entre o controle – área de regeneração espontânea e os tratamentos (T1 e T2), dessa forma é possível perceber que os SAFs apresentam um ganho qualitativo na saúde solo. No primeiro ciclo (12 meses) também é possível observar que houve diferença entre o T1 e T2, sugerindo uma possível melhora no solo pelo uso de produtos da roça: abóboras, feijão azuki, milho e mandioca.

Nesse sentido, vale ressaltar o incremento da atividade enzimática no T1 no segundo ciclo (18 meses) e o diferencial verificado foi a realização de replantio após sete meses de algumas espécies: mandioca, milho, feijão, batata-doce, abóbora e espécies frutíferas. Essas observações podem estar relacionadas à presença dos adubos verdes que favorecem a atividade dos organismos no solo. Isso ocorre porque as leguminosas possuem capacidade de fixarem nitrogênio gasoso associadas em simbiose com as bactérias dos gêneros *Rhizobium* sp. e *Bradyrhizobium* sp., dessa forma essas plantas podem substituir os adubos minerais no fornecimento de nitrogênio (SMYTH; CRAVO; MELGAR, 1991). Além da fixação do nitrogênio, as leguminosas são bem ramificadas e profundas, se adaptam bem em diversos climas, possuem ciclo vegetativo perene e estão relacionadas com a retenção de água no solo (KIEHL, 1985).

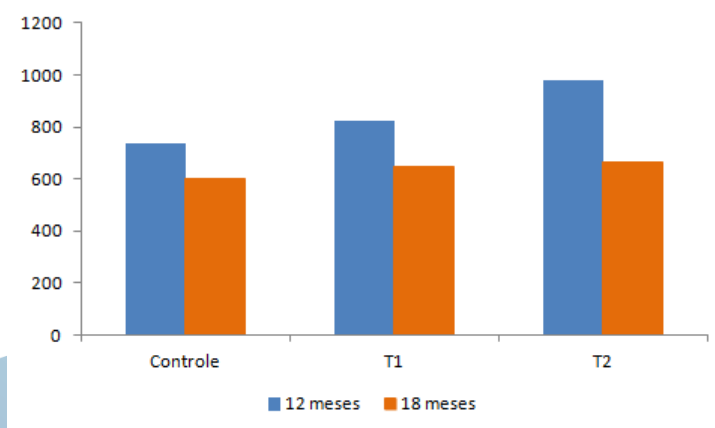
Gráfico 1: Atividade da enzima Arilsulfatase ($\mu\text{g}[p\text{-nitrofenol}]. \text{g}^{-1}[\text{solo}].\text{h}^{-1}$) em diferentes tratamentos e períodos, na camada de 0-10 cm



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Em relação aos valores da atividade da β -glicosidase houve um leve acréscimo no primeiro ciclo (12 meses) entre os tratamentos, onde a menor atividade foi na área de regeneração espontânea, depois T1 seguido de T2 (Gráfico 2). No segundo ciclo (18 meses) não houve diferença entre os tratamentos.

Gráfico 2: Atividade da enzima β -glicosidase ($\mu\text{g}[\text{p-nitrofenol}]. \text{g}^{-1}[\text{solo}].\text{h}^{-1}$) em diferentes tratamentos e períodos, na camada de 0-10 cm.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Considerações finais

Os sistemas agroflorestais desenvolvidos na atualidade, de maneira geral, melhoram os atributos físicos e químicos do solo; esses estão relacionados com sua qualidade e tais resultados têm sido apresentados como superiores ao processo natural de regeneração. Nessa linha, o presente estudo aponta que a implantação dos sistemas agroflorestais no Instituto Flor de Ibez provocou mudanças positivas no solo. E a atividade da arilsulfatase foi um bom indicador para a mostrar o aumento do estoque de carbono, o que aponta os benefícios desta prática. Em contrapartida a β -glicosidase não teve o mesmo êxito. No entanto, as atividades das duas enzimas mostraram estar relacionadas.

O estudo realizado com enzimas, apesar da vantagem de sensibilidade, ainda não possui muito aporte para comparações, como gráficos e tabelas. Por se tratar de um estudo onde há diversos tipos de interações, biológicas, físicas e químicas, é difícil fazer comparações com outras publicações, devido às diferenças de posicionamento geográfico, fatores climáticos e composições químicas do solo. Porém é importante ressaltar que os valores aqui levantados são expressivos quando comparados aos dados obtidos nos solos da agricultura convencional. Nessa perspectiva, justifica-se a realização de estudos similares, acrescentando parcelas de plantio convencional próximos à pesquisa de SAFs.

É certo que a agricultura convencional, de monocultura, tem sido dentre as atividades humanas a de mais impacto negativo ao solo. No entanto, inclusive por questões culturais, esse tipo de manejo está entre os mais utilizados.

Apresenta níveis elevados de produção devido ao custo de alta tecnologia, porém muitas vezes a única alternativa é o abandono da terra, pois todos os recursos são esgotados e a consequência é um solo compacto, sem vida e improdutivo. Nesse cenário os SAFs são alternativas rentáveis, capazes de propiciar alta produtividade e possibilitar a recuperação dos solos. Somado à alta produtividade de alimentos, de solo e de madeira, a produção é orgânica, pois não se utiliza nenhum tipo de defensivo. Inclusive, a produção orgânica nos SAFs tem a vantagem de não precisar dos insumos tradicionais desse tipo de produção, que encarecem e impossibilitam os pequenos produtores de adentrarem nesse mercado. Ainda permite, devido ao ambiente favorável e diverso, a polinização e a criação de abelhas, ampliando ainda mais a capacidade de renda para o agricultor. Essas potencialidades são possíveis devido à biodiversidade gerada pela conservação dos recursos naturais, sem a necessidade de insumos externos, que são consequência da manutenção dos ciclos biogeoquímicos que permitem uma agricultura sustentável.

É importantíssimo consolidar unidades de referência de SAFs que possibilitem o acesso dos agricultores e que esses percebam e vivam a transformação. O processo de mudança cultural não é um caminho fácil, porém tangível e necessário. É possível perceber que os próprios agricultores sentem que deve haver uma mudança, devido ao esgotamento de recursos naturais, no entanto, nem sempre é conhecido como gerar tais transformações. Assim, a aproximação entre os diversos atores sociais é necessária e fazer do espaço educacional uma força motriz para mudanças reais.

Referências:

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; CRUZ, L.; SOTOMAYOR-RAMÍREZ, D.; PÉREZ-ALEGRÍA, L. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. **Applied Soil Ecology**, v. 35, p.35-45, 2007.

BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. J.; SMEDLEY, M. D. Enzyme activities in hill land soils of the Appalachian region. **Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 19, p. 367-384, 1988.

BENDING, G. D.; TURNER, M. K.; JONES, J. E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and functional diversity of soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 1073-1082, 2002.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.

CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Dissertação de Mestrado em Microbiologia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 2001.

CORREIA, M. E. F. **Relações entre a diversidade da fauna do solo e o processo de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas**. Seropédica: EMBRAPA, 2002.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**. Kidlington, v. 15, p. 3 – 11. 2000.

EIVAZI F, TABATABAI MA. Phosphatases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.9, p.167–177, 1977.

GOTSCH, E. **O renascer da agricultura**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1996.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Ceres, 1985.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 425-433, 2003.

MENDES, I. de C.; CUNHA, M. H. da; REIS JUNIOR, F. B. dos; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009.

MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Brasília: Embrapa cerrado, 2018.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCOVERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A.V. B. **Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção**. Opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016.

NOGUEIRA, M. A., MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, p. 655-663, 2003.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. São Paulo: Nobel, 2002.

SANTOS, V. M. dos; MAIA, C. L. Bioindicadores de qualidade do Solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 10, p.195-223, 2013.

SBM - Sociedade Brasileira de Microbiologia. **Análises de atividade enzimática do solo: elas ajudam a promover um uso mais sustentável do terreno**. Disponível em:

<http://sbmicrobiologia.org.br/analises-de-atividade-enzimatica-do-solo/>. Acesso em: 28 ago. 2020.

SENAR. **Sistemas Agroflorestais (SAFs):** conceitos e práticas para implantação no bioma amazônico. Brasília: SENAR, 2017.

SMYTH, T. J.; CRAVO, M. S.; MELGAR, R. J. Nitrogen supplied to corn by legumes in a Central Amazon Oxisol. **Tropical Agriculture**, London, v. 68, p. 366-372, 1991.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. *In*: R. W. Weaver et al. (ed.). *Methods of soil analysis. Parte 2. Microbiological and biochemical properties*. Madison: p. 778–833, 1994.

TABATABAI, M.A; BREMNER JM. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**. v.01, p.301-307, 1969.

XAVIER, F. R.; CARDOSO, I. M.; MENDONÇA, E. S. Fertilidade do solo em sistemas agroflorestais. *In*: **FERTBIO**, Maceió, 2012.

