



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**MONITORAMENTO DO EFEITO RESIDUAL DA
DEGRADAÇÃO E BIOINDICADORES DA RECUPERAÇÃO DO
SOLO**

ANA PAULA DE SOUZA BARBOSA E SOUZA

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
AGOSTO - 2010

**MONITORAMENTO DO EFEITO RESIDUAL DA
DEGRADAÇÃO E BIOINDICADORES DA RECUPERAÇÃO DO
SOLO**

ANA PAULA DE SOUZA BARBOSA E SOUZA

Engenheira Agrônoma
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC, 2007.

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Ciência do Solo.

ORIENTADOR: Dr. Aldo Vilar Trindade
CO-ORIENTADOR: Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

S729

Souza, Ana Paula de Souza Barbosa e.

Monitoramento do efeito residual da degradação e bioindicadores da recuperação do solo. / Ana Paula de Souza Barbosa e Souza. – Cruz das Almas-Ba: UFRB, 2010.

123 f.; il.

Orientador: Aldo Vilar Trindade.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. Área de Concentração: Ciência do Solo.

1. Solos. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias e Tecnológicas. II. Título.

CDD: 631.4

COMISSÃO EXAMINADORA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECONCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIENCIAS AGRARIAS, AMBIENTAIS E BIOLOGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRARIAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO
DA ALUNA ANA PAULA DE SOUZA BARBOSA E SOUZA**

Prof. Dr. Aldo Vilar Trindade
Embrapa - Mandioca e Fruticultura Tropical
(Orientador)

Prof. Dr. Luciano Silva Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

D.Sc Quintino Reis de Araújo
Universidade Estadual de Santa Cruz

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Ciências Agrárias em

Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em.....

.....

.

DEDICO

À minha avó América Batista de Souza (*in memoriam*), por toda motivação aos estudos, ao trabalho e, principalmente, à vida.

“Se tens fé, cumpre saberes, que tudo é possível aquele que a tem...”

A Deus e aos meus pais, por seu amor e dedicação incondicional, durante toda minha vida, por seus esforços e lutas em prol de minha educação, e às minhas irmãs, por todo amor e compreensão.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ainda que a produção escrita de uma dissertação seja uma trajetória individual, muitos são aqueles que ao longo contribuem de maneiras diversas e que não podem deixar de serem reconhecidos.

Inicialmente a Deus, por ter me dado todos os dias sabedoria para prosseguir com discernimento, clareza, força, paciência e determinação enfim, por todas as graças alcançadas durante toda minha vida.

Ao Dr. Aldo Vilar Trindade, pela orientação e confiança.

Ao Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos, pela orientação, confiança, entusiasmo e, sobretudo, amizade.

Aos Pesquisadores Luciano Souza e Laércio Duarte, pelas valiosas sugestões e críticas construtivas.

Aos demais professores da área de solos, pela experiência e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários dos Laboratórios da Embrapa CNPMF – Luciano Pinheiro, Náñez Bitencurtt e Roque Francisco – pela paciência e ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários: Celeste, Paulo Laércio, Roque, Bizunga, Duda, Crispim, Tauhan e Gilberto, pela colaboração e apoio.

Aos colegas dos laboratórios: Bruno, Emília, Simara, Cláudio, Celma e Kaly, pela harmoniosa e alegre convivência e amizade.

A todos os colegas de mestrado, em especial, Cácio Boechat e Marcela Bomfim, pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos que, mesmo distantes, se fizeram presentes e compreenderam as minhas ausências.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Coordenação do Mestrado em Ciências Agrárias, pela oportunidade de realização e conclusão do curso.

À Embrapa, pela colaboração e permissão à realização das atividades do projeto.

A Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 1	
BIOINDICADORES DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS.....	41
CAPÍTULO 2	
ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO SUBMETIDO A PROCESSO DE RECUPERAÇÃO	66
ANEXOS	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama dos mecanismos de degradação	13
Figura 2: Disposição dos tabuleiros costeiros na Região Nordeste”	19
Figura 3: Área Experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura	49
Figura 4: Croqui da área amostrada	50
Figura 5: Plantio das Sementes do Consórcio	51
Figura 6: Análise dos componentes principais para os atributos microbiológicos	57
Figura 7: Dendograma de similaridade dos tratamentos.	58
Figura 8: Área Experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura	75
Figura 9 Croqui da área amostrada	76
Figura 10: Plantio das sementes do consórcio	77
Figura 11: A e B (área com nível de distúrbio 8); C (nível de distúrbio 1) e D (controle), plantas com 45 d.	85
Figura 12: Número de componentes principais e sua contribuição à variância explicada	89
Figura 13: Disposição das variáveis dentro dos componentes principais	90

LISTA DE QUADROS

Quadro1: Índices de Qualidade do Solo para os níveis de distúrbio, manejos e influência dos ciclos de plantio	91
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aplicação dos ciclos de aração e gradagem (A/G) para a formação do GRIND	50
Tabela 2: Características microbiológicas do solo em resposta a tratamentos de intensidade de aração e gradagem	56
Tabela 3: Valores dos autovetores obtidos na análise de componentes principais para os atributos avaliados	57
Tabela 4: Aplicação dos ciclos de aração e gradagem (A/G) para a formação do GRIND.	78
Tabela 5: Componentes de indicadores químico, físicos e biológicos em resposta a níveis crescentes de distúrbio do solo	82

Tabela 6: Comportamento de características físicas, químicas e microbiológicas como indicador do efeito residual da aplicação de um gradiente de aração e gradagem em um solo, submetido a tratamentos de recuperação.....87

MONITORAMENTO DO EFEITO RESIDUAL DA DEGRADAÇÃO E BIOINDICADORES DA RECUPERAÇÃO DO SOLO

Autora: Ana Paula de Souza Barbosa e Souza
Orientador: Aldo Vilar Trindade
Co-orientador: Jorge Antonio Gonzaga Santos

RESUMO: A avaliação direta das propriedades do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar qualquer processo de degradação desse recurso natural. Por isso, a avaliação da qualidade do solo, através de indicadores de qualidade, tem sido proposta como uma ferramenta integrada da qualidade do ambiente e da sustentabilidade da produção agrícola. Este estudo teve como objetivo, abordar, no primeiro capítulo, o uso das características microbiológicas em prever os efeitos residuais de degradação e o uso destes bioindicadores na monitoração da recuperação de áreas. E, em um segundo momento, a utilização de índices de qualidade como ferramenta a prática de monitoração de áreas degradadas em recuperação. As atividades foram realizadas na área II do Centro Nacional de Pesquisa em Mandioca e Fruticultura Tropical, localizado no município de Cruz das Almas, Bahia, onde o solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, com textura argilosa e declive de 10 a 15%, no qual foram promovidos diferentes intensidades de aração e gradagem visando promover um gradiente de degradação. O trabalho foi desenvolvido a partir da implementação de coberturas vegetais como forma de recuperação do solo. Ao final de cada ciclo de plantio, foram coletadas amostras de solo em cada subparcela e avaliadas as características a serem monitoradas. Concluiu-se que as características microbiológicas avaliadas foram eficientes em identificar qual a forma de manejo mais apropriada, em qual nível de degradação e constatar que seu efeito residual persiste no solo, mesmo cessadas as perturbações. E que a monitoração de áreas degradadas, através de Índices de Qualidade de Solos, se constitui em uma ferramenta prática e adequada para identificar funções principais e indicadores limitantes, orientando intervenções técnicas com o objetivo de melhorá-los e, portanto, precisa e deve ser adequadamente testada e difundida para uso nas avaliações relativas ao manejo sustentável dos solos em regiões tropicais.

Palavras-chave: Solo, Degradação, Indicadores de Qualidade.

MONITORING OF RESIDUAL EFFECT OF DEGRADATION AND RECOVERY OF SOIL BIOINDICATORS

Authora: Ana Paula de Souza Barbosa e Souza

Adviser: Aldo Vilar Trindade

Co-Adviser: Jorge Antonio Gonzaga Santos

ABSTRACT: The direct evaluation of soil properties appears to be the most appropriate way to measure or monitor any degradation of this natural resource. Therefore, assessment of soil quality through quality indicators, has been proposed as an integrated environmental quality and sustainability of agricultural production. This study aimed to address in the first chapter, the use of microbiological characteristics in predicting the residual effects of degradation and the use of these biomarkers in monitoring the recovery of areas. And in a second step, the use of quality indices as a tool for monitoring the practice of degraded areas in recovery. The activities were held in area II of the National Center for Research on Cassava and Tropical Fruits, located in Cruz das Almas, Bahia, where the experimental area is classified as Typic Distrocoeso argisolic with clay and slope from 10 to 15%, which were promoted in different intensities of plowing and disking to promote a gradient of degradation. The work was developed from the implementation of cover crops as a form of reclamation. At the end of each cycle of planting, soil samples were collected in each subplot and evaluated the characteristics to be monitored. It was concluded that the microbiological characteristics evaluated were effective in identifying what form of management most appropriate, what level of degradation and finds that its residual effect persists in soil, even the disturbances ceased. And that monitoring of degraded areas, through Soil Quality Indices, constitutes a practical and appropriate to identify key functions and indicators limiting, guiding technical interventions aiming to improve them and, therefore, must and should be adequately tested and disseminated for use of assessments for the sustainable management of soils in tropical regions.

Keywords: Soil, Degradation, Soil Quality Indicators

INTRODUÇÃO

O solo, meio principal para o crescimento das plantas, é uma camada de material biologicamente ativo, resultante de transformações complexas que envolvem o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes e a produção e decomposição de biomassa (LOPES; GUILHERME, 2007). Por ser um sistema aberto de processos e respostas, durante as constantes trocas de energia e matéria, qualquer alteração no sistema, em sequência, irá refletir em alterações na sua estrutura morfológica (ou seja, na forma); por meio do reajustamento das variáveis, o solo busca alcançar um novo equilíbrio, uma nova forma (CHRISTOFOLETTI, 1979). Entretanto, ele não é um recurso natural inesgotável; o seu uso inadequado pode levar a perdas irreversíveis, não só da fertilidade natural, mas do próprio material de composição, em um curto espaço de tempo, tornando impossível qualquer tentativa de recuperação dessas áreas devido à perda total da sua capacidade regenerativa (a resiliência). Situações com estas são cada vez mais comuns em diversas áreas do Mundo, tornando o uso sustentável dos solos uma das principais preocupações ecológicas da conjuntura atual. Contudo, os processos de recuperação tornam-se um desafio cada vez maior, devido à gravidade dos casos e a uma dificuldade em entender a dinâmica entre os atributos do solo, por meio de manifestações características do sistema no qual está inserido.

Um dos grandes desafios do homem é retirar da natureza os meios para seu sustento e desenvolvimento, utilizando, de forma equilibrada, os recursos naturais. Contudo, a história está repleta de exemplos de degradação de ecossistemas em diferentes áreas do Mundo (COSTA et al., 2005).

Segundo Pinto (2005), áreas degradadas são aquelas que, por ação antrópica ou natural, perderam a capacidade de sustentação da vegetação e até mesmo relevo, merecendo, por isso, uma ação corretiva, para que possam, por si só, sustentar uma vegetação plantada ou introduzida na área.

Para o Ibama (1990), “degradação” é quando uma vegetação nativa e fauna foram destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo foi

perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico foi alterado, ou seja, quando há perda de adaptação das características físicas, química e biológicas do solo, inviabilizando o desenvolvimento socioeconômico.

Entretanto, Parrota (1992) diz que áreas degradadas são aquelas caracterizadas por solos empobrecidos e erodidos, de instabilidade hidrológica, produtividade primária e diversidade biológica reduzidas.

Por sua vez, Blum (1998) acredita que solos degradados são aqueles que apresentam perdas de energia, sejam estas gravitacionais (movimentos sólidos, líquidos e gases, fundamentais em processos erosivos e de sedimentação), conservadas (referentes ao material de origem) ou solares (que contribuem para a incorporação de nutrientes, por meio de fotossíntese ou fenômenos climáticos).

Kobiyama et al. (2001) definiu degradação simplesmente como processos e fenômenos do meio ambiente, naturais ou antropogênicos, que influem prejudicialmente nas atividades de um organismo ou mais, considerando que o solo degradado possui uma baixa entropia, resultado de desarmonias entre as características dele e suas relações, por mecanismos antrópicos ou naturais (Figura1).

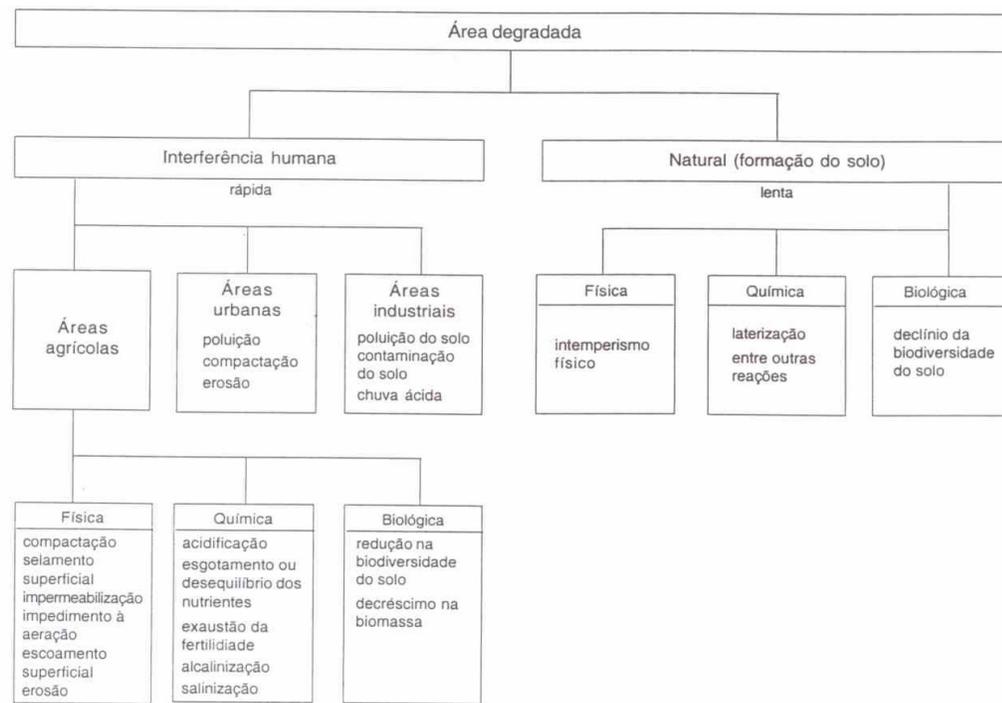


Figura 1: Diagrama dos mecanismos de degradação
Fonte: Kobiyama, 2001 citando LAL, 1998

O desmatamento e as atividades agrícolas são os principais fatores de degradação antrópica dos solos; entretanto, o superpastejo, a exploração intensa da vegetação, atividades industriais ou bioindustriais e a mineração são citados por Dias e Griffith (1990) como fatores também atuantes na degradação de solos. Eles consideram que, dentre as atividades agrícolas, não somente o desmatamento e a pecuária podem ser responsabilizados como importantes fontes de degradação, mas o manejo inadequado dos solos e a ausência de planejamento fazem-se fatores decisivos neste cenário, cabendo a obras de engenharia, minerações, atividade industrial, ocupação e uso inadequado do solo urbano, um papel coadjuvante, pela fácil caracterização, o que não ocorre em áreas agrícolas.

A degradação pode ser ocasionada por perturbação do solo, por ações naturais como vento, fogo, terremoto, queda de árvores, enchentes e outros, em que a resiliência natural do sistema geralmente possibilita sua recuperação. Neste caso, espécies heliófilas de rápido crescimento, como *Cecropia sp.*, *Vismia Latifolia* e *Trema micrantha*, dentre muitas outras, estabelecem-se na área sem necessidade de adição de nutrientes e assim iniciam o processo de recuperação. A degradação associada à perda, em maior quantidade, da camada superficial do solo contendo matéria orgânica e nutrientes é mais séria, devido à importância destes para as características físicas e químicas do solo (DIAS et al., 2007). A perda da fertilidade do solo tem como principal causa o desaparecimento da matéria orgânica que, dentre outros, afeta a estrutura, a atividade biológica, retenção de água, reduz o suprimento de enxofre e fósforo e, principalmente, de nitrogênio às plantas, tendo como consequência a produtividade do sistema (FARIA, 2001 citado por FRANCO et al., 1992).

As técnicas de conservação do solo, como cobertura vegetal, objetivam conservar ou aumentar os teores de matéria orgânica para manter em equilíbrio os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. O monitoramento da capacidade produtiva do solo utilizando indicadores de qualidade é uma ferramenta poderosa, que permite não só intervenções do homem no período inicial do processo degradativo, como aprimorar as técnicas de manejo.

Segundo o Decreto Federal nº 97.632/89, a recuperação de uma área degradada é o “retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo

com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”. Segundo Griffith (1986), recuperação é a reparação dos recursos ao ponto que seja suficiente para restabelecer a composição e a frequência das espécies encontradas originalmente no local. Em condição estável, a recuperação de uma área degradada será obtida em conformidade com os valores ambientais, estáticos e sociais da circunvizinhança.

Segundo Campello (1998), as bases da ecologia de ecossistemas tropicais permitem que os profissionais envolvidos na recuperação de áreas degradadas direcionem seus trabalhos em busca de padrões semelhantes à sucessão ecológica, na tentativa de maximizar a resiliência natural do ambiente de estudo. A estratégia deve fundamentar-se nos níveis de degradação, a começar pela identificação dos mecanismos de resposta, que estarão aptos a uma pronta reação. Esses mecanismos são: fontes de propágulo, agentes de dispersão, condições climáticas e o substrato para estabelecimento dos vegetais. A falha destes fatores não permite a sucessão natural. Neste momento, a ciência de recuperação de áreas deve intervir, de forma a não permitir a acentuação do processo degradativo, dificultando a resposta ecológica e privando a sociedade que busca retorno da qualidade ambiental.

Existem vários modelos de recuperação, bem como a adoção de diferentes técnicas de melhoria das condições ambientais. Considerando que cada ambiente tem suas peculiaridades, estas devem ser observadas antes de extrapolar alguma informação. Além disso, a capacidade de investimento econômico é diferente em cada caso; assim, singularidades da recuperação devem ser respeitadas. São exemplos de técnicas de recuperação:

- Biorremediação – técnica utilizada na remediação de locais impactados com poluentes orgânicos; baseia-se na utilização de populações microbianas que possuem a habilidade de modificar ou de decompor determinados poluentes. O benefício máximo desse processo é a mineralização, obtendo como produto final CO₂ e água pela via aeróbica, assim como a formação de biomassa (CUNHA, 1996). É classificada de três maneiras referentes ao local de tratamento (*in situ*: no local contaminado; *off site ou ex-situ*: remoção do solo contaminado; *on site*: após escavação do solo) (GRUIZ E KISTON, 1996). Segundo Oliveira

(2002), a capacidade dos microrganismos de degradar compostos orgânicos é cientificamente reconhecida; graças a essa habilidade, têm-se desenvolvido processos biotecnológicos destinados a diversas finalidades, dentre as quais se destacam a degradação de poluentes, a lixiviação de minerais, a desobstrução de poços de petróleo e a recuperação de locais contaminados – solos, águas superficiais e subterrâneas. Esses microrganismos podem ser extraídos diretamente do local impactado.

- **Regeneração natural:** é o procedimento mais simples e barato de recuperação de áreas degradadas; contudo, o tempo necessário é relativamente longo e está diretamente ligado à intensidade da duração do impacto. Assim, a resiliência do sistema, a reabilitação ou recuperação poderão ocorrer de maneira natural ou será necessária a intervenção antrópica. Segundo Costa et al. (2005), a recuperação natural de áreas degradadas deve promover uma nova dinâmica de sucessão ecológica, onde a área atingida é considerada o ponto de partida para o estabelecimento de novas espécies. Na agricultura migratória, o período de pousio entre ciclos agrícolas pode ser considerado como fase de reabilitação da área, podendo ser reduzido pela intervenção humana, por meio do enriquecimento de capoeiras, pela adição de leguminosas e outras espécies de vigor semelhante ao encontrado em capoeiras mais velhas (BRINZA Jr., S. et al,1998).
- **Sucessão vegetal:** a sucessão ocorre em etapas onde se estabelecem as primeiras espécies vegetais, *pioneiras*, de crescimento rápido e curto ciclo vegetativo, necessitando de pleno sol para o bom desenvolvimento. Na segunda etapa da sucessão, prevalecem as espécies *secundárias iniciais*, de crescimento rápido, ciclo de vida longo, intolerantes à sombra, com dispersão feita por vento ou por animais. Em uma etapa mais avançada, surgem as espécies *secundárias tardias*, que possuem um mecanismo de dispersão de sementes feito pelo vento e costumam colonizar clareiras pequenas. As espécies *clímax*, com características de floresta madura, onde predomina a pouca exposição da luz solar, são as últimas a se estabelecer. No caso de não se conseguir bons resultados com a regeneração natural, torna-se necessário o uso de técnicas de

regeneração artificial, a exemplo da semeadura, que pode ser feita a lanço ou em covas ou sulcos, caso haja condições propícias.

A conversão dos ecossistemas naturais para agrícolas proporciona uma redução no desenvolvimento do solo e perda do potencial pedogenético de produção. O manejo intensivo do solo, a monocultura e o uso de pesticidas e fertilizantes tornou-se práticas comuns para o aumento da produção agrícola. Mas, a utilização destas práticas tem ocasionado perda de matéria orgânica do solo, erosão e contaminação das águas subterrâneas, além de prejuízos à microbiota e seus processos, o que caracteriza a degradação de áreas. Não existe, contudo, no Brasil, um estudo conclusivo sobre a extensão das áreas degradadas no País, mas é de senso comum que o principal fator de degradação destes solos é proveniente do mau uso das práticas agrícolas.

Dentre as áreas com grande exploração agrícola estão os Tabuleiros Costeiros, que são paisagens formadas por platôs de origem sedimentar, que vêm sofrendo intensa degradação devido ao crescimento demográfico e às atividades agrícolas que estão se expandindo geográfica e economicamente na região.

1 TABULEIROS COSTEIROS

Esse termo é utilizado para designar feições geomorfológicas ou de superfície do tipo tabular, dissecadas por vales profundos, com encosta de forte declividade, próximas ao oceano Atlântico (NASCIMENTO, 2001). Os Tabuleiros Costeiros acompanham todo o litoral do Nordeste, com altitude média de 50 a 100 metros. Compreendem platôs de origem sedimentar, com grau de entalhamento que varia entre vales estreitos e encostas abruptas e vales abertos com encostas suaves e fundas. O relevo, em sua maioria, é suave ondulado, podendo apresentar, na sua parte interiorana, superfícies onduladas, e nas áreas de dissecções, relevo forte, ondulado, que raramente ultrapassa 30% de declividade (ARAÚJO, 2000). Os solos são profundos e de baixa fertilidade natural.

Devido à sua grande extensão, os solos de tabuleiros encontram-se sob diversa variação climática. No litoral, as áreas são predominantemente úmidas,

com médias de precipitação de 1.000 a 2.300 mm/ano. A temperatura média anual está compreendida entre 23 e 24°C na Bahia (JACOMINE, 1996). A baixada litorânea acompanha a orla marítima, onde estão incluídas restingas, dunas e mangues.

O ecossistema vegetal dos Tabuleiros Costeiros apresenta grande diversidade de espécies. São encontradas vegetações típicas de floresta equatorial, representadas pela Mata Atlântica ou Mata de Tabuleiro, florestas tropicais subcaducifólia e caducifólia, cerrado e caatinga (KINDEL ; GARAY, 2001; JACOMINE, 1996).

A formação geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros no Brasil é de extensa formação terciária, composta por depósitos sedimentares da formação Capim Grosso e/ou Barreiras (RIBEIRO, 1998). Segundo Jacomine (1996), as áreas provenientes de sedimentos Barreiras ou similares podem atingir a extensão de 200.000 km², em todo o País. Na Região Nordeste, a estimativa da área total apresenta algumas divergências. Para Jacomine (1996), são cerca de 6,4 milhões de hectares; Sobral *et al.* (2002) afirmam ser 8,4 milhões de hectares; para a EMBRAPA (1993), são cerca de 9,8 milhões de hectares e Souza *et al.* (2002a) totalizam cerca de 10 milhões de hectares, correspondendo a, aproximadamente, 16% da área total dos Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (Figura 2). Os solos são caracterizados especialmente pela baixa fertilidade e capacidade de armazenamento de água.. Diversos solos ocupam as áreas de domínio dos Tabuleiros Costeiros, porém, destacam-se como predominantes os Latossolos Amarelos, os Argissolos Amarelos, Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos.



Figura 2: Disposição dos Tabuleiros Costeiros na Região Nordeste
Fonte: Rezende, 2000.

Como vantagem, os solos encontram-se em áreas planas, sendo profundos, com vocação para cultivos que evitem seu revolvimento (cana-de-açúcar, pastagens, culturas perenes e reflorestamento).

A principal causa da baixa produtividade agrícola em solos de Tabuleiros Costeiros é a presença do horizonte coeso, que restringe o crescimento radicular em profundidade e limita o movimento da água ao longo do perfil. Os solos dos Tabuleiros Costeiros (Latosolos, Argissolos e outros provenientes de sedimentos do tipo Barreiras ou similares) apresentam uso agrícola muito dependente das precipitações pluviais; entretanto, de forma geral, possuem bom potencial agrícola. Somados à presença do horizonte coeso, os períodos de *déficit* hídrico e os baixos teores de nutrientes – o que determina a necessidade de insumos corretivos e adição de nutrientes – são outras limitações à produtividade agrícola (SOUZA *et al.*, 2002b). Os solos de tabuleiros formados de sedimentos tipicamente desferrificados e caulíníticos são a causa de uma rápida degradação de sua camada superficial, quando submetidos ao constante revolvimento. Esta característica impõe limitações à mecanização, mesmo se considerando o relevo plano das terras locais, e ajuda a explicar a ausência de grandes áreas de culturas anuais na região (EMBRAPA, 2005).

A utilização agrícola dos Tabuleiros Costeiros, baixada litorânea e áreas adjacentes tem sido estudada há décadas. Sua importância estratégica para o Nordeste do Brasil é evidente, pois, apesar de ocupar apenas 24% da área dos sete Estados, concentra mais de 45% de sua população. Essa região apresenta uma densidade demográfica de 123 hab/km² e é responsável por grande parte da produção agropecuária nordestina. Devido à importância econômica dos solos de tabuleiros e fatores de degradação ligados às atividades econômicas de *agrobusiness*, deve-se considerar a importância da adoção de práticas adequadas de manejo de solos e o seu uso adequado.

Caracterizados por sua fragilidade mecânica e presença de camadas coesas subsuperficiais, que restringem o fluxo de água e o crescimento de raízes no perfil, tem como alternativa, práticas agrícolas como a incorporação de culturas recuperadoras, em que o cultivo de espécies de diferentes sistemas aéreos e radiculares adiciona material orgânico em quantidade e composição variada, agregando as partículas do solo pela presença de seu sistema radicular agressivo e minimizando os efeitos negativos das camadas coesas e da degradação dos solos por meio de melhorias na estrutura destes.

2 O USO DE CONSÓRCIOS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS

O cultivo intenso de espécies anuais e a prática de preparo excessivo e superficial do solo têm causado erosão e degradação de sua estrutura. Solos fisicamente degradados podem ser recuperados com o cultivo de espécies de diferentes sistemas aéreos e radiculares que adicionam material orgânico de quantidade e composição variada. Culturas agregadoras e com sistema radicular agressivo podem minimizar os efeitos negativos da degradação dos solos por meio de melhorias na sua estrutura. Informações sobre quais sistemas de culturas são mais apropriados para a agregação do solo são, entretanto, ainda incompletas (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

Na ecorregião dos Tabuleiros Costeiros, predominam solos de baixa fertilidade, com características físicas desfavoráveis à retenção de água e nutrientes, o que está relacionado com baixos teores de matéria orgânica (MO) e deficiente agregação. O manejo da MO é essencial nestas circunstâncias, uma

vez que ela é a principal reserva de nitrogênio (N) e a responsável por grande parte da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo (RAIJ,1969; PAVAN *et al.*, 1985; BARRETO, 2009)

Portanto, a elevação do teor de carbono em solos esgotados permite a elevação da CTC, favorecendo a retenção de cátions e conseqüente redução da sua lixiviação, como também o aumento na reserva de N e a melhoria da estrutura do solo (IGUE,1984). A utilização da prática da adubação verde tem sido vista como uma das alternativas capazes de, pelo menos a médio e longo prazo, promover estas melhorias (BARRETO, 2009).

Conforme Willey (1979), no consórcio ocorre o uso mais eficiente dos recursos luz, água e nutrientes, à medida que as espécies apresentam diferenças de porte aéreo e de distribuição do sistema radicular, permitindo uma melhor interceptação de luz pela parte aérea e a exploração de água e nutrientes em diferentes camadas do solo, o que caracteriza uma complementariedade espacial. Outro tipo é a temporal, que ocorre quando as espécies apresentam seus níveis máximos de uso dos recursos em épocas diferentes. Torna-se, portanto, necessário um ajuste para definição de espécies e de algumas práticas de manejo do consórcio a ser utilizado (BARRETO, 2005).

De modo geral, as plantas, pela ação de suas raízes e parte aérea, podem recuperar solos degradados, sendo algumas espécies mais eficientes do que outras. Para Silva & Mielniczuk (1997), as raízes, apesar de representarem uma pequena fração dos constituintes orgânicos do solo, exercem grande influência na formação e estabilidade dos agregados do mesmo. Segundo Allison (1973), as plantas exercem significativo benefício na agregação, pois apresentam raízes finas que se ramificam pelo solo, predispondo a formação de agregados. Além disso, removem continuamente a água, criando secamento nas regiões próximas a elas e, pela exsudação, fornecem alimento para microrganismos da rizosfera que, direta ou indiretamente, influenciam a agregação (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

O uso de consórcios na recuperação de áreas degradadas é considerado forte aliado, pois cada espécie utilizada contribui com diferentes características que trazem benefícios ao ecossistema no qual está inserida.

2.1 ESPÉCIES VEGETAIS

- *Gramíneas*: como plantas pioneiras, as gramíneas têm importância fundamental do ponto de vista ecológico, ajudando na recuperação, proteção e revitalização do solo. Possuem sistema radicular fasciculado, ou seja, com a raiz primária não desenvolvida, enquanto as raízes secundárias são ramificadas e numerosas, geralmente ocorrendo a menos de 1m de profundidade. As gramíneas apresentam características que as destacam como um grupo evoluído e diversificado de plantas. O conjunto destes atributos faz com que as gramíneas sejam apropriadas para recomposição das áreas degradadas, atuando como pioneiras na sucessão ecológica (PEREIRA, 2009).

A cultura do milho destaca-se como uma cultura de importância socioeconômica, pois é uma das principais fontes de carboidratos para as populações rurais e urbanas e o principal componente energético na ração de animais (FANCELLI ; DOURADO NETO, 2000).

Com o advento do plantio direto, principalmente as gramíneas começaram a ser cultivadas como cobertura de solo e formadoras de palhada no período de inverno, além de tornarem-se uma boa opção de forragem para os animais em propriedades que integram lavouras com a pecuária. No entanto, verificaram-se problemas com esse tipo de cultura, por exemplo, as raízes mais superficiais das gramíneas. Elas tendem a concentrar microorganismos e nutrientes nas camadas superficiais do solo, e com o manejo do plantio direto, pode ocorrer compactação dessa camada, interferindo negativamente na absorção de água e nutrientes da cultura (CALEGARI, 1994). Dessa maneira, o consorciamento tem como objetivo resolver esses problemas e aperfeiçoar as ações benéficas dos adubos verdes, levando em consideração as propriedades de cada cultura.

- *Leguminosas*: As leguminosas são plantas capazes de fixar nitrogênio no solo. Além disso, apresentam raízes com arquitetura e profundidade que permitem estabilizar solos com pouca estabilidade. As leguminosas têm um papel importante na revegetação de áreas degradadas, principalmente na

consorciação com gramíneas, favorecendo o desenvolvimento da vegetação pela incorporação de nitrogênio (PEREIRA, 2009).

As leguminosas, como o guandu, mucuna, crotalária, feijão-de-porco e estilosantes, possibilitam o desenvolvimento de bactérias (rizóbios) em suas raízes, que têm o poder de retirar o nitrogênio da atmosfera e fixá-lo no solo, tornando-o disponível para a próxima cultura. Essa fixação para as mucunas chegam a 157 kg N ha⁻¹, a crotalária *juncea* até 155 kg N ha⁻¹, o feijão-de-porco até 250kg N ha⁻¹ e o guandu até 280 kg N ha⁻¹. Outro benefício é o fornecimento de fósforo no solo, que, nos tabuleiros, constitui-se em uma das principais limitações no que se refere à fertilidade (FURTINI NETO *et al.*, 1999). Segundo esses mesmos autores, a consorciação entre culturas tem outras vantagens, como fornecer diferentes fontes de alimentação, assim, nessas condições, os insetos dificilmente se tornam pragas, e a proteção contra as ervas invasoras são reforçadas.

Entre as leguminosas usadas para adubação verde, o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) é uma das mais propícias para o cultivo consorciado, por suas características morfológicas e fisiológicas. Essa espécie possui ampla adaptação às condições de luz difusa (HENRICHS *et al.*, 2002), possibilitando seu sombreamento parcial pela cultura principal e rápido crescimento inicial (ALVARENGA *et al.*, 1995), o que dificultaria o estabelecimento de espécies invasoras pelo sombreamento.

Embora o cultivo intercalar de adubos verdes com as culturas de interesse econômico seja, em muitas situações, tecnicamente viável, existem poucos trabalhos com esta ênfase. Outros autores já pesquisaram o consórcio milho e feijão-de-porco, como Heinrichs *et al.* (2002). Esses autores estudaram quatro consórcios de milho com leguminosas e observaram que os efeitos positivos do feijão-de-porco, na produção de grãos de milho, foram significativos somente no segundo ano de adoção do cultivo consorciado. Os autores concluíram que a semeadura simultânea foi a prática mais recomendável, considerando-se a ausência de redução da produção de grãos de milho e a redução da operação pós-plantio. Skóra Neto (1993) avaliou, além do feijão-de-porco, sete leguminosas semeadas em três fases de desenvolvimento do milho, com o objetivo de controlar plantas daninhas. Ele concluiu, com isso, que a consorciação de leguminosas com o milho tem a vantagem de diminuir a infestação de plantas

daninhas no final do ciclo e no período após a colheita. Oliveira et al. (2003) avaliaram a produção de massa de milho verde em monocultivo e em dois consórcios, um com mucuna-preta e outro com feijão-de-porco. Em outro trabalho verificou-se, que não houve interferência das leguminosas sobre a produção e características agrônômicas do milho. Também avaliou-se a sustentabilidade da produção de milho orgânico em sistema de produção intercalar, com cinco espécies de adubos verdes, dentre eles o feijão-de-porco. O autor observou que os adubos verdes constituíram fonte de nutrientes, com e sem controle de plantas daninhas, concluindo, ainda, que nenhum dos adubos verdes promoveu aumento da produtividade do milho (Alvarenga (2005) citado por PERIN *et al.*, 2007).

As técnicas de recuperação e conservação do solo, utilizando coberturas vegetais, consistem em dar o uso e o manejo adequado aos seus atributos químicos, físicos e biológicos, visando à manutenção do equilíbrio ou recuperação. E o solo utilizado neste estudo possui limitações químicas e físicas naturais, agravadas no processo de degradação. Com isso, plantas que têm sido utilizadas como pioneiras em processos de recuperação de solos em propriedades rurais foram usadas na recuperação dos mesmos. Os consórcios de culturas constituem uma das práticas de revegetação usadas na recuperação de áreas e sua caracterização passa pela avaliação da dinâmica de qualidade do solo; o cálculo de índice qualidade do solo torna-se, então, uma ferramenta útil na sua monitoração.

3 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

São processos ou atividades (quantitativas ou qualitativas) mensuráveis do solo ou da planta, que permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas em um dado ecossistema (KARLEN *et al.*, 1994 e 1997; ARSHAD e MARTIN, 2002; ARAÚJO, 2008). Um bom indicador deve ser de fácil medição, aplicável às condições de campo e comparado ao de laboratório, possuir critérios definidos para interpretação dos valores, permitir avaliação a curto, médio e longo prazo e ser sensível à variação do clima e manejo do solo (DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN ; STOTT, 1994). O indicador deve ser testado, monitorado, dando condições para avaliação de mudanças na qualidade do solo, ao longo do tempo,

identificando, assim, flutuações sazonais, heterogeneidade e incertezas analíticas (ARSHAD ; MARTIN, 2002).

A avaliação da qualidade do solo envolve a seleção de indicadores de qualidade que são atributos e/ou propriedades pedogenéticas naturais que podem ser utilizados para avaliar o comportamento de um solo específico (LARSON ; PIERCE, 1994; KARLEN ; STOTT, 1994; KARLEN et al., 1997; ARSHAD ; MARTIN, 2002, KARLEN et al., 2003). O solo é caracterizado por propriedades e atributos funcionalmente relacionados, os quais são usados para quantificar sua qualidade (LARSON ; PIERCE, 1994). A avaliação direta das propriedades e/ou atributos do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar sua conservação ou qualquer outro processo de degradação em curso (KARLEN et al., 1997).

Expressar a qualidade e a produtividade do solo em termos de atributos químicos, físicos e biológicos condiz com o contexto dos sistemas agrícolas, que são quase que totalmente dependentes de suprimento de nutrientes por adubação, uma vez que o fluxo de nutrientes ocorre principalmente do solo para a planta (SCHOENHOLTZ et al, 2000).

Segundo Araújo (2008), a utilização de indicadores de qualidade do solo, relacionados à sua funcionalidade, constitui uma maneira indireta de mensurar essa qualidade, sendo úteis para monitoramento de mudanças no ambiente. O funcionamento do solo, respeitando os limites do ecossistema, de forma a sustentar a produtividade biológica e mantendo a qualidade ambiental, saúde vegetal e animal, foi abordado por Doran ; Parkin (1994) como Qualidade do Solo. O estabelecimento do Índice de Qualidade é fator necessário para identificar problemas de produção nas áreas agrícolas, fazer estimativas realísticas da produção de alimentos, monitorar mudanças na sustentabilidade e qualidade ambiental em relação ao manejo agrícola e orientar políticas governamentais voltadas para o uso sustentável do solo.

Evidentemente, a escolha de determinados indicadores depende da finalidade a que se propõe a utilização de determinado solo. Além disso, a seleção de uma característica específica como indicador de qualidade do solo pode ser trabalhosa e variar de acordo com as características intrínsecas de cada ambiente (ARAÚJO, 2008).

3.1 INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO

Eles podem ser utilizados para monitorar a estrutura ou desenvolvimento do solo, estoque de nutrientes e atividade biológica de diferentes ecossistemas (GREGORICH et al., 1994). Os microorganismos têm papel importante no funcionamento e na sustentabilidade de agrossistemas, porque atuam na gênese e morfologia dos solos, na troca de nutrientes do sistema solo-planta e, principalmente, na ciclagem de compostos orgânicos, estabelecendo estreita cadeia de relações causa e efeito. Microorganismos promovem a decomposição de resíduos, a mineralização e a absorção de determinados nutrientes pelas plantas, melhorando sua nutrição, resistência a doenças e a estresses abióticos (COLOZZI FILHO et al, 1999). As populações microbianas do solo sofrem acentuada influência do ambiente, podendo os microrganismos ou seus processos ser inibidos em até 100% por diversos fatores estressantes. Devido à elevada diversidade fisiológica, ecológica e funcional, as populações microbiológicas podem se recuperar do impacto (CARVALHO, 2005). A biomassa microbiana, a taxa de respiração, quociente metabólico, atividade enzimática e a diversidade são os indicadores biológicos mais utilizados na avaliação de impactos ambientais.

Segundo Gregorich et al (1994), citados por Araújo ; Monteiro (2007), a biomassa microbiana é um dos componentes que controlam funções-chave no solo, como a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica, ou transformações envolvendo os nutrientes minerais. A biomassa microbiana atua como um reservatório de nutrientes, imobilizando-os temporariamente e reduzindo perdas por lixiviação, o que possibilita seu uso posterior pelas plantas (ESPÍNDOLA et al, 2001).

Alef (1995) define a respiração do solo como a oxidação biológica da matéria orgânica a CO_2 pelos microorganismos aeróbios, ocupando uma posição-chave no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres. A avaliação da respiração do solo é a técnica mais frequente para quantificar a atividade microbiana, sendo positivamente relacionada com o conteúdo de matéria orgânica e com a biomassa microbiana.

Anderson ; Domsch (1998) propuseram a determinação do quociente metabólico (qCO_2), relação entre a quantidade de CO_2 produzida por unidade de C da BM, biomassa microbiana por unidade de tempo, como componente relevante na avaliação dos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a atividade microbiana do solo.

Outros atributos biológicos e bioquímicos, as análises de atividade enzimática do solo têm detectado alterações nos solos pelo seu uso, manejo ou outras influências antrópicas, com maior antecedência do que indicadores químicos e físicos (MATSUOKA et al., 2003; CHAER ; TÓTOLA, 2007; PASSOS, 2008). De acordo com Araújo ; Monteiro (2007), as enzimas são mediadoras do catabolismo biológico dos componentes orgânico e mineral do solo. As enzimas presentes no solo podem estar associadas (enzimas intracelulares) ou (enzimas extracelulares) não às células microbianas. A atividade enzimática do solo possui as características de: a) ser relacionada com a matéria orgânica, com as propriedades físicas e com a atividade e biomassa microbiana; b) ser um claro indicador de mudanças na qualidade do solo; c) envolver metodologias simplificadas (DICK, 1997).

Fosfatase é um nome genérico para descrever um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres e anidridos do ácido fosfórico. Fosfatase ácida e fosfatase alcalina são hidrolases fosfóricas monoéster, enquanto que fosfodiesterase é uma hidrólise fosfórica do diéster. Esta atividade hidrolítica pode ser catalisada por bactérias, fungos, algas e protozoários, especialmente na superfície do solo; têm sido intensivamente estudadas nos solos, porque participam do ciclo do fósforo, promovendo a liberação do P na forma iônica ($H_2PO_4^-$), que é utilizado pelas plantas e microrganismos.

Segundo Lanna (2002), um parâmetro adequado da qualidade do solo é a atividade microbiológica total, que é uma medida específica da atividade de proteases, lipases e esterases (atividade hidrolítica) que atuam na hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA). Esta atividade hidrolítica pode ser catalisada por bactérias, fungos, algas e protozoários, especialmente na superfície do solo (GHINI et al., 1998). Godoi (2001) utilizou o método de diacetato de fluoresceína e verificou ser um instrumento eficaz como indicador da qualidade de solos de áreas degradadas, recuperadas e nativas nos cerrados brasileiros. Silva et. al. (2004) confirmam a eficiência do seu uso como bioindicador do sucesso de

sistemas restaurados e sugeriu que este método seja inserido em estudos de monitoramento ambiental.

Em função da alta sensibilidade, ligada à atividade antrópica e à simplicidade de determinação, atributos microbiológicos têm potencial como indicadores de qualidade do solo degradado e em recuperação. Eles podem identificar as principais limitações do sistema impactado e sugerir estratégias que visem à sustentabilidade do mesmo.

3.2 INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DO SOLO

Os indicadores físicos, que têm sido utilizados e recomendados com maior frequência por pesquisadores, para aferir os impactos no solo sobre as referidas funções, são: resistência à penetração, porosidade, capacidade de retenção d'água, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (ARAÚJO, 2008).

A porosidade total, a micro e a macroporosidade de um solo são de fundamental relevância para a compreensão do seu comportamento físico-hídrico e as suas condições edáficas para o adequado desenvolvimento dos vegetais superiores. Muitos estudos têm sido feitos para verificar a proporção volumétrica ideal entre macro e microporosidade, a fim de proporcionar aeração e retenção de água para o desenvolvimento das plantas. A composição volumétrica ideal do solo está em torno de 50% da porosidade total, sendo 1/3 e 2/3 do volume dos poros divididos em macro e microporosidade, teoricamente, ocupados, com ar e água, respectivamente (FERRAZ et al., 2008).

A densidade das partículas é um atributo cuja variação se relaciona com a natureza intrínseca dos componentes do solo, da textura e da mineralogia das frações granulométricas que derivam da natureza do material de origem. Constituem atributos, portanto, estáveis às alterações ocasionadas pelo manejo do solo. Por outro lado, a densidade do solo constitui um atributo que naturalmente varia entre solos de classes diferentes em função da sua textura, teores de matéria orgânica, estrutura e mineralogia. Dentro de um mesmo solo, normalmente, sua densidade aumenta em profundidade em função do adensamento ocorrido pela pressão exercida pelas camadas superiores sobre as subjacentes e dos mecanismos de eluviação de argila, que concorrem para a diminuição da porosidade. A densidade do solo depende do grau de compactação

e de desestruturação causado pelo manejo do solo, relacionado ao sistema de cultivo empregado (KIEHL, 1979). A densidade do solo e a porosidade são atributos altamente correlacionados e, por isso, de acordo com Camargo e Alleoni (1997), a densidade do solo se constitui na medida quantitativa mais direta da compactação do mesmo. Tanto a porosidade como a densidade do solo são parâmetros que controlam as relações volumétricas entre as fases, água e ar, e indicam as condições para o desenvolvimento e penetração das raízes, servindo de orientação para o manejo do solo. Kiehl *et al.* (1972) assinalam que a correta interpretação dos resultados de densidade do solo depende de informações da densidade de partículas, distribuição da macro e microporosidade, teor de matéria orgânica e grau de agregação. Segundo Kiehl *et al.* (1972), nos solos minerais a porosidade total varia na faixa de 40 a 60% e, como a densidade das partículas fica em torno de 2,65 g/m³, os valores da densidade do solo oscilam entre 1,1 a 1,6 g/m³.

3.3 INDICADORES QUÍMICOS DE QUALIDADE DO SOLO

São variáveis relacionadas com o pH, a acidez e o teor de matéria orgânica do solo, capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por alumínio (m) e disponibilidade de nutrientes (ARAÚJO, 2008). A condutividade elétrica, o pH e a capacidade de troca catiônica são essenciais para analisar aspectos químicos de qualidade do solo, uma vez que fornecem uma medida da habilidade do solo em suprir nutrientes e funcionar como tampão contra aditivos químicos e corretivos (ARSHD; COEN, 1992; DORAN; PARKIN, 1994; ARAÚJO, 2008).

Em Álvares V. *et al.* (1994), o pH é um importante fator na produção agrícola. Ele influi na disponibilidade de nutrientes às raízes das plantas, proporcionando condições do solo e favorecendo meio propício a microrganismos causadores de doenças de plantas. A fitotoxidez por Al³⁺ é uma das principais limitações químicas ao uso agrícola em ecossistemas tropicais (SANCHEZ, 2003; COCHRANE, 1980), em razão de sua capacidade de gerar acidez no solo, devido às reações de hidrólise do Al³⁺ hidratado em solução (MARSCHNER, 1995). Embora a toxidez por alumínio não ocorra em solos com pH acima de 5,5, ela é comum mediante a ocorrência de valores mais baixos de pH, particularmente

abaixo de 5, faixa em que a solubilidade de alumínio aumenta e mais da metade do complexo de troca pode ser ocupado por ele (FOY, 1974; ARAÚJO, 2008).

Segundo Conceição et al. (2008), a matéria orgânica (MO) do solo é um fator determinante para a qualidade de solos, pois as funções que ela exerce estão intimamente associadas com propriedades emergentes que promovem essa qualidade:

- de ordem física, onde a MO promove a estabilização de estruturas do solo por atuar tanto no processo de agregação (combinação) como no de formação de espaço poroso. Quando esses dois processos ocorrem em igualdade de forças, o solo atinge qualidade física;
- de ordem química, onde, principalmente em solos tropicais e subtropicais, a MO, por reter nutrientes e compostos, é fundamental para o exercício de suas funções relacionadas à CTC, a adsorção de Al^{3+} etc;
- de ordem biológica, na qual funciona como fonte de energia, de carbono e doadora de elétrons para grande maioria de organismos, o que evidencia a importância da MO, para que a biota desempenhe corretamente suas funções no sentido de promover a qualidade do solo.

A disponibilidade de nutrientes e a condutividade elétrica são eficientes até o momento em que a ciclagem biogeoquímica é efetiva, a partir daí incrementos significativos na disponibilidade de nutrientes não são evidenciados e os teores de MO tendem a aumentar.

O estabelecimento de um índice de qualidade do solo representa o agrupamento dos indicadores selecionados, no sentido de estabelecer a aptidão preditiva do solo para uma determinada finalidade (HARRIS & BEZEDICEK, 1994).

O monitoramento da qualidade do solo/substrato assume grande importância nos programas de recuperação de áreas degradadas, tendo em vista a necessidade de verificação da eficiência das intervenções propostas em propiciar a melhoria das funções produtivas e ambientais do solo. A avaliação de sua qualidade é feita pela seleção e análise de um conjunto de indicadores, os quais podem incluir atributos físicos, químicos ou biológicos do solo. A escolha de um método adequado para a análise de dados resultantes da análise dos indicadores é fundamental para identificar mudanças qualitativas no solo, resultantes dos processos de intervenção. De modo geral, sugere-se o uso de

métodos integrativos que permitem a análise conjunta dos indicadores e maior facilidade na interpretação dos resultados. As duas principais estratégias usadas são a (i) análise dos dados por meio de ordenações multivariadas ou (ii) por meio de modelos para determinação de índices de qualidade do solo (CHAER, 2008).

Considerando que a caracterização de áreas degradadas deve sublimar o fator qualidade do solo, a determinação de indicadores de qualidade e seus padrões, ou índices de qualidade, ainda são fatores limitantes ao processo de caracterização, principalmente no que diz respeito às características biológicas.

Este estudo teve como objetivo, abordar, no primeiro capítulo, o uso das características microbiológicas em predizer os efeitos residuais de degradação e o uso destes bioindicadores na monitoração da recuperação de áreas. E, em um segundo momento, a utilização de índices de qualidade como ferramenta a esta prática de monitoramento, posto que o uso de indicadores vêm sendo fortemente utilizado para avaliações da sustentabilidade do manejo de solos. Infelizmente, são poucas as pesquisas que dão enfoque à avaliação de qualidade do solo em áreas degradadas por atividade agrícola. Contudo, esta é uma linha de pesquisa que precisa avançar principalmente no que diz respeito à recuperação destas áreas.

REFERÊNCIAS

ALLISON, F.E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1973. p.215-345.

ALVARENGA, R. C. **Adubação verde intercalar como fonte de nutrientes para a cultura do milho orgânico**. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/trabmilho1.htm>>. Acesso em: nov. 2005.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.. Indicadores biológicos. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, jul./set. 2007.

ARAÚJO, Q. R. **Solos de tabuleiros costeiros e qualidade de vida das populações**. Ilhéus: Editus, 2000. 97 p.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J. ; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. ..., n.31, p.1099-1108, 2007.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.88, n.2, p.153-160, feb. 2002.

ARSHAD, M.A. ; COEN, G.M. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. **Am. J.Altern. Agric.**, n.7, p.25- 32, 1992.

BALIEIRO, F. de C. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: TAVARES, Sílvio Roberto de Lucana et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**; dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228p.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, Marcelo Ferreira **Adubação verde com leguminosas em cultivo intercalar com a cultura do milho**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005. 15p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa)

BARRETO, A.C.; FERNANDES, Marcelo Ferreira. **Manejo da adubação verde sobre atributos químicos e físicos de um Argissolo amarelo dos tabuleiros costeiros**-Aracaju, SE : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009.15p (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de pesquisa).

BLUM, W. E. H. Basic concepts: degradations, resilience and rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Eds). **Methods for assessment of soil degradation**. New York: CRC Press, 1998, p 1-16.

BRIENZA JR., S.; VIELHAUFER, K.; VLEK, P.L.G. Enriquecimento de capoeira; mudando a agricultura migratória na Amazônia oriental brasileira. In: DIAS, L. E.;

- MELLO, J.W.V (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.177-182
- BRIENZA JR., S.; VIELHAUFER, K.; VLEK, P.L.G. Enriquecimento de capoeiras: mudando a agricultura migratória na Amazônia oriental brasileira. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V (Eds.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. p.1-8.
- CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agron. J.**, n.97, p.791-798, 2005.
- CALEGARI, A.; FERRO, M.; GRZESIUK, F.; JACINTO JR., L. **Plantio direto e rotação de culturas. Experiência em Latossolo Roxo**. Fazenda Santo Antonio, Floresta, PR: IAPAR/COCAMAR/ZENECA, (Relatório 1985-1992. mimeografado)
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas: IAC, 1986.94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997. 132p.
- CAMPELLO, E.F.C. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In:DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.183-196.
- CARVALHO, L. L. de. **Diagnóstico da qualidade do solo em dois sistemas tradicionais de uso e manejo: citros e mandioca**. 2008. 67f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2008.
- CARVALHO, F, **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo em florestas de Araucaria angustifolia (Bert.) O.Ktze. no Estado de São Paulo**. 2005. 79f. (Tese de Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Piracicaba, 2005.
- CASSEL, D.K.; NIELSEN, D.R. Field capacity and available water capacity. In: KLUTTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of Agronomy, 1986. p.901-926.
- CHAER, G. M. ; FERNANDES, M. F. Sensibilidade de propriedades físicas, químicas e biológicas a um gradiente induzido de degradação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 32., 2009, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009.

- CHAER, G.M. Monitoramento de áreas recuperadas ou em recuperação. In: TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas**: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação: dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228p
- 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 Ciências do Solo**. n.31, p.1381-1396, 2007.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1936 Introdução à geomorfologia. In: CHRISTOFOLETTI, A., **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 2ªedição,1980. 89p
- CUNHA, C. D. da. **Avaliação da biodegradação de gasolina em solo**. 1996. 97f. (Tese de Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 1996.
- DIAS, L. E. ; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E.; MELO, J. W. **Recuperação de áreas degradadas**, SOBRADE/FINEP, Viçosa, MG: 1998. p.1-7
- DIAS, L.E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. . In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV – Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p: 27-44, 1998
- DIAS, L. D.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBSCS, 2007;p.955-990.
- DIAS, L.E., FRANCO, A.A., CAMPELLO, E.F.C. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In:NOVAIS, R.F.; ALVARES,V.H.; BARROS,N.F.; FONTES,R.L.; CANTARUTTI, R.B.;NEVES,J.C.L **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007.1017 p.
- DIAS, L.E.; GRIFFTH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: **Recuperação de degradadas**. Viçosa: UFV, 1990. p.1-8.
- DICK, W. A. ; TABATABAI, M. A. Significance and potential uses of soil enzymes. In: PANKHURST C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Org). **Biological indicators of soil health**. New York: CAB, 1997. p.121-155
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J W. et al.**Defining soilquality for a sustainable environment**. Madison, Wisconsin,USA: Soil Science Society of America, 1994, p..3-21,, (Special publication,35).
- DORAN, J. W.; .VARVEL, G.E. ; CULLEY, J.B.L. Tillage and residue management effects on soil quality and sustainable land management. In: **INTERNATIONAL**

WORKSHOP ON SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT. Lethbridge: 1993. p.15-24.

EMBRAPA Tabuleiros Costeiros. **III Plano Diretor da Embrapa Tabuleiros Costeiros 2004-2007.** Aracaju: 2005 40p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros, Documentos, 73). Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br>. Acesso em:

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Zoneamento agroecológico do nordeste:** diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina, PE: EMBRAPA-CAPTSA; Recife: EMBRAPA-CNPS. Coordenadoria Regional Nordeste, 1993, v. 2.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. p.21-54.

FERRAZ, R. P. D.; DONAGEMMA, G. K; ROSSI, C. Q.; POLIDORO, J. C. Fundamentos de morfologia, pedologia, física e química do solo de interesse no processo de recuperação de área degradada In: TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação:** dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228p.

FRANCO, A. A. et al. **Revegetação de solos degradados.** Seropédica, EMBRAPA-CNPAB, 1992. 9p. (Série Comunicado Técnico),

FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; VALE, F.R.; FAQUIM, V.; FERNANDES, L.A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de mudas. **Revista Cerne**, v.5, n.2, p.1-12, 1999.

GAMA-RODRIGUES, A.C. da; BARROS, N.F.de. Biomassa e nutrientes da serapilheira e do solo sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. (compact disc). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 26., Rio de Janeiro: SBCS,1997.

GHINI, R.; MENDES, M.D.L. ; BETTIOL, W. Método de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador de atividade microbiana no solo e supressividade a *Rhizoctonia solani*. **Summa Phytopathologica**, v.24, n.3/4, p.239-242, 1998.

GODOI, L.C.L. **Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos.** 2001. 87f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, 2001

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. ; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Can. J. Soil Sci.**, n.74, p.367-385 1994.

GRIFFITH, J. J. **Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação**. Viçosa, MG: UFV, 1986.

GRIFFITH, J. J. **Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação**. Viçosa: UFV, 1984. 4p.

GRUIZ, K.; KRINSTONE, E. In situ bioremediation of hydrocarbons in soil. **Jornal of soil contamination**, v 4, n.5. p.1, 1996.

HARR, R.F.; BEZEDICEK, D.F. Descriptive aspects of soil quality/health. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America/ American Society of Agronomy, 1994. p.23-35. (SSSA Special Publication)

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T. J. C.; FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.331-340, abr./jun. 2001.

HEINRICHS, R.; VITTI, G. C.; MOREIRA, A.; FANCELLI, A. L. Produção e estado nutricional do milho em cultivo consorciado intercalar com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.225- 230, jan./mar. 2002.

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96p

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In.: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil**: trabalhos apresentados. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 363 p.232-267.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificações dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. 1996, Cruz das Almas. **Anais...**, Cruz das Almas: EAUFBA/GVFBA, EMBRAPA/CNPMF, 1996, p.13-26.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**. v.114, n.3/4, p.145-156, 2003.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G., HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (Guest editorial). **Soil Science Society of American Journal**. v.61, n.1, p.4-10, jan./feb. 1997.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W. et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994, p.53-72, (Special Publication, 35).

KARLEN, D. L.; WOLLENNHAUPT, D. C.; ERBACH, E. C. BERRY, J. B.; SWAN, N.S.; EASH, E.; JORDAHL, J. L. Crop residue effects on soil quality following 10-yearsof no-till corn. **Soil and Tillage Research**. v. 31, p.149-167, 1994.

KARLEN, D.L.; STOTT, D. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. SSSA, 1994, p.53-72. (Special publication, 35).

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). **Soil Science Society of American Journal**, n.61, p.4-10, 1997.

KIEHL, E.J. et al. **Caracterização e interpretação das propriedades do solo**. 2. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; São Paulo: Universidade de São Paulo, 1972.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

KINDEL, A.; GARAY I. Caracterização de ecossistemas da mata atlântica detabuleiros por meio das formas de húmus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.25, n.3, p.551-563, jun./set. 2001.

KOBIYAMA, M. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.210; p 10-17, 2001.

LAL, R. Soil quality and sustentability. In; BLUM, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. (Ed). **Methods for assessment of soil degradation**. New York: CRC Press, 1998, p 17-30.

LAL, R., HALL, G. F. & MILLER, F. P. Soil degradation. I Basic processes. In: **Land Degradation & Rehabilitation**, London, v.1, n.1, p.51-69, jul/aug, 1989.

LANNA, A. C. **Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição**: uma revisão. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA, 2002.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure ofsustainable management. In: DORAN, J. W. et al. **Defining soil quality for asustainable environment**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994, p.37 – 52, (Special Publication, 35).

MAJER, J. D. Fauna studies and land reclamation technology: review of the historyand need for such studies. In: **Animals in primary succession: the role offauna in reclaimed lands**. London: Cambridge University Press, p. 3-33, 1989.

MARCHIORI JÚNIOR, M. ; MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.35, n.6, p.177-1182, jun. 2000.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C. ; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícola anuais e

perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.425-433, maio/ jun. 2003.

NASCIMENTO, G. B. **Caracterização dos solos e avaliação de propriedades edáficas em ambiente de tabuleiro costeiro da região norte fluminense (RJ)**. 2001. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

OLIVEIRA, M. C. D.(2002). Disponível em: <[http:// www.cestesb.gov.br](http://www.cestesb.gov.br)>, acesso em: set., 2008.

OLIVEIRA, T. K. de; CARVALHO, G. J. de; MORAES, R. N. de S.;MAGALHÃES JÚNIOR, P. R. Características agronômicas e produção de fitomassa de milho verde em monocultivo e consorciado com leguminosas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.1, p.223-227,jan./fev. 2003.

PARROTA, J. A. The role of plantations forestin rehabilitation degraded tropical ecossytetemis. **Agriculture Ecosytems and Envionment**, Amsterdam. v.41. p 115-133.1992.

PASSOS, S. R. et al. Atividade enzimática e perfil da comunidade bacteriana em solo submetido à solarização e biofumigação. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.43, n.7, jul. 2008.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the satate of Paraná, Brazil. **Turrialba**, Costa Rica, v.35, p.135-139,1985.

PEREIRA, A.R.; **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle da erosão**. 2009. 88p. Disponível em: <<http:///biologybrasil.blogspot.com>>

PERIN, A.; BERNARDO, J. T.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B. de Desempenho agronômico de milho consorciado com feijão-de-porco em duas épocas de cultivo no sistema orgânico de produção. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.31, n.3, p.903-908, maio/jun., 2007

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Efeito residual da adubação verde no rendimento de brócolis (*Brassica oleraceae* L. var. *italica*) cultivado em sucessão ao milho (*Zea mays* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n.6, p.1739-1745, nov./dez. 2004.

RAIJ, B. V. A capacidade de troca de cátions das frações orgânicas e minerais dos solos. **Bragantia**, Campinas, v.28, n.8, P.85-112, 1969.

RAIJ, B. V.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. ; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos tabuleiros costeiros**: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 117 p. (Série estudos agrícolas, 1).

- RIBEIRO, L. P. **Os Latossolos amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação.** Salvador: Seplantec – CADCT, 1998. 99p.
- SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; BUOL, S.W. Fertility capability soil classification: tool to help assess soil quality in the tropics. **Geoderma**. v.114, n.3/4, p.157-185, 2003.
- SCHOENHOLTZ, S.H., MIEGROET, H., BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v.138, p. 335-356, 2000
- SILVA, I.F. ; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.20 p.113-117, 1997.
- SILVA, M.; SIQUEIRA, E. R. ; COSTA, J. L. da S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbológica de um solo submetido a reflorestamento. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, oct. 2004.
- SKÓRA NETO, F. Controle de plantas daninhas através de coberturas verdes consorciadas com milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.10, p. 1165- 1171, out. 1993.
- SOBRAL, L. F.; PEREIRA, M. I.; RANGEL, J. H. A.; CINTRA, F. L. D. Avaliação crítica da história de uso dos tabuleiros costeiros do nordeste do Brasil. In: ARAÚJO, Q. R. A. (Org.) **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p.447-462.
- SOUZA, A. L. V. **Avaliação da qualidade de um latossolo amarelo coeso argiloso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural.** 2005. 95f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.
- SOUZA, L. S.; BORGES, A. L.; CINTRA, F. L. D.; SOUZA, L. D.; MELLO IVO, W. M.P. Perspectivas de uso dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: ARAÚJO, Q. R. A.(Org.) **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002a. p. 521 – 580.
- SOUZA, L. S.; PAIVA A. Q.; SOUZA, L. D.; COGO, N. P. Água no solo influencia pela posição na paisagem, em uma toposeqüência de solos de tabuleiro do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26, n.4, p.843-855, out./dez.,2002b.
- TAVARES, S. R. L. Áreas degradadas: conceitos e caracterização do problema In: **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação.** Rio de Janeiro: 228 p.
- TAVARES, S. R. L. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de**

monitoramento e estratégias de recuperação: dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228 p

WILLEY, R. W. Intercropping: its importance and research needs. Part. 2. Agronomy and research approaches. **Field Crop Abstracts**. Amsterdam, v. 32, n. 2, p.1-10, jan. 1979.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J ; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo Franco-arenoso em cinco sistemas de Culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.28, p;891-900, 2004

CAPÍTULO 1

BIOINDICADORES DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS

BIOINDICADORES DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS

Autor: Ana Paula de Souza Barbosa e Souza

Orientador: Prof. Dr. Aldo Vilar Trindade

Co-Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos

RESUMO: Os parâmetros microbiológicos são eficientes em detectar possíveis alterações ambientais em curto período de tempo, em função de mudanças do uso da terra ou de manejo inadequado. O entendimento do solo como corpo vivo significa que a vida do solo e os seus processos vitais são expressos e regulados pela biota do solo. Essa regulação da biota sobre a decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e degradação de poluentes químicos faz com que os microrganismos e seus processos sejam escolhidos como indicadores da “saúde” e / ou qualidade do solo. A escassez de informações e as dificuldades de se utilizar indicadores microbiológicos, como critério para se definir a qualidade do solo, deve-se ao fato da não inclusão de testes microbiológicos em análises de solo de rotina e à falta de padronização de métodos microbiológicos desde a amostragem, a estocagem e o pré-tratamento das amostras, até os procedimentos analíticos e apresentação de resultados, a fim de se obter confiabilidade e consistência, dos métodos de determinação e da interpretação dos atributos usados, na representação das funções do solo. A utilização de consórcios de gramíneas e leguminosas, sob o sistema de plantio direto, através de análise estatística descritiva e multivariada, objetivou-se verificar quais dos indicadores utilizados contribuiriam para a caracterização do efeito residual da degradação do solo durante o processo de recuperação. Concluiu-se que as variáveis que melhor contribuíram em demonstrar o efeito residual da degradação no processo de recuperação foram: C-CO₂, BM, α CO₂, α MIC e Fosfatase Ácida. Os indicadores microbiológicos de maior contribuição foram eficientes em diferenciar grupos dos fatores de características similares. A comunidade microbiana foi influenciada pelas práticas adotadas mostrando-se eficiente em identificar e/ou demonstrar os efeitos do manejo.

Palavras-chave: Indicadores microbiológicos, qualidade do solo

BIOINDICATORS OF SOIL RECLAMATION

Author: Ana Paula de Souza Barbosa e Souza

Adviser: Aldo Vilar Trindade

Co-Adviser: Jorge Antonio Gonzaga Santos

ABSTRACT: The microbiological parameters are effective in detecting possible environmental changes in a short period of time, due to changes in land use or handling. The understanding of soil as a living body means that the soil life and their life processes are expressed and regulated by soil biota. This regulation of biota on the decomposition of organic waste, nutrient cycling and degradation of chemical pollutants causes the organisms and their processes are chosen as indicators of "health" and / or soil quality. The scarcity of information and the difficulties of using microbiological indicators, as a criterion for defining soil quality, due to the fact that the inclusion of microbiological testing in routine soil analysis and the lack of standardization of microbiological methods since the sampling, storage and pretreatment of samples to the analytical and presentation of results in order to achieve reliability and consistency of measurement methods and the interpretation of attributes used in the representation of soil functions. The use of fellow members of grasses and legumes under no-tillage system, through descriptive and multivariate statistical analysis aimed to check which of the indicators would help to characterize the residual effect of soil degradation during the recovery process. It was concluded that the variables that best contributed to demonstrate the residual effect of degradation in the recovery process were: C-CO₂, BM, qCO₂, qMIC and Acid Phosphatase. The greatest contribution of microbiological indicators were effective in differentiating groups of factors with similar characteristics. The microbial community was influenced by the practices adopted proved to be effective in identifying and / or demonstrate the effects of management.

Keywords: Microbiological indicators, soil quality

INTRODUÇÃO

O solo é um ambiente heterogêneo, no qual atributos químicos, físicos e biológicos interagem de modo que um não pode ser alterado sem modificar os demais. Com isso, faz-se necessário ter em mente que a propriedade agrícola não se constitui apenas de um tipo de solo, relevo ou biota, tornando necessário um planejamento conservacionista, com influência direta nos microrganismos do solo e seus processos.

É crescente o interesse da comunidade científica em avaliar os efeitos de práticas de manejo sobre a qualidade do solo, que está diretamente relacionada com a sustentabilidade das funções nos agroecossistemas.

Essa abordagem leva em consideração não apenas o papel do solo na produção agrícola, mas também a sua participação em funções específicas no ecossistema, visando à sua sustentabilidade. A restauração da qualidade do solo, após ocorrência de processos de degradação, relaciona-se diretamente com o restabelecimento dessas funções (KIMPE ; WARKENTIN, 1998, citados por ANDRÉA et al., 2002).

Os solos dos Tabuleiros Costeiros também estão inseridos nessa problemática da degradação do solo, considerando que vêm sofrendo grande pressão de atividades agrícolas nas últimas décadas, em resposta à demanda de maior produtividade no setor agrícola do País. Muitas áreas de vegetação nativa foram devastadas para dar espaço a sistemas agrícolas e, por os solos apresentarem limitações ao aprofundamento de raízes, devido à presença de camada coesa, tem-se como única alternativa ao abrandamento dessa limitação a prática de aração, gradagem e subsolagem, na tentativa de diminuir a expressão das camadas coesas. Porém, em muitas dessas situações a degradação somente é detectada em seus estágios mais avançados, o que muitas vezes inviabiliza a recuperação desses solos.

Na passagem de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados, alguns dos quais, por serem sensíveis a variações no seu uso e manejo, indicam alterações na sua qualidade (DORAN ; PARKIN, 1996). Assim, é

possível obter informações detalhadas sobre alterações de atributos do solo, o que vem sendo abordado, com frequência, em diversos estudos, os quais, entretanto, ainda são recentes a respeito de atributos microbiológicos.

Os atributos microbiológicos e os bioindicadores são mais eficientes em detectar possíveis alterações ambientais em curto período de tempo, comparados com atributos químicos e físicos, em função de mudanças do uso da terra ou de manejo inadequado (MENDES ; REIS JÚNIOR, 2004). O entendimento do solo como corpo vivo significa que a vida do solo e os seus processos vitais são expressos e regulados pela biota do solo. Essa regulação da biota sobre a decomposição dos resíduos orgânicos, a ciclagem de nutrientes, a degradação de poluentes químicos e sua forte influência sobre a estrutura do solo fazem com que microrganismos e seus processos sejam escolhidos como indicadores da “saúde” e/ou qualidade do solo (JENKINSON ; LADD, 1981; KENNEDY, 1998; LYNCH, 1986, citados por CARVALHO, 2005).

Segundo Tótola e Chaer (2002), as dificuldades na interpretação dos indicadores biológicos de qualidade devem-se à escassez de informações e às dificuldades de se utilizar indicadores microbiológicos como critério para se definir a qualidade dos solos; ao fato de os testes microbiológicos não serem incluídos em análises de solo de rotina e à falta de padronização de métodos microbiológicos desde a amostragem, estocagem e pré-tratamento das amostras até os procedimentos analíticos e apresentação de resultados. A avaliação da qualidade de um solo, para ter confiabilidade e consistência, exige métodos sistemáticos de determinação e interpretação dos atributos usados como indicadores e que representem eficientemente as funções que um solo pode exercer.

Chaer (2001) cita que, apesar do crescente número de trabalhos envolvendo a análise de indicadores microbiológicos, a base de informações disponível para esses indicadores ainda é pouco consistente para se fazer uma interpretação adequada e para se definir valores ótimos em diferentes situações. Dentre as várias justificativas para o uso de microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade do solo, destacam-se a sua capacidade de responder rapidamente a mudanças no ambiente do solo, derivadas de mudanças no manejo, e ao fato de que a atividade microbiana do solo reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação

da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes (KENNEDY ; PAPENDICK, 1995; STENBERG, 1999).

Assim, atributos biológicos do solo têm sido propostos por diversos autores como mais sensíveis a mudanças quando os solos são submetidos a diferentes tipos de manejo e, portanto, seriam mais adequados como indicadores de qualidade.

1 BIOMASSA MICROBIANA (BM) E QUOCIENTE MICROBIANO (qMIC)

A biomassa microbiana do solo é definida como parte viva da matéria orgânica e, além de armazenadora de nutrientes, pode servir como um indicador rápido das mudanças no solo, revelando a sensibilidade da microbiota a interferências no sistema (GRISI, 1995). BM é um dos componentes que controlam o acúmulo de matéria orgânica ou transformações envolvendo os nutrientes minerais. Representa ainda uma reserva considerável de nutrientes, os quais são continuamente desviados para ciclos de crescimento dos diferentes microrganismos que compõem o ecossistema. Conseqüentemente, solos que mantêm alto conteúdo de BM são capazes não somente de estocar nutrientes, mas também de ciclá-los através do sistema (GREGORICH et al.,1994; STENBERG, 1999; TÓTOLA ; CHAER, 2002). Por sua vez, isso pode ser modificado pelo sistema de manejo adotado, dependendo do grau de revolvimento do solo e da forma como os resíduos das culturas anteriores são depositados (VARGAS ; SCHOLLES, 2000, citados SILVA, 2008).

Isoladamente, a BM pouco reflete alterações na qualidade do solo, entretanto, quando associada aos conteúdos de matéria orgânica, pode ser utilizada como parâmetro para a avaliação da qualidade em diversas formas de manejo.

A relação entre o carbono microbiano (CM) e o carbono orgânico (CO) ((CM/CO) 100), também denominada quociente microbiano (qMIC), fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica. Durante o desenvolvimento do solo, essa relação, inicialmente, é submetida a mudanças rápidas e, com o passar do tempo, converge para um valor de “equilíbrio” (ISAM ; DOMSH, 1988, WARDLE,

1994, citados por TÓTOLA ; CHAER, 2002). Se este valor for conhecido, a determinação dessa relação pode fornecer uma indicação sobre o quanto um solo está próximo ou distante de seu “estado de equilíbrio”. Mudanças no qMIC podem refletir também os acréscimos de matéria orgânica no solo e a eficiência de conversão do CO em frações minerais do solo (SPARLING,1992).

2 ATIVIDADE MICROBIANA (Respiração Basal) E QUOCIENTE METABOLICO (qCO₂)

A taxa de respiração basal do solo consiste na medida da produção de CO₂ resultante da atividade metabólica no solo, de microrganismos e raízes vivas, macrorganismos, como minhocas, nematóides e insetos (PARKIN, *et al.*,1996). A atividade dos organismos no solo é considerada um atributo positivo para a qualidade do solo, sendo sua respiração um indicador sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do carbono orgânico do solo (COS) e de distúrbios no ecossistema (Paul *et al.*, 1999), mas a interpretação de seus valores deve ser realizada com cautela.

A razão entre o CO₂ evoluído e o “pool” de carbono da biomassa fornece o quociente metabólico (qCO₂), que indica o estado metabólico dos microrganismos e pode ser utilizado como indicador de perturbação ou estabilidade do ecossistema (DE-POLLI ; GUERRA, 1997). Por meio dessa abordagem, tem-se demonstrado que a atividade microbiana responde diferenciadamente aos manejos agrícolas adotados em cada agroecossistema (CATTELAN ; VIDOR, 1990; MOREIRA ; SIQUEIRA, 2002). A interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser feita com critério, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis: uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (PARKIN *et al.*,1996 citado por CARVALHO, 2005).

3 HIDRÓLISE DO DIACETATO DE FLUORESCÉINA (FDA) E FOSFATASE ÁCIDA

A hidrólise da FDA é usada como indicador geral da atividade hidrolítica, incluindo proteases, lipases e esterases, que também são capazes de clivar compostos fluorogênicos (TAYLOR *et al.*, 2002). A ação catalítica pode ser considerada uma medida da atividade microbiana total, embora as enzimas envolvidas nessa reação apresentem atividade externa à célula, podendo encontrar-se complexadas com os colóides do solo (SWIISHER ; CARROLL, 1980). Em particular, a atividade enzimática no solo proporciona catálise de inúmeras reações necessárias ao ciclo de vida dos microrganismos, na decomposição de resíduos orgânicos durante o ciclo de nutrientes e na formação da matéria orgânica e estrutura do solo (BURNS, 1978), onde a presença da cobertura vegetal é importante fator na qualidade do solo, pelo fornecimento de fontes de energia necessárias à manutenção da população microbiana no solo (PASCUAL *et al.*,2000).

Este trabalho objetivou avaliar a contribuição de indicadores microbiológicos na caracterização do efeito residual da degradação de um solo durante o processo de recuperação, com a utilização de consórcios de gramíneas com leguminosas sob o sistema de plantio direto.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O trabalho foi realizado de setembro de 2008 a setembro de 2009 em uma área do Centro Nacional de Pesquisa em Mandioca e Fruticultura Tropical, localizado no Município de Cruz das Almas, Bahia, em latitude 12°48'S, longitude 39°06'W e altitude de 225 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw a Am), com médias anuais de precipitação de 1.200 mm, temperatura de 24°C e umidade relativa em torno de 80%.

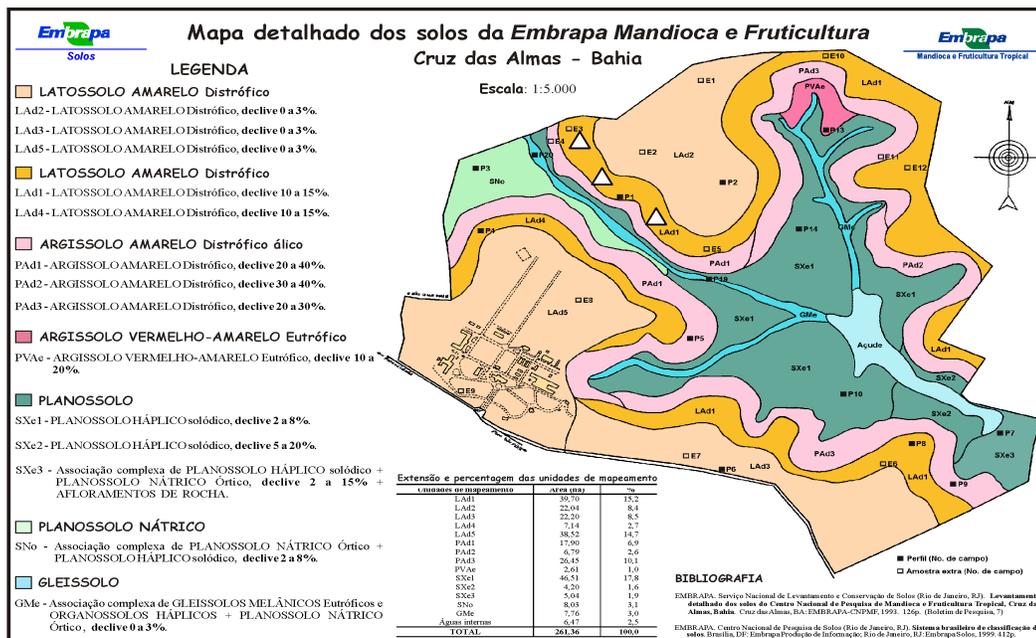
Área-experimental \triangle 

Figura 3: Área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura
 Fonte: Souza & Souza, 2001

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso (Figura 3), com textura argilosa e declive de 10% a 15% (Souza ; Souza ,2001). O estudo foi estabelecido em desenho experimental blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 X 2 com três repetições, conforme croqui (Figura 4). A uma área com cinco níveis de degradação, representados pelos seguintes números de eventos de Aração e Gradagem (A/G), nível 0 (sem A/G, controle); nível 1(2A/ 2G;); nível 2 (4A/4G); nível 3 (6A/6G) e o nível 4 (8A/8G). Dois sistemas de manejo de cobertura vegetal, cultivo consorciado de milho com feijão-de-porco (*Canavalia eusiformis*) e amendoim forrageiro (*Arachis pintoii*), em sistema de plantio direto e área deixada em pousio foram utilizados para avaliar o potencial de recuperação do solo com diferentes distúrbios, (Figura 5).

O efeito da cobertura vegetal foi avaliado em dois cultivos. No primeiro cultivo, o consorcio milho e adubo verde foi semeado simultaneamente em setembro, e colhidos em dezembro de 2008, e o segundo cultivo foi plantado em maio e colhido em agosto de 2009. Cerca de dois meses após o final de cada cultivo, o solo foi amostrado para avaliação de atributos microbiológicos. Antes do

segundo cultivo aplicou-se metade da necessidade de calcário na área experimental.

As unidades experimentais foram constituídas de parcelas com dimensões de 20 x 10m e espaçadas entre si em 5 metros, longitudinalmente, e 3 metros, perpendicularmente.

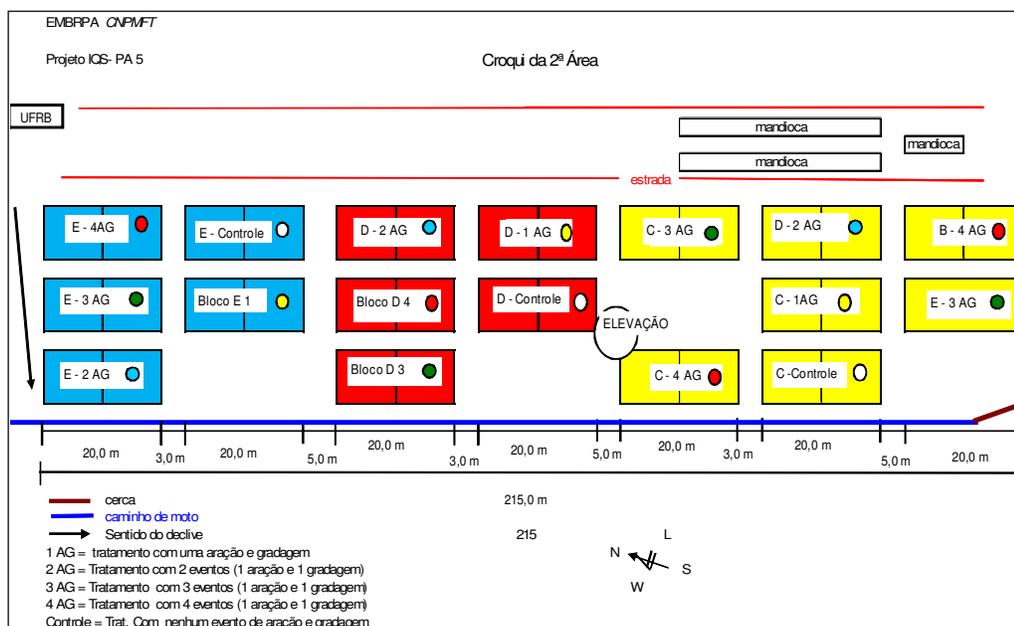


Figura 4: Croqui da área amostrada
Fonte: Fernandes, 2008.

Tabela 1: Aplicação dos ciclos de aração e gradagem (A/G) para a formação do GRIND

Ciclo	Evento	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0 (contr.)
1	1	A/G	-	-	-	-
1	2	A/G	A/G	-	-	-
1	3	A/G	A/G	A/G	-	-
1	4	A/G	A/G	A/G	A/G	-
n*	1	A/G	-	-	-	-
n	2	A/G	A/G	-	-	-
n	3	A/G	A/G	A/G	-	-
n	4	A/G	A/G	A/G	A/G	-

n" representa o número total de ciclos de A/G necessários à formação do GRIND.

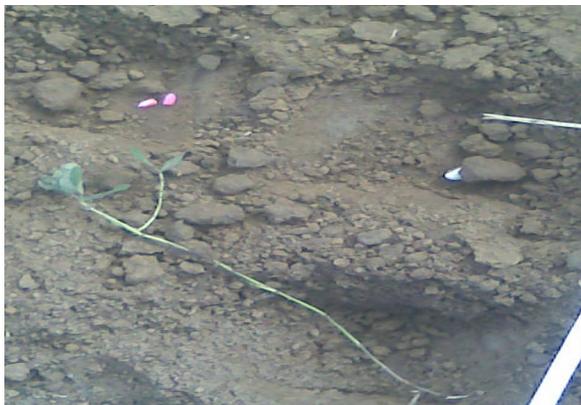


Figura 5: Plantio das sementes do consórcio
Fonte: Autora, 2008

AVALIAÇÕES MICROBIOLÓGICAS

As amostras de solo coletadas após os cultivos foram seca ao e passado em peneira de 4 mm e armazenado a 4°C até a análise dos atributos descritos abaixo. As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Solo e Resíduos Orgânicos localizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura.

4.2 ATIVIDADE MICROBIANA

A atividade respiratória do solo foi avaliada e quantificada pela evolução de CO₂, (pelo método de Alef e Nannipieri, 1995 adaptado do método de Isermeyer, 1952). Foram pesadas 03 subamostras de Vinte cinco g de cada amostra de solo pesadas em *bequeres*, foram colocadas no fundo de potes plásticos de 01 L hermeticamente fechados contendo mL de NaOH (0,05 M) e incubados por três dias à temperatura ambiente, contando com três controles (NaOH, 0,05 M sem o solo). Ao final da incubação, os potes foram abertos e a superfície externa dos *beckers* lavada com água livre de CO₂. Adicionou-se 05 mL de solução de cloreto de bário (0,5 M) e 03 gotas do indicador de fenolftaleína a cada pote. Titulou-se o NaOH remanescente da solução com HCl (0,05M).

4.3 CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA

A determinação do carbono da biomassa microbiana foi realizada pelo método de fumigação-extração (BROOKES *et al.*, 1985). O teor de carbono nos extratos foi determinado com a utilização de permanganato de potássio como oxidante em meio ácido, segundo Bartlett ; Ross (1988). Foram pesados 20g de solo, com quatro repetições para cada amostra (2 fumigadas e 2 não fumigadas); estas foram colocadas em vidros herméticos (500 mL), contendo em seu interior 10 ml de KOH (0,3M); as fumigadas foram colocadas no interior de *bequeres* de 100ml e cobertos com papel alumínio. Todas as amostras foram umedecidas (F, NF e controle) e incubadas por 07 dias; no sexto dia, as amostras F foram fumigadas com 25mL de clorofórmio, em dessecadores com ambientização do clorofórmio usando bomba de vácuo. Para a extração de C, foram adicionados, nas amostras (F e NF) 50 ml de K₂SO₄, aos frascos, e levados em mesa agitadora a uma rotação de 150 rpm por 01 hora. Doil mL do foram extrato filtrado, combinados com 3 ml de água deionizada, 2,5 ml da solução de trabalho (ST) e 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado. A solução resultante foi avaliada por espectrofotometria, comprimento de ondas de 495 nm após duas horas de descanso da solução.

4.4 QUOCIENTES METABÓLICO (qCO₂) E MICROBIANO (qMIC)

A partir dos valores do CBM e do conteúdo de carbono orgânico total, foi determinado o quociente microbiano (qMIC), calculado pela relação entre CBM e carbono orgânico. A transformação dos valores de carbono orgânico para matéria orgânica foi feita pela relação $MO = 1.724 \times CO$ (ALVAREZ , *et al.*, 1999). Também foi determinado o quociente metabólico (qCO₂) calculado pela razão entre a atividade microbiana e o CBM.

4.5 FOSFATASE ÁCIDA

A atividade potencial da fosfatase ácida foi determinada pelo método de incubação do solo em tampão universal modificado (MUB, pH 6,5), contendo o substrato *p*-nitrofenil fosfato (Eivazi & Tabatabai, 1977), em que se pesou 1 g de

solo (<2 mm) em Erlenmeyer de 50 ml. Para cada amostra, pesou-se 3 frascos (2 repetições e 1 branco). Adicionando-se 4 ml de MUB pH 6,5 e 1 ml de PNP (substrato) apenas nos frascos com as duas repetições, agitou-se por alguns segundos para misturar o conteúdo, em seguida, nos frascos brancos. Todos os frascos foram tampados com rolha de plástico, tendo sido incubados a 37°C por 1 h. Após incubação, adicionou-se 1 ml de CaCl₂ (0,5 M) e 4 ml de NaOH (0,5 M) em todos os frascos, incluindo as repetições e os brancos, mais 1 ml da solução de PNP (substrato) aos frascos brancos, apenas. Agitando-se para homogeneizar o conteúdo e filtrando-se em papel Whatman 2, com a formação de cristais na superfície dos filtrados, os mesmos foram centrifugados por cerca de 5 minutos para decantar estes cristais antes da análise espectrofotométrica, de leitura em absorvância a 410 nm.

4.6 HIDRÓLISE DO DIACETATO DE FLUORESCÉINA (FDA)

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), medida da atividade geral de enzimas do solo, foi determinada pelo método de Schruner & Rosswall (1982). Pesou-se em erlenmeyers de 50ml 1g de amostra úmida de solo, em triplicata, sendo um branco e duas repetições. Adicionaram-se 20 ml de tampão fosfato de sódio 60 mM, pH 7,6. Levou-se para a mesa agitadora por 15 min a 100 rpm. Apenas nas repetições, adicionaram-se 100µl-diacetilfluoresceína 2,4 M e agitou-se por duas horas a 120 rpm. Filtraram-se e pipetaram-se 2 ml para tubos falcon, adicionando-se imediatamente 2 ml de acetona para bloquear a reação. Levou-se para a centrífuga por 10 minutos e, em seguida, fez-se a leitura da absorvância em 490 nm.

4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados dos atributos microbiológicos obtidos foram submetidos a análises estatísticas descritivas no SAS, sendo também realizada a análise de variância pelo modelo a seguir, que representa um fatorial em blocos casualizados:

$$y_{ijk} = m + b_j + a_i + b_k + ab_{ik} + e_{ijk}$$

y_{ijk} : valor observado na parcela que recebeu o nível i do fator a , o nível k do fator b , no bloco j ;

m : média geral;

b_j : efeito do bloco j ;

a_i : efeito do nível i do fator a ;

b_k : efeito do nível k do fator b ;

ab_{ik} : efeito da interação entre os níveis i do fator a e do nível k do fator b ;

e_{ij} : efeito do erro experimental associado a parcela que recebeu o nível i do fator a , o nível k do fator b , no bloco j ;

As médias das variáveis foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de significância. Estes resultados serviram para verificar quais tratamentos tiveram interações e quais deles foram significativos estatisticamente, demonstrando, assim, a contribuição de cada um em mostrar o efeito residual da degradação e a recuperação do mesmo.

Os tratamentos foram agrupados em dendogramas de similaridade por meio do programa estatístico Statistic 6 e a análise dos componentes principais foi realizada no programa The Unscrambler.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Este trabalho vem corroborar outros estudos relacionados ao uso de atributos microbiológicos na avaliação da degradação do solo gerada sob condições experimentais, vem avaliar a sensibilidade de variáveis biológicas e bioquímicas do solo, após a indução da recuperação.

A tabela 2 apresenta o teste de média dos atributos microbiológicos em função dos tratamentos, tipo de vegetação e época de coleta das amostras. A atividade microbiana tendeu a uma redução com o uso da aração e gradagem, indicando que os implementos geraram, ao longo do tempo, um novo equilíbrio na microbiota. Eventos de degradação semelhantes causam aumento imediato na evolução de CO_2 pela maior exposição da matéria orgânica à degradação mas no presente caso o tempo percorrido entre o último evento e a coleta de amostras (2

meses) parece ter sido suficiente para provocar um outro tipo de alteração, que pode ter base numa possível menor diversidade microbiana ou em um menor teor de matéria orgânica.

Entretanto, como a decomposição da matéria orgânica estável é desfavorável para muitos processos químicos e físicos (como a desagregação, liberação de nutrientes para as plantas e em longo prazo liberação de carbono orgânico do solo para atmosfera), uma alta atividade respiratória pode resultar da rápida oxidação de um pequeno “pool”, decorrente da quebra de agregados do solo promovida pela aração. Desse modo, altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico, como a incorporação de resíduos, ou um alto nível de produtividade no ecossistema (PAKIN et al;1996; ISLAM ; WEIL, 2000 citados por TÓTOLA ; CHAER, 2002).

A biomassa microbiana não apresentou valores contrastantes entre os tratamentos, mas como ainda é uma análise sujeita a muitas variações metodológicas, o coeficiente de variação foi elevado, não correspondendo em mudanças significativas. Com isto, o quociente metabólico seguiu basicamente as variações que ocorreram na atividade microbiana.

O revolvimento sistemático do solo contribuiu para provocar perturbações promotoras de estresse na população microbiana e, uma vez que as adições de carbono são menores, os microrganismos terminam por consumir o carbono orgânico existente no solo, causando a sua redução. Nesse sentido, maiores valores de qCO_2 indicam que a comunidade microbiana consome o carbono orgânico oxidável para sua manutenção (ANDERSON ; DOMSCH, 1993).

A relação do carbono da biomassa (C_{mic}) com o carbono orgânico (CO) do solo reflete processos relacionados a transcrição da matéria orgânica, ou seja a conversão do carbono orgânico em microbiano, assim a reduções do $qMIC$ decorrentes da degradação, seguiram a mesma tendência apresentada pelos resultados de carbono da biomassa microbiana. Sparling (1992), diz que a relação entre C_{mic}/CO é influenciada por diversos fatores, entre eles o grau de estabilização do carbono orgânico e o histórico de manejo, alertando para determinação da estabilização dessa razão.

Na comparação entre pousio e o consórcio implementado houve diferença apenas para o quociente metabólico, que foi maior no primeiro caso, indicando um maior nível de estresse da população microbiana.

Quando se considera o fator tempo (ou ciclo de plantio), observou-se maior atividade microbiana quando foi feito um segundo cultivo das plantas, o que pode ser reflexo de uma maior deposição de material orgânico na forma de parte aérea e raízes.

Tabela 2: Características microbiológicas do solo em resposta a tratamentos de intensidade de aração e gradagem

Indicadores	nº de eventos de A/G					Manejo		Ciclo	
	0	1	2	3	4	Consórcio	Pousio	1º Set	2º Mai
CO ₂ (µgCO ₂ .gSS)	93,483 a	87,768 ab	80,818 b	84,368 ab	84,062 a	87,098 a	85,102 a	76,524 b	96,676 a
qCO ₂ (µgCO ₂ .µgBM)	0,229 ab	0,148 b	0,124 b	0,205 ab	0,341 a	0,158 b	0,251 a	0,149 b	0,270 a
BMC(µg.g ⁻¹)	970,29 a	1040,59 a	1131,4 a	930,1 a	584,6 a	1001 a	934,8 a	1016,8 a	918 a
qMIC(%)	1,294 a	1,348 a	1,340 a	1,294 a	0,805 a	1,372 a	1,276 a	1,366 a	1,283 a
FDA (µg FDA. gSS-1.mLTP-1)	7,027 a	6,692 a	6,754 a	6,722 a	6,366 a	6,837 a	6,588 a	6,992 a	6,432 a
Fosfatase Ác. (ug pnp g-1 solo h-1)	28,771 a	26,276 a	28,696 a	25,189a	24,756a	27,041 a	27,073 a	25,731 a	27,744 a

* Médias seguidas pela mesma letra, na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, em 5% de probabilidade.

Da análise de componentes principais (PCA), obtiveram-se as variáveis que tiveram influência dos tratamentos empregados no solo. Foram elas: Biomassa Microbiana (BM), quociente microbiano (qMIC); que compuseram o primeiro componente principal (PC1), e respiração microbiana (CO₂) e quociente metabólico (qCO₂), que formaram o segundo componente principal (PC2), devido à sua proximidade com os eixos dos componentes (Figura 6) e valores de autovetor superiores a (>10,5) (Tabela 3).

A Biomassa Microbiana (BM) e o quociente microbiano (qMIC) tiveram 39% de sua variância explicada no PC1; respiração microbiana (CO₂) e quociente metabólico (qCO₂), com 21% da variância explicada no PC2, ambos os componentes explicam 60% do total de dados; os demais componentes contribuíram com 17, 15, 7 e 1% da variância total dos dados, por isso, não foram demonstrados no gráfico (Figura 6).

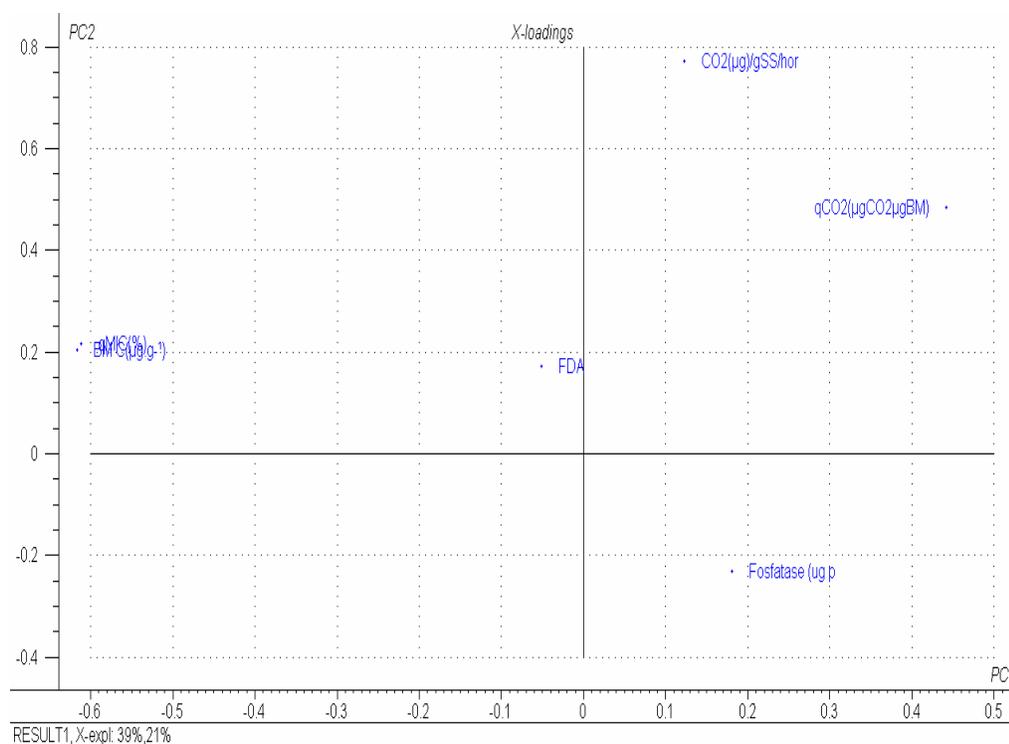


Figura 6: Análise dos componentes principais para os atributos microbiológicos.

Por meio da interpretação dos autovetores, verificou-se qual o peso de cada variável na composição dos componentes.

Tabela 3: Valores dos autovetores obtidos na análise de componentes principais para os atributos avaliados.

Componentes Principais	CO ₂ (µgCO ₂ .gSS)	qCO ₂ (µgCO ₂ µgBM)	BMC(µg.g ⁻¹)	qMIC(%)	FDA (µg FDA.gSS-1.mLTP-1)	Fosfatase Ác. (ug pnp g-1 solo h-1)
PC1	0,1230	0,4418	-0,6170	-0,6114	-0,0508	0,1808
PC2	0,7712	0,4837	0,2047	0,2155	0,1711	-0,2315
PC3	-0,1233	-0,0353	-0,0220	-0,0618	0,9765	0,1604
PC4	0,2319	-0,0194	0,1455	0,1729	-0,1115	0,9393
PC5	-0,5664	0,7544	0,2297	0,2244	-0,0370	0,0741
PC6	0,0165	0,0033	0,7093	-0,7041	-0,0284	0,0123

*Valores em negrito indicam aqueles que foram utilizados na interpretação dos componentes principais (>10,5).

5.2 AGRUPAMENTO DAS PRÁTICAS DE MANEJO ADOTADAS E DOS NÍVEIS DE DISTÚRBIO

O agrupamento dos níveis de distúrbio com as práticas de manejo adotadas auxiliou na interpretação dos resultados, mostrando que houve uma maior influência do consórcio nas áreas onde não ocorreram distúrbios e nas áreas com nível 2 de distúrbio, dentro do primeiro ciclo. Nas áreas com nível 6 de distúrbio, houve maior influência do pousio, dentro do segundo ciclo de plantio. Para as áreas de maior distúrbio, evidenciou-se destaque para os atributos microbiológicos, mostrando forte ação destas nas áreas mais perturbadas, o que indica que estas áreas encontravam-se sob intenso processo de degradação e que as práticas de manejo contribuíram muito pouco para amenizar os impactos causados pela intensidade/frequência dos distúrbios. O dendograma de similaridade das áreas de estudo foi construído com base nos atributos microbiológicos apresentados acima; estes dividiram os tratamentos em 3 grandes grupos: um influenciado pela técnica de consórcio, outro pela de pousio e a terceira, uma área de menor influência.

Portanto, pode-se afirmar que a prática de manejo adotada influenciou diretamente na condição microbiológica e na funcionalidade dos solos em recuperação; isso ficou evidenciado pela discrepância existente entre os atributos microbiológicos nas áreas onde as práticas de manejo tiveram forte influência.

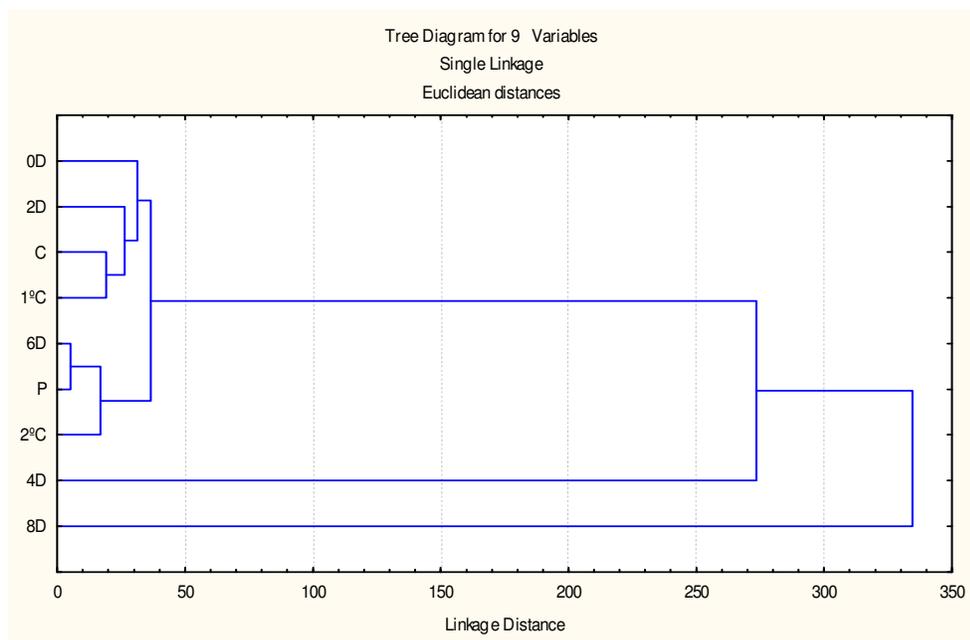


Figura 7: Dendrograma de similaridade dos tratamentos

Silveira (2006), ao avaliar atributos microbiológicos e bioquímicos como atividade microbiana, o carbono da biomassa, solubilizadores de fosfato, fungos e bactérias, em solos de áreas degradadas em recuperação percebeu que ao promover relações com a qualidade do solo observada em campo e atributos microbiológicos concluiu que, a degradação das áreas promoveu um impacto negativo na microbiota; isso fez reduzir o número de grupos de microorganismos estudados. E que a recuperação observada visualmente não teve relação com a observada por meio dos atributos microbiológicos; além do fato da recuperação dessas áreas ter sido fortemente influenciada pelos atributos microbiológicos. Sendo estes considerados bons indicadores de recuperação de áreas.

Considerando que os resultados deste estudo foram semelhantes ao encontrado no trabalho de Silveira (2006), pode-se concluir que os indicadores microbiológicos são eficientes em prever, sim, o efeito residual da degradação na recuperação dos solos, pois um importante resultado encontrado por aquele autor foi de que houve uma drástica redução da comunidade microbiana e que a recuperação evidente nas áreas não teve relação com a observada nos atributos. Assim, pode-se dizer que isso caracterizaria um efeito residual da degradação nestes solos.

Em outro estudo semelhante, Chaer (2009) afirmou que, em gradientes induzidos de degradação, indicadores microbiológicos, apesar de serem

altamente sensíveis àquele processo, não têm uma tendência generalizada à sensibilidade de resposta à degradação. Dessa forma os dados desse trabalho, no que diz respeito a não diferenciação significativa das atividades enzimáticas avaliadas, concordam com as afirmações do autor acima.

CONCLUSÕES

- As variáveis que melhor contribuíram em demonstrar o efeito residual da degradação no processo de recuperação foram: C-CO₂, BM , QCO₂, QMIC e Fosfatase Ácida.
- Os indicadores microbiológicos de maior contribuição foram eficientes em diferenciar grupos dos fatores de características similares.
- A comunidade microbiana foi influenciada pelas praticas adotadas mostrando-se eficiente em identificar e/ou demonstrar os efeitos do manejo.

REFERENCIAS

ALEF, K. ; NANUPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Londres: Academic Press,1995. 576p.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. de BARROS, N. F. de ; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. L. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C. GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª.Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.

ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C. GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais-5.ª** Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p25-32.

BARTLETT, R.J. ; ROSS, D.N. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n.52, p.1191-1192, 1988.

BROOKES, P.C. The use microbial parameters in soil pollution by heavy metals. **Biol. Fert. Soils**, n.19, p.269-279, 1995.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S.. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, n.17,p. 837-842. 1985.

BURNS, R. G. **Soil enzymes**. New Yorks: Academic Press, 1978. 378p.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronosseqüências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, abr. 2008.

CARNEIRO, R. G. et al. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.39, n.7, jul. 2004.

CARVALHO, F. de. **Atributos bioquímicos como indicadores de qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifoli* (Bert.) O.Ktze. no Estado de São Paulo**. 2005. 79f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, 2005.

CARVALHO, L. L. de. **Diagnostico da qualidade do solo em dois sistemas tradicionais de uso e manejo: citros e mandioca**. 2008. 67f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2008.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.133-142,1990.

CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. 90f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CHAER, G.M.; FERNADES, M.F. Sensibilidade de propriedades físicas, químicas e biológicas a um gradiente induzido de degradação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009. Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia prepectivas e desafios**. Fortaleza: SBCS, 2009. 1 CD-ROM

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na Região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.913-923, 2002.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa de solo**: método de fumigação-extração. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 10 p.(Embrapa-CNPAB. Documentos, 37).

DORAN, J.W. ; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. **Appl. Soil Ecol.**, n.15, p.3-11, 2000.

DORAN, J.W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.88, p.119-127, 2002.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. In: DORAN, J.W. ; JONES, A.J. (Eds) **Methods for assessing soil quality**. Madison; Soil Science Society of America, 1996. p.25-37. (Special Publication, 39).

EIVAZI, F.; TABATABAI, M.A. Phosphatases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.9, p167-172, 1977.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D.A.C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Montreal, v.74, p.367-385. 1994.

GRISI, B. M. Biomassa e atividade de microrganismos do solo: revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, João Pessoa, v.10, n1, p.1-22, 1995.

INSAM, H.; DOMSH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v.15, p.117-188, 1988.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. **Soil Biology and biochemistry**, v.5/6, p.415-471, 1981.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BZEDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 53–72 (Special Publication, 35).

KENNEDY, A. C. ; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. **J. Soil Water Conserv.**, n.50, p.243-248,1995.

KENNEDY, A.C. Microbial Diversity in Agroecosystem Quality. In: COLLINS, W.W.; QUALSET, C. O. **Biodiversity in agroecosystems**, New York: CRC, 1998. Cap.1, p.1-17.

KIMPE, C.R. ; WARKENTIN, B.P. Soil functions and the future of natural resources. In.: BLUME, H.P.; EGER, H.; FLEISHHAUER, E.; HEBEL, A.; REIJ, C. ; STEINER, K.G., (Eds.). Towards sustainable land use – Furthering cooperation between people and institutions. **Advances Geocol.**, n.31, p.3-10, 1998.

LYNCH, J. M. **Biotechnologia do solo**: fatores agrobiológicos na produtividade agrícola. São Paulo: Manole, 1986.209p.

MENDES, I. C. et al . Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, jun. 2003.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002 .625 p.

PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; MORENO, J. I. ; ROSS, M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. **Soil Biol.Biochem.** n.32 p.1877-1883, 2000.

PAUL, E. A.; HARRIS, D.; COLLINS, H. P.; SCHULTHESS, U.; ROBERTSON, G. P. Evolution of CO₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. **Appl.Soil Ecol.**,n.11, p.53-65,1999.

SCHUNER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied and Environmental Microbiology**. Washington, n.43, p.1256-1261, 1982.

SILVA. L. G. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade dos solos de cerrado sob diferentes agroecossistemas**. 2008. 117f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2008.

SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, v.12, n.1, p.48-55, 2006

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D. **Caracterização físico-hídrica de solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical**. Cruz das Almas: 2001.(Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)

SOUZA, L. S.; SOUZA, L.D. ; SOUZA, L.F. da S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de Tabuleiros Costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Palestras...** Ribeirão Preto, SP: Agromídia, 2003. 1 CD-ROM.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Aust. J. Soil Res.**, 30:195-207, 1992.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, n.49, p.1-24, 1999.

SWISHER, R.; CARROLL, C.G. Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surface. **Microbial Ecology**, v.6, p.217-226, 1980.

TABATABAI, A. Soil enzymes. In: WAYER, R. W.; ANGLE, J.S. ; BOTTOMLEY, P.S. (Eds). **Methods of soil analyses. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties**, second ed. Madison, USA: Soil Science Society of America, p.775-833, 1994.

TABATABAI, M.A. ; BREMNER, J.M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.34, p.225-229, 1970.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. **Agron. J.**, v.64, p.40-44, 1972.

TABATABAI, M.A. Sulfur. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. ; KEENEY, D.R., (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, p.501-538, 1982.

TAYLOR, J. P.; WILSON, M,; MILLS, S.; BURNS, R. G. Comparasion of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.34, p.387-401, 2002.

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

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIROS, C.; GIL-SOTRES, F. ; SEOANE, S. Towards abiochemical quality index for soils: An expression relating several biological and biochemical properties. **Biology and Fertility of Soils**, n.26, p.100-106, 1998.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de CO₂ e N mineral de Podzólico Vermelho- Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.24, n.1, p.35-42, 2000.

WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M. ; ARAUJO, R. S., (Eds). **Manual de métodos empregados em estudos** de microbiologia agrícola. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. p.419-436.

CAPÍTULO 2

ÍNDICE DE QUALIDADE EM SOLO SUBMETIDO A PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

ÍNDICE DE QUALIDADE EM SOLO SUBMETIDO A PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

Autora: Ana Paula de Souza Barbosa e Souza

Orientador: Prof. Dr. Aldo Vilar Trindade

Co-Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos

RESUMO: Manejo de solos engloba não só as práticas agrícolas realizadas diretamente aos solos, o uso de máquinas, de fertilizantes, sistemas de irrigação, curvas de níveis, terraços e etc., mas também tratos culturais à vegetação implantada e práticas de conservação dos solos. O mau emprego destas conduz a atividades degradantes dos recursos naturais, iniciando um processo de reação em cadeia, onde a qualidade da água, do ar e a biodiversidade ficam comprometidas. Com isso, tem-se na agropecuária a grande vilã dos processos de degradação. Com base na definição das funções e dos atributos da qualidade do solo, vários autores têm sugerido alternativas para avaliação global de um conjunto de indicadores de qualidade, que incluem estratégias distintas. Este trabalho objetivou determinar um índice global de qualidade do solo verificando se há diferenciação entre os fatores, a participação dos atributos químicos, físicos e microbiológicos, e eficiência da estratégia monitoramento da qualidade do solo e o efeito residual da degradação. Utilizando para determinação a estatística descritiva e análise multivariada como meio de exclusão de variáveis e o modelo proposto por Karlen & Stott (1994) para obtenção dos índices de qualidade do solo (IQS); Concluindo que o efeito residual da degradação persistiu no solo, mesmo cessadas as perturbações. O índice de qualidade do solo contribuiu em diferenciar o efeito da degradação nos diferentes níveis de distúrbio, bem como o efeito das técnicas de manejo sobre a qualidade do solo, mostrando-se como ferramenta eficiente em estratégias de monitoração da qualidade do solo e do efeito residual da degradação. Os indicadores microbiológicos mostram-se tão eficientes quanto os físicos, em avaliar o efeito. Não foi possível identificar a recuperação do solo no intervalo de tempo destinado à regeneração após cessados os distúrbios, não sendo possível determinar

Palavras-chave: monitoração, atributos do solo, manejo;

QUALITY INDEX IN SOIL SUBMITTED TO RECOVERY PROCESS

Author: Ana Paula de Souza Barbosa e Souza

Adviser: Aldo Vilar Trindade

Co-Adviser: Jorge Antonio Gonzaga Santos

ABSTRACT: Management of soil covers not only the farming practices carried out directly to soils, the use of machinery, fertilizers, irrigation systems, contour lines, terraces and so on. But also the cultural practices and vegetation established soil conservation practices . The misuse of these activities leads to degrading natural resources, starting a chain reaction process, where the quality of water, air and biodiversity are in jeopardy. Thus, it has been in agriculture the great villain of the degradation processes. Based on the definition of the functions and attributes of soil quality, several authors have suggested alternatives to the overall evaluation of a set of quality indicators, which include different strategies. This study aimed to determine an overall index of soil quality by checking for differentiation between the factors, the contribution of the chemical, physical and microbiological efficiency of the strategy and monitoring of soil quality and the residual effect of degradation. Determination using descriptive statistics and multivariate analysis as a means of exclusion of variables and the model proposed by Karlen & Stott (1994) to obtain the soil quality index (SQI), concluding that the residual effect of soil degradation persisted even ceased disturbances. The index of soil quality has helped to differentiate the effect of degradation at different levels of disturbance, as well as the effect of management techniques on soil quality, showing up as an efficient tool in strategies for monitoring soil quality and the effect residual degradation. The microbiological indicators prove to be as effective as physical, to assess its effect. Unable to identify soil recovery in the time interval for the regeneration ceased after the riots, it is not possible to determine.

Keywords: monitoring, soil properties, management.

INTRODUÇÃO

O manejo do solo engloba não só as práticas agrícolas realizadas diretamente no solo, o uso máquinas e fertilizantes, sistemas de irrigação, curvas de níveis, terraços etc. mas também tratos culturais na vegetação implantada e práticas de conservação do solo, como a utilização de plantas de cobertura, adição e incorporação de compostos orgânicos e, essencialmente, o monitoramento na adoção dessas práticas. O mau emprego delas conduz à degradação do solo, recurso natural vital à humanidade, iniciando um processo de reação em cadeia, onde a qualidade da água, do ar e a biodiversidade ficam comprometidas. Com isso, tem-se a agropecuária como grande vilã dos processos de degradação, pois práticas inadequadas de manejo, a exemplo do uso do solo fora de sua aptidão agrícola natural, principalmente em ambiente tropical, resultam em rápida decomposição da matéria orgânica.

Nos solos de Tabuleiros Costeiros, essa preocupação é crescente, pois representam 10 milhões de hectares e cerca de 24% e 32% do PIB para culturas temporárias e perenes somente no Nordeste do País, destacando-se socioeconomicamente. Contudo, apesar de serem considerados solos profundos, Latossolos e Argissolos Amarelos em sua maioria, possuem limitações pela presença de camadas coesas em subsuperfície; devido a isso, a maioria das raízes tem, como empecilho ao seu aprofundamento, o adensamento na camada subsuperficial, o que leva os agricultores a aderirem ao emprego de máquinas agrícolas que amenizem essa condição.

O uso intensivo, entretanto, pode levar o solo a uma condição de degradação caracterizada apenas em seus estágios mais avançados, tornando difícil sua recuperação.

A avaliação da qualidade do solo é mais que um recurso de retórica, usado como propaganda para alardear avanços tecnológicos, ou simplesmente modernizar um discurso de sustentabilidade. Ela se refere à integração de processos no solo e propicia a estimativa das alterações de atributos do solo

frente ao uso da terra, padrões climáticos, seqüências culturais e sistemas de manejo (DORAN ; PARKIN, 1994; REICHERT, 2003).

Levando em consideração a dinâmica temporal da qualidade do solo, esta é considerada um componente crítico à sustentabilidade agrícola (LARSON ; PIERCE, 1994; DORAN, 2002), ou seja, a capacidade de um sistema agrícola produzir elementos e fibras sem comprometer as condições que tornam isso possível (GLIESSMAN, 2000). Assim, a qualidade do solo é a base para o desenvolvimento da agricultura sustentável (WANG ; GONG, 1998; DORAN ; ZEIS, 2000) e, para tanto, a manutenção de sua qualidade dentro dos limites do ecossistema e da interação positiva com os ecossistemas vizinhos ao longo do tempo constitui-se requisito fundamental (MELLO, 2006).

Segundo Tótola e Chaer (2002), o manejo do solo contribui para aumentar ou conservar a sua qualidade, aumentando a produtividade das culturas e ajudando a manter a boa qualidade ambiental. A qualidade do solo tem sido definida como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e de animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana (DORAN ; PARKIN, 1994). Entender e conhecer a qualidade do solo possibilita manejá-lo de maneira que ele funcione de forma ótima no presente e que não seja degradado para uso futuro. Pelo monitoramento das mudanças na qualidade do solo, pode-se determinar se um conjunto de práticas é sustentável, ou não.

Em função desse fundamento conceitual, é preciso fazer avaliações das funções do solo, que são definidas por atributos físicos, químicos e biológicos. Claro que esses atributos não são independentes entre si, porque, por exemplo, o estado biológico do solo depende muito fortemente das condições físicas e químicas prevaletentes. Também não há dúvidas que uma medida sobre a qualidade física do solo poderá contribuir na avaliação global do índice de qualidade do solo, já que a qualidade química e biológica será influenciada, sobremaneira, por atributos físicos (DEXTER, 2004).

O solo tem como função o suporte aos processos da vida, ou seja, prover o suporte físico e os nutrientes às plantas, promover a retenção e o movimento da água, suportar as cadeias alimentares e as funções reguladoras do ambiente, incluindo a ciclagem de nutrientes, a diversidade de macro e microrganismos, a

remediação de poluentes e a imobilização de metais pesados (BEZDIECEK, 1996 citados por TÓTOLA ; CHAER, 2002). De certa forma, a capacidade do solo de desenvolver todas essas funções está direta ou indiretamente ligada, em graus de importância diferenciados, à qualidade apresentada por todos os seus atributos. Por exemplo, as funções do solo de armazenar, de suprir e ciclar nutrientes estão diretamente relacionadas a atributos biológicos, como a ciclagem de nutrientes, a atributos químicos, como a capacidade de troca catiônica, e a atributos físicos, como a proporção de areia, silte e argila (TÓTOLA ; CHAER, 2002).

Com base na definição das funções e dos atributos da qualidade do solo, vários autores têm sugerido alternativas para a avaliação global de um conjunto de indicadores de qualidade, as quais incluem, dentro de estratégias distintas, a utilização de indicadores de qualidade para construção de modelos para determinação de índices de qualidade do solo (IQS), ou por meio de métodos baseados em representações gráficas do desempenho de indicadores ou de funções do solo, que podem ser obtidas com o auxílio de técnicas de “redução” de variáveis, com a análise multivariada de componentes principais.

Uma estratégia comumente sugerida para se avaliar um conjunto de indicadores de qualidade do solo é o cálculo de um índice de qualidade. Tal índice pode ser útil para o monitoramento do estado geral do solo e para a identificação de práticas de manejo mais adequadas, constituindo-se em uma ferramenta para buscar soluções técnicas que atuem diretamente nos atributos que estão pesando negativamente no índice de qualidade. Uma vez bem definido, tal índice pode ser ainda utilizado para o monitoramento da qualidade do solo em programas de recuperação de áreas degradadas, para orientação de legislações e políticas relacionadas à ocupação do solo, além de servir como método de fiscalização/orientação de programas e políticas agrícolas e no estabelecimento de um referencial para valoração da terra (TÓTOLA ; CHAER, 2002).

1 ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO

Resulta da soma dos atributos destinados à avaliação, por meio de modelo matemático que os inclui como atributos quantificados pelos seus respectivos indicadores, fator determinante da qualidade do solo (CHAER, 2001).

Os modelos de índice de qualidade do solo propostos atualmente são similares ao *Índice de produtividade (PI)* citado por Kelting (1999), em que medidas de campo que viriam a integrar diversas variáveis multiplicadas comporiam um índice de produtividade vegetal, onde se assume que as raízes têm uma distribuição ideal, caso não haja restrições ao crescimento em profundidade (KELTING, 1999; CHAER, 2001; SOUZA, 2005). A diferença existente é que alguns modelos incluem, num mesmo grupo, atributos que representam funções do solo para as modalidades a que se destinam. O somatório do efeito desses atributos selecionados determina a qualidade do solo no ambiente em que está inserido, expressando um índice de qualidade para a finalidade a que se destina.

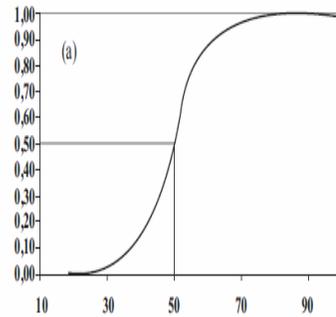
Karlen e Stott (1994) utilizaram uma equação simplificada para integrar os valores dos atributos relacionados às funções do solo, valores estes padronizados em curvas de suficiência propostas por Wymore (1993), com base na seguinte equação de pontuação:

$$Pontuação = \frac{1}{1 + ((B - L)/(x - L))^{2S(B+x-2L)}}$$

Essa função gera uma curva sigmóide, onde x é o valor do indicador em sua unidade de medida original; B é valor do indicador cuja pontuação equivale a 0,5 (ou 50% do valor ótimo para o indicador ou do “limite superior”); S é a declividade ou tangente no ponto de inflexão da curva – quando positiva, determina uma sigmóide com assíntope superior, também denominada curva do tipo “mais é melhor” e vice-versa (KARLEN ; STOTT, 1994) – e L é o valor em que a pontuação do indicador é zero (“limite inferior”). O limite superior da função será, então, definido como a mediana do quartil superior dos valores do determinado indicador disponíveis no banco de dados (o valor B da função constituirá, portanto, a metade desse valor do limite superior).

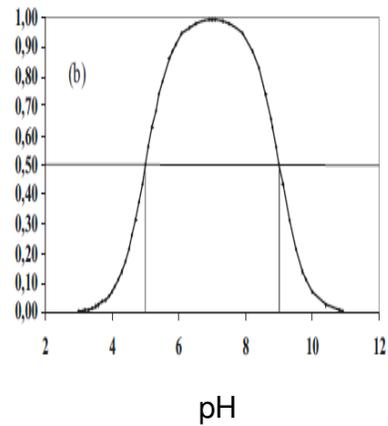
Exemplos de 3 (três) funções do tipo:

a) "Mais é melhor"



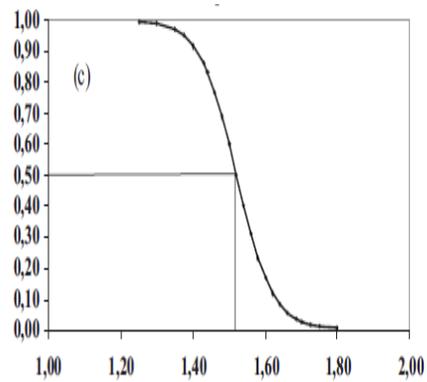
Saturação por bases

b) Valor "ótimo"



pH

c) "Menos é melhor"



Resistência do solo à penetração

Os valores críticos utilizados na equação são baseados em literatura, fundamentados e validados para os solos avaliados, salvo os valores atribuídos a atributos microbiológicos, cujas pesquisas ainda são recentes. Quando os atributos usados apresentam limitações, eles podem transpor seu limite crítico que, na padronização, é sempre equivalente a 0,5, para mais ou menos, o que vai depender do tipo de função no qual se enquadra.

Após a padronização, pesos são atribuídos para cada função, e eles devem ter o somatório igual a 1 (um) e ser atribuídos de acordo com a finalidade do solo, dentro da perspectiva do avaliador, assim como os pesos referentes aos indicadores selecionados dentro de cada função. Os pesos atribuídos a cada função são multiplicados pela pontuação dos indicadores, determinados pelas funções de pontuação padronizadas, que normalizam o valor observado em padrões entre 0 (zero) e 1 (um). Com as padronizações e pontuações determinadas, por meio do somatório dos produtos de pesos numéricos associados a cada indicador tem-se o índice de qualidade do solo. Sem dúvida, é uma ferramenta eficiente para indicar mudanças no solo decorrentes do sistema de manejo e seus efeitos na recuperação dos mesmos.

O objetivo desse trabalho foi determinar um índice global de qualidade do solo verificando se há diferenciação entre os fatores e quais dos atributos químicos, físicos e microbiológicos contribuíram mais, e identificar prática de monitoramento da qualidade do solo e o efeito residual da degradação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O trabalho foi realizado de setembro de 2008 a setembro de 2009 em uma área do Centro Nacional de Pesquisa em Mandioca e Fruticultura Tropical, localizado no Município de Cruz das Almas, Bahia, em latitude 12°48'S, longitude 39°06'W e altitude de 225 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw a Am), com médias anuais de precipitação de 1.200 mm, temperatura de 24°C e umidade relativa em torno de 80%.

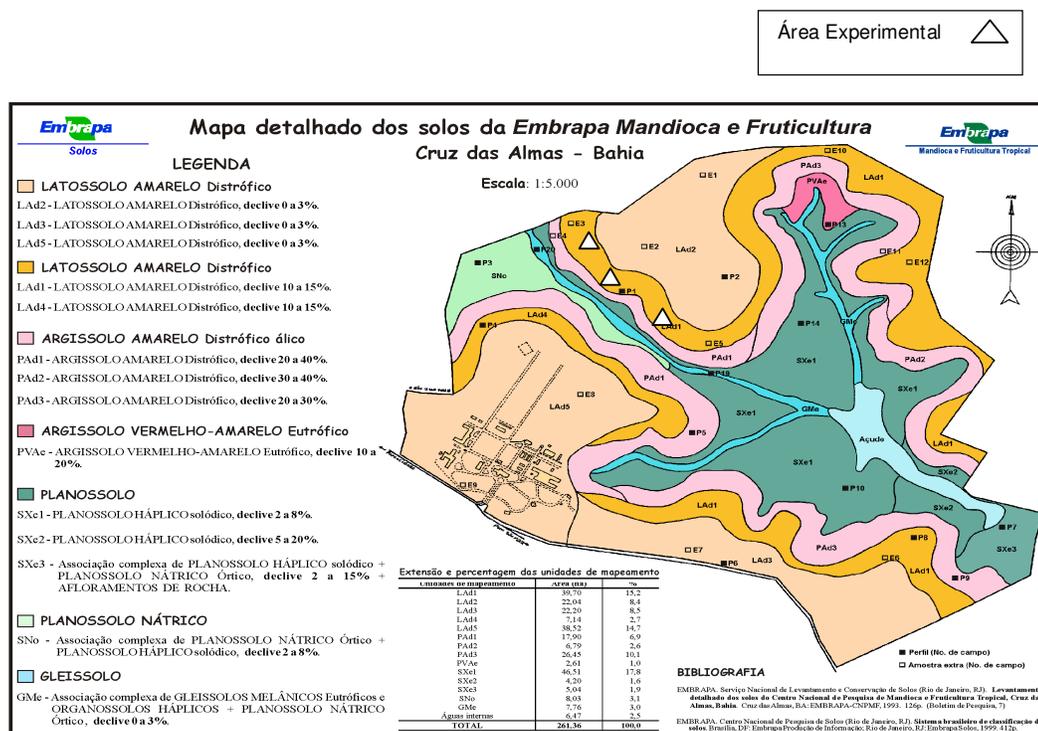


Figura 8: Área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.
 Fonte: Souza & Souza (2001).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (Figura 8), com textura argilosa e declive de 10% a 15% (Souza & Souza, 2001). O estudo foi estabelecido em desenho experimental em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 X 2 com três repetições, conforme croqui (Figura 9). O primeiro fator avaliado correspondia a uma área com cinco níveis de degradação, representados pelos seguintes números de eventos de Aração e Gradagem (A/G): nível 0 (sem A/G, controle); nível 1 (2A/2G); nível 2 (4A/4G); nível 3 (6A/6G) e o nível 4 (8A/8G). O segundo fator correspondia a dois sistemas de manejo de cobertura vegetal, ou seja, cultivo consorciado de milho com feijão-de-porco (*Canavalia eusiformis*) e amendoim forrageiro (*Arachis pinto*), em sistema de plantio direto. Esses sistemas de manejo e mais uma área deixada em pousio foram utilizados para avaliar o potencial de recuperação do solo com diferentes distúrbios (Figura 10).

O efeito da cobertura vegetal foi avaliado em dois cultivos. No primeiro cultivo, o consórcio milho e adubo verde foi semeado simultaneamente em setembro, e colhido em dezembro de 2008, e o segundo cultivo foi plantado em

maio e colhido em agosto de 2009. Cerca de dois meses após o final de cada cultivo, o solo foi amostrado para avaliação de atributos microbiológicos. Antes do segundo cultivo aplicou-se metade da necessidade de calcário na área experimental.

As unidades experimentais foram constituídas de parcelas com dimensões de 20 x 10 metros e espaçadas entre si em 5 metros, longitudinalmente, e 3 metros, perpendicularmente.

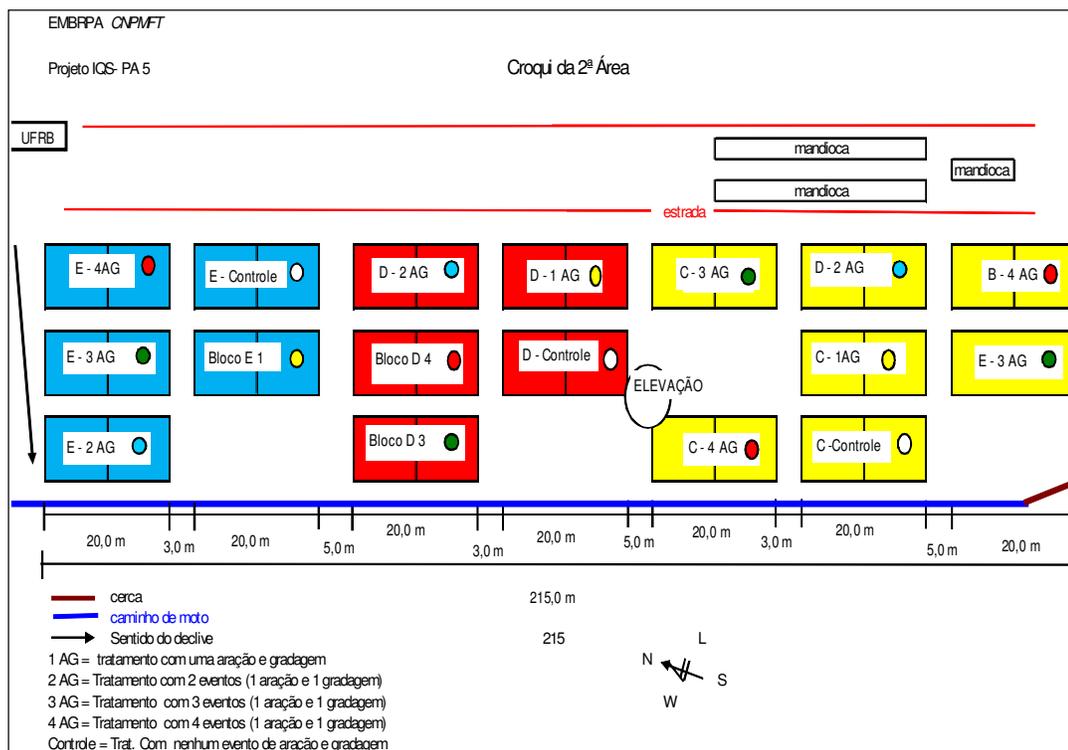


Figura 9 Croqui da área amostrada
Fonte: Fernandes, 2008.

Tabela 4. Aplicação dos ciclos de aração e gradagem (A/G) para a formação do GRIND

Ciclo	Evento	Nível 4. 1	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0 (contr.)
1	1	A/G	-	-	-	-
1	2	A/G	A/G	-	-	-
1	3	A/G	A/G	A/G	-	-
1	4	A/G	A/G	A/G	A/G	-
n*	1	A/G	-	-	-	-
n	2	A/G	A/G	-	-	-
n	3	A/G	A/G	A/G	-	-
n	4	A/G	A/G	A/G	A/G	-

* "n" representa o número total de ciclos de A/G necessários à formação do GRIND



Figura 10: Plantio das sementes do consórcio
Fonte: Autora, 2008.

2.2 ANÁLISES QUÍMICAS

Após cada ciclo de recuperação, cerca de 30 dias depois, foram coletadas amostras compostas de cada subparcela e encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, para processamento e análise. As análises foram realizadas conforme a Embrapa (1997), determinando-se: pH em água; C orgânico; complexo sortivo (Al, Ca, Mg, H, K e Na); P (Mehlich-1) e T pelo método da soma (soma de bases + acidez potencial).

2.3 ANÁLISES FÍSICAS

Com o final de cada ciclo, coletaram-se também duas amostras indeformadas por subparcela para análise de densidade e porosidade do solo, torrões para estabilidade de agregados em água, avaliando-se em campo a velocidade de infiltração básica de água no solo (VIB). A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico. A porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram obtidas pelo método da mesa de tensão, e a estabilidade de agregados foi realizada por via úmida, métodos descritos em Embrapa (1997). A água disponível (AD) foi obtida pela diferença entre os teores de água retidos nas tensões de 6kPa e 1500kPa, sendo a primeira obtida na mesa de tensão e a segunda no aparelho extrator de Richards (EMBRAPA, 1997). A VIB foi determinada pelo método dos anéis concêntricos (REICHARDT, 1990).

2.4 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

A partir dos valores de carbono da biomassa microbiana, obtidos pelo método de Bartlett & Ross (1988), e do conteúdo de carbono orgânico total, foi determinado o quociente microbiano (qMIC), calculado pela relação entre carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico. A transformação dos valores de carbono orgânico para matéria orgânica foi feita pela relação $MO = 1,724 \times CO$ (Alvarez V. et al., 1999). Também foi determinado o quociente metabólico (qCO₂), calculado pela razão entre a atividade microbiana e o carbono da biomassa microbiana.

A atividade potencial da fosfatase ácida foi determinada pelo método de incubação do solo em tampão universal modificado (MUB, pH 6,5), contendo o substrato *p*-nitrofenil fosfato (EIVAZI ; TABATABAI, 1977). A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), medida da atividade geral de enzimas do solo, foi determinada pelo método de Schruner ; Rosswall (1982).

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas dos valores dos atributos químicos, físicos e biológicos dos índices de qualidade para os tratamentos foram realizadas no SAS, onde ocorreu a análise de variância pelo modelo:

$$y_{ijk} = m + b_j + a_i + b_k + ab_{ik} + e_{ijk},$$

em que:

y_{ijk} : valor observado na parcela que recebeu o nível i do fator a , o nível k do fator b , no bloco j ;

m : média geral;

b_j : efeito do bloco j ;

a_i : efeito do nível i do fator a ;

b_k : efeito do nível k do fator b ;

ab_{ik} : efeito da interação entre os níveis i do fator a e do nível k do fator b ;

e_{ijk} : efeito do erro experimental associado à parcela que recebeu o nível i do fator a , o nível k do fator b , no bloco j .

Em seguida, procedeu-se a análise descritiva dos dados, com avaliação do comportamento das propriedades do solo por meio da correlação de Pearson e teste de Tukey a 5% de significância. A análise multivariada de componentes principais foi realizada nos programas estatísticos SPSS e The Unscrambler, pelo qual, por meio de dados padronizados, obtiveram-se os loadings (pesos) que serviram de base para a eliminação de variáveis de menor resposta.

Utilizaram-se dados padronizados (média/desvio-padrão) das seguintes variáveis: pH, P, K, Ca, Mg, Ca+ Mg, Al, Na, H+Al, S, m%, CTC, V, MO, VIB, PT, Mp, mp, Ds, AD, 0,1/PT, K₀, DMP, C-CO₂, qCO₂, BM, qMIC, FDA e Fosfatase Ácida.

2.6 CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE

O modelo utilizado para a determinação de um índice de qualidade do solo (*IQS*) foi o proposto por Karlen & Stott (1994). Como descrito anteriormente, trata-se de um modelo aditivo que usa funções do solo, às quais são atribuídos pesos e integradas na expressão:

$$IQS = \sum qWi (wt),$$

onde *IQS* é o índice de qualidade do solo, *qWi* é o valor calculado para as funções principais que compõem o índice e *wt* é um peso numérico atribuído para cada função na composição do índice geral de qualidade. As funções principais foram escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação e acompanhadas de indicadores físicos, químicos e biológicos relacionados diretamente com sua medida. Os pesos numéricos foram atribuídos às funções de acordo com o grau de importância da mesma para o funcionamento do solo, no desempenho da finalidade para a qual o índice foi calculado.

O somatório dos pesos atribuídos às funções deve ser equivalente a 1 (um); para tanto, esse é o valor do IQS considerado para um solo ideal, sendo que abaixo de 0,5 têm-se como um baixo valor de qualidade de solo, por apresentar limitações ao desenvolvimento da função atribuída.

Após atribuir pesos relativos às funções, identificou-se quais indicadores que influenciariam em cada uma, por meio de análise multivariada, que indicou quais dos atributos avaliados tiveram os melhores resultados; pesos numéricos foram a eles atribuídos, e igualmente somados devem ser equivalentes a 1 (um).

Antes da multiplicação dos indicadores e seu respectivos pesos, os dados foram normalizados por meio da equação de Wymore (1993), que padroniza os dados numa escala que varia de 0 a 1. Essas padronizações geram funções típicas, com assíntopes de curvas com desempenho de acordo com o que se espera dos atributos em solos de qualidade “ideal”.

Os valores dos limites críticos para cada indicador foram determinados de acordo com a literatura: *Indicadores Físicos*: 1) macroporosidade (Mp) – o valor de 10% considerado por Carter (2002) e microporosidade (mp) de 20%, seguem-se as relações de porosidade ideal mencionadas por Kiehl (1979); 2) densidade do solo (Ds) – limite crítico de 1,52 kg dm³, sugerido por Carter (2002); 3) condutividade hidráulica (K_θ) – o valor usado foi de 0,5 cm h⁻¹, citado por Lepsch (1983); e 4) retenção de água – devido às dificuldades em determinar limites críticos, foi feita uma análise da relação de umidade volumétrica a 0,1 kPa/porosidade total conforme Reichardt (1988), assumindo como limite crítico o centro da faixa, ou seja, 0,55. *Indicadores Químicos*: 1) pH em água – adotou-se o limite crítico de 5,0 – igual ou abaixo disso, a acidez é elevada; 2) matéria orgânica (M.O.) – o valor de 15 g.Kg⁻¹ é considerado baixo pela Comissão

Estadual de Fertilidade do Solo (1989); 3) saturação por alumínio (m%) – foi usado o limite de 50%; acima dele, considera-se o caráter álico; e 4) capacidade de troca de cátions (CTC) – adotou-se o limite crítico de $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; abaixo deste a CTC é considerada baixa (LEPSCH, 1983). *Indicadores Microbiológicos*: foram usados os quocientes metabólico e microbiano, atividade enzimática de hidrólise do diacetato de fluoresceína e a fosfatase ácida, com seus limites críticos estabelecidos pelo valor-limite da característica, definido pela maior média dentre os tratamentos, conforme Chaer (2001).

Assim, definidas as funções principais ((1) qualidade física; (2) qualidade química e (3) qualidade microbiológica) e os seus ponderadores, multiplicou-se os indicadores de cada função por seu respectivo ponderador e efetuou-se a soma dos resultados, determinando o índice de qualidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO SOLO

3.1.1 Efeito dos níveis de distúrbio nas propriedades do solo

Considerando que, visualmente, a área de trabalho encontrava-se com desnível de 45 cm em relação à margem dos blocos, sem vegetação e com torrões grandes de superfície espelhada, assumiu-se que o solo, se não estava degradado, encontrava-se em condição próxima a tal. Para tanto, a área submetida a diferentes níveis de distúrbio 0, 1, 2, 3 e 4 respectivamente, passou por análise das condições do solo, a fim de se certificar seu estado no ponto “Zero”. O teste de médias demonstrou que o solo reagiu de maneira homogênea aos diferentes níveis de distúrbio, não diferindo estatisticamente, salvo os valores de água disponível (AD) e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados, conforme o Tabela 5. Entretanto, as variações observadas nos valores de AD e DMP podem estar diretamente relacionadas com variações no tipo e no tamanho das estruturas do solo, que acarretam diferentes distribuições e tamanhos de poros (BARRAL et al., 1998).

Tabela 5: Comportamento de indicadores químicos, físicos e biológicos em resposta a níveis crescentes de distúrbio do solo.

Indicadores	Distúrbios			
	2	4	6	8
Ds (kg.dm ⁻³)	1,64 a	1,59 a	1,71 a	1,64 a
PT (cm ³ .cm ⁻³)	0,359 a	0,363 a	0,330 a	0,350 a
Mp (cm ³ .cm ⁻³)	0,093 a	0,117 a	0,063 a	0,097 a
mp (cm ³ .cm ⁻³)	0,265 a	0,246 a	0,266 a	0,253 a
VIB (cm. h ⁻¹)	15,03 a	18,53 a	10,47 a	13,49 a
K _θ (cm. h ⁻¹)	28,21 a	31,85 a	18,50 a	22,60 a
AD (cm ³ . Cm ⁻³)	0,129 a	0,107 b	0,115 a	0,110 b
AD/PT (cm ³ . Cm ⁻³)	0,361 a	0,295 b	0,350 a	0,317 b
DMP (mm)	2,99 a	2,88 a	2,46 a	2,10 b
pH em H ₂ O	4,72 a	4,50 a	4,44 a	4,62 a
m (%)	27,73 a	39,95 a	39,46 a	32,11 a
H+Al (cmolc dm ⁻³)	3,41 b	3,69 b	3,87 a	3,72 b
S (cmolc dm ⁻³)	1,41 a	1,18 a	1,13 a	1,48 a
CTC (cmolc dm ⁻³)	4,82 a	5,01 a	5,01 a	5,20 a
V (%)	29,20 a	23,60 a	22,80 a	28,20 a
MO (g.kg ⁻¹)	14,27 a	14,11 a	13,87 a	15,18 a
qMIC (%)	0,10 a	0,11 a	0,08 a	0,07 a
qCO ₂ (mg.mg.d)	0,037 a	0,027 a	0,035 a	0,042 a
Fosfatase(mg.PNP g.h.)	233,26 a	191,18 a	156,76 b	132,31 b
FDA (mg. FDA g.h)	14,32 a	13,95 a	14,07 a	14,05 a

*Médias seguidas pela mesma letra, na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diante da variação dos dados, foi observado que eles tenderam a seguir os resultados esperados, frente aos distúrbios causados; até o 3º nível de distúrbio; entretanto, fugiram dessa condição, com o maior do número de distúrbios, resultando em uma melhoria ínfima das condições do solo. Em áreas degradadas, características como matéria orgânica (MO), saturação por bases (V%) e soma de bases são esperadas em condição inferior às de áreas menos perturbadas. Nesse caso, obtiveram-se resultados contraditórios, encontrando-se valores maiores ou iguais nas áreas de maior distúrbio, comparadas com as áreas de menor. Atribuiu-se essa condição ao aumento de matéria orgânica, pois em Souza e Souza (2001) o teor de matéria orgânica para esse solo foi equivalente a 6 g.kg⁻¹, e com o revolvimento do solo nos eventos de aração e gradagem, mais o material orgânico incorporado, elevou esses teores para valores próximos ao limite crítico

de 15 g.kg⁻¹. A redução no tamanho das partículas leva a um aumento da superfície específica das mesmas, contribuindo para a adsorção dos íons com a sua degradação, visto que o revolvimento e a desestruturação do solo deixam cátions dispersos da argila, que são exemplos da condição de manejo, que provocam a destruição da estrutura do solo (KIEHL,1979). Contudo, com o aumento do número de distúrbios obteve-se uma relativa estabilidade nos valores de macro e microporos, uma diminuição da água disponível no 2º evento de distúrbio, seguido de aumento nos demais, e uma significativa redução no diâmetro de agregados, o que vai de encontro aos teores de matéria orgânica encontrados no solo, que mesmo próximo ao limite crítico, contribuiria com a estabilidade de agregados, a retenção de água no solo e a formação de poros.

Sendo que a matéria orgânica promove a formação e estabilização da estrutura do solo por atuar tanto no processo de agregação, como na formação de espaço poroso (CONCEIÇÃO, 2008), constatou-se um aumento no volume de Mp, mp e DMP seguidos de um aumento nos valores de água disponível, quando comparados aos valores obtidos por Souza e Souza,(2001).

A partir dos resultados obtidos pode-se observar que apenas as variáveis de referentes à água disponível (AD) e ao diâmetro médio ponderado (DMP) foram sensíveis aos distúrbios, assim como os valores referentes à fosfatase; como os Latossolos são naturalmente pobres em fósforo,, esta última tem sua atividade estimulada quando o teor de fósforo é baixo no solo (SPIRES et. al., 1978)

Chaer e Fernandes (2009), em estudo semelhante no qual estabeleceram classes de sensibilidade aos indicadores, obtiveram resultados onde as variáveis que não responderam aos distúrbios provocados pelos EAG (eventos de aração e gradagem) foram apenas o quociente metabólico (qCO_2) e a atividade de xilanase, dentre as 24 variáveis analisadas. Para as variáveis qCO_2 e xilanase os valores não diferiram por meio de contrastes em relação ao controle em nenhum dos níveis de distúrbio, nem apresentaram queda significativa quando submetidas a regressão linear. Por tanto, foram classificadas como “não sensíveis” as variáveis que não sofreram alterações detectáveis pelos dois critérios estatísticos considerados.

Sete variáveis, incluindo quatro biológicas (C e N da biomassa, $qMIC$ e relação C/N da biomassa), duas físicas (estabilidade e diâmetro médio ponderado

de agregados) e uma química (P orgânico) foram classificadas com sensibilidade “muito alta” aos distúrbios induzidos. Duas variáveis biológicas (hidrólise de FDA e atividade de urease) foram classificadas com sensibilidade “alta”, enquanto que outras sete variáveis biológicas (β -glicosidade, fosfatase ácida, arilsulfatase, respiração basal, fenol oxidase, teor de glomalina e celulase) e duas físicas (condutividade hidráulica e água disponível) foram classificadas com sensibilidade “média” aos distúrbios. As variáveis densidade, atividade de invertase e C orgânico do solo foram classificadas como de “baixa” sensibilidade. Somente a CTC a pH 7 foi classificada com sensibilidade “muito baixa” (CHAER ; FERNANDES, 2009).

Considerando que a prática de aração e de gradagem, com aumento do número de eventos, não contribuiu positivamente para a melhoria dos atributos físicos nos solos com adensamento, observou-se que estas contribuíram para a melhoria dos atributos químicos, não só em função da redução do tamanho das partículas, como pelo aumento do teor de matéria orgânica; com o revolvimento do solo, todo o material orgânico que o revestiu por 10 anos foi-lhe incorporado, com o gradual revolvimento do solos no aumento dos níveis de distúrbio.

3.1.2 Efeito das práticas de manejo pousio X consórcio e influência dos ciclos de plantio

Com o início do processo de recuperação do solo, foi realizada uma avaliação visual do estado das plantas em campo, pela qual se constatou que, nas áreas de plantio do consórcio com menores níveis de perturbação, ocorreu um atrofiamento das plantas (Figura 11, A e B), o que não foi observado para os tratamentos de maior grau de distúrbio; nestes, as plantas se desenvolveram normalmente (Figura 11, C e D). Contudo, em toda a área constataram-se deficiências nutricionais das plantas, além de ataques de pragas e doenças.

Uma observação pertinente é o fato de o amendoim forrageiro não ter se desenvolvido plenamente, espalhando-se por toda a área. No primeiro ciclo, atribuiu-se à época de plantio; no segundo, as chuvas da época não contribuíram para umedecer suficientemente o solo para o crescimento da planta. Nas áreas de pousio, houve não só o surgimento de “plantas companheiras” (ervas

daninhas), como o rebrote da braquiária, vegetação que domina a área por pelo menos 10 anos.



Figura 11: A e B (área com nível de distúrbio 8); C (nível de distúrbio 1) e D (controle), plantas com 45 d.

Fonte: Autora, 2008

Nas avaliações física, química e biológica, realizadas após cada ciclo de plantio (Tabela 6), dentro dos tratamentos, as interações realizadas entre eles não foram significativas para a maioria dos dados, conforme tabela em anexo; todavia, na avaliação das variáveis, observou-se que os atributos seguiram o padrão dos resultados após os distúrbios das áreas.. Melhoraram em relação ao controle para 1º (primeiro) gradiente e tenderam a cair até o 3º (terceiro), quando voltaram a aumentar seus valores, reafirmando uma melhor condição deste solo diante do número de eventos de aração e gradagem ocasionados.

Para os atributos químicos, a tendência na queda dos valores se acentuou, demonstrando uma melhoria da condição do solo, com a queda da acidez, aproximando-se do controle e das áreas com apenas um evento de aração e gradagem; a soma e a saturação por bases aumentaram significativamente, assim como os teores de fósforo e potássio. Contudo, a matéria orgânica para estes solos é considerada baixa, o que caracterizou uma rápida decomposição do

material orgânico adicionado ao solo. Devido ao incremento de cátions adicionados ao solo, têm-se um aumento na saturação e soma de bases, em relação ao controle e quando comparados ao solo após os distúrbios.

Observando os tratamentos em relação às práticas de manejo têm-se em destaque a sobreposição do consórcio ao pousio., visto que, com a diversidade vegetal nestas áreas, houve uma adição maior de cátions, em função da decomposição e incorporação de material orgânico. Nas áreas de pousio, juntamente com a braquiária as plantas encontradas são consideradas indicadoras de acidez e os valores relacionados à acidez foram maiores nas áreas de pousio, mesmo após correção da acidez com metade da necessidade de calagem. Em relação aos ciclos (fator tempo), destacou-se o segundo, que contribuiu com aumentos dos valores relacionados com a acidez e uma redução dos valores nos atributos nos quais se deseja um aumento ou aproximação de um valor ótimo.

Pode-se então considerar que a degradação do solo é persistente ao passar do tempo.

Tabela 6: Comportamento de características físicas, químicas e microbiológicas como indicador do efeito residual da aplicação de um gradiente de aração e gradagem em um solo, submetido a tratamentos de recuperação.

Indicadores	nº de eventos de A/G					Manejo		Ciclo	
	0	1	2	3	4	Consórcio	Pousio	1º Set	2º Mai
<i>pH em água</i>	4,866 a	4,900ab	4,758 b	4, 575c	4, 816 ab	4,746 b	4,820 a	4,706 b	4,860 a
<i>P (mg.dm³)</i>	1,841 a	2,366 a	1,800 a	2,225 a	2,308	1,916 a	2,300 a	1,830 b	2,386 a
<i>K(mg.dm³)</i>	0,900 b	0,128 a	0,140 a	0,095 b	0,143 a	0,114 a	0,125 a	0,102 b	0,137 a
<i>Ca (cmolc /dm³)</i>	0,600c	0,808 b	0,683 c	0,575 c	0,966 a	0,693 b	0,760 a	0,863 a	0,590 b
<i>Mg (cmolc /dm³)</i>	0,450 ab	0,475a	0,433 a	0,400 b	0,525 a	0,436 a	0,476 a	0,400 b	0,513 a
<i>Ca+Mg (cmolc /dm³)</i>	1,025 c	1,258 b	1,075 c	0,958 c	1,491 a	1,113 b	1,210 a	1,246 a	1,076 b
<i>Al (cmolc /dm³)</i>	0,675 b	0,616 b	0,650 b	0,825 a	0,658 b	0,700 a	0,670 a	0,720 a	0,650 b
<i>Na(cmolc /dm³)</i>	0,032 a	0,028 a	0,025 a	0,022 a	0,023 a	0,024 a	0,027 a	0,026 a	0,026 a
<i>m%</i>	36, 577 b	31,106 c	33,761 bc	43,452 a	30,827 c	35,973 a	34,315 a	35,194 a	35,094 a
<i>S(cmolc /dm³)</i>	1,139 cd	1,396 b	1,225 c	1,065 d	1,614 a	1,234 b	1,341 a	1,353 a	1,222 b
<i>H+Al (cmolc /dm³)</i>	3,953 ab	3, 907 b	3,989 ab	4,255 a	3,860 b	4,042 a	3,944 a	3,692 b	4,294 a
<i>CTC(cmolc /dm³)</i>	5,090 a	5,300 a	5,213 a	5,319 a	5,472 a	5,275 a	5,283 a	5, 044 b	5,514 a
<i>V%</i>	22,666 c	26,750 b	24,166 c	20,416 d	29,916 a	23,766 b	25,800 a	26,866 a	22,700 b
<i>M.O. (g /kg)</i>	13,186 a	13,215 a	12,475 ab	12,376 b	13,198 a	12,908 a	12,837 a	13,123 a	12, 658 b
<i>VIB (cm.mm)</i>	0,224 b	0,463 a	0,247 b	0,304 ab	0,107 b	0,286 a	0,252 a	0,257 a	0,281 a
<i>PT(%)</i>	36, 532 ab	37, 361 a	36, 641 ab	36,703 ab	34,191 b	36,488 a	36,054 a	37,659 a	34,883 b
<i>Mp(%)</i>	12,853 ab	15, 080 a	12,257ab	11,928 ab	9,586 b	12,481 a	12,200 a	14,764 a	9,917 b
<i>mp(%)</i>	23,681 a	22,281 b	24,387 a	24,776 a	24, 536 a	24,009 a	23,856 a	22,898 b	24,967 a
<i>AD</i>	4,930 a	3, 606 b	3,591 b	3, 865 b	5, 110 a	4,297 a	4,162 a	5,027 a	3,414 b
<i>0,1/PT</i>	0,388 b	0,331 c	0,356 bc	0,371 bc	0,431 a	0,377 a	0,374 a	0,402 a	0,349 b
<i>Ds (kg/dm³)</i>	1,576 a	1,564 a	1,568 a	1,573 a	1, 625 a	1,581 a	1,582 a	1,547 b	1,616 a
<i>K₆ (mm.h)</i>	220,51 ab	332,58 a	171, 33 ab	68,35b	92,27ab	188,54 a	165,47 a	227, 46 a	126, 55 a
<i>DMP (mm)</i>	2,745 bc	2,911 ab	3,099 a	2,747 bc	2,472 c	2,773 a	2,817 a	3,013 a	2,572 a
<i>qCO₂ (µgCO₂/µgBM)</i>	0,229 ab	0,148 b	0,124 b	0,205 ab	0,341 a	0,158 b	0,251 a	0,149 b	0,270 a
<i>qMIC(%)</i>	1,294 a	1, 348 a	1,340 a	1,294 a	0, 805 a	1,372 a	1,276 a	1,366 a	1,283 a
<i>FDA (µg FDA. gSS-1.mLTP-1)</i>	7,027 a	6,692 a	6,754 a	6,722 a	6,366 a	6,837 a	6,588 a	6,992 a	6,432 a
<i>Fosfatase Ac. (ug pnp g-1 solo h-1)</i>	28, 771 a	26, 276 a	28, 696 a	25, 189a	24,756a	27,041 a	27,073 a	25,731 a	27,744 a

*Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Se para os atributos químicos houve uma relativa melhoria, para os físicos este fato não foi comum, pois, com o aumento da microporosidade, provindo da redução do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo, observou-se um aumento da capacidade de água disponível, seguido de aumento na densidade do solo – ultrapassando os limites críticos para o tipo de solo, segundo Lepsch (1983) – e uma redução considerável da velocidade de infiltração e da condutividade hidráulica saturada, proveniente, provavelmente, do entupimento dos poros, com o salpicamento causado pelo impacto das gotas de chuva no solo descoberto e pelo rearranjo das partículas do solo, cessados os distúrbios.

Isso demonstra que as variáveis físicas foram muito mais sensíveis à degradação do solo, que as variáveis químicas. Nas situações de manejo, a melhor condição do solo foi identificada nas áreas de consórcio, oriunda da distribuição das raízes das plantas adicionadas.

As propriedades microbianas, apesar de não diferirem estatisticamente entre os tratamentos, demonstraram seguir a mesma condição dos atributos físicos, ou seja, no tratamento de maior intensidade de distúrbio, obteve-se um alto quociente metabólico, em comparação ao de menor perturbação, e uma queda dos valores de quociente microbiano e da atividade enzimática. Dentre as formas de manejo e os ciclos de plantio, sobressaíram-se o consórcio e o primeiro ciclo de plantio, considerando que as culturas implantadas são eficientes na liberação de exsudatos à comunidade microbiana e na fixação de nutrientes, como é o caso do feijão-de-porco; este libera uma enzima nematicida e o amendoim forrageiro que, juntamente com o feijão, contribuem para a fixação de nitrogênio pela presença de bactérias nitrificantes.

Verificando se havia correlação entre as variáveis estudadas e partindo do pressuposto que, para serem representativas, seus valores devem ser próximos a 1 ou -1 e estar compreendidos neste intervalo, tem-se uma matriz de correlação (anexo), onde não ocorre interação entre a maioria das variáveis, sendo que estas apresentaram valores inferiores a 0,5. Observou-se, porém, uma correlação significativa para variáveis pertencentes a um mesmo grupo de atributos; foi o caso das variáveis químicas relacionadas à acidez do solo e, dentre os atributos físicos, uma correlação entre as variáveis de densidade e condutividade hidráulica com aquelas relacionadas à porosidade do solo. Ao se aferir que o aumento na densidade e a redução do fluxo de água têm relação direta com a porosidade do solo, ou seja, com o tamanho das partículas que o compõem e seu arranjo na estrutura do solo, pode-se afirmar também que as variáveis físicas, químicas e biológicas nessa condição ou nesse solo, agem independentemente diante de um processo de degradação.

Verificando-se que boa parte das variáveis tem seus valores próximos à faixa de limites críticos para o tipo de solo, pode-se afirmar a partir daqui que o efeito residual da degradação persiste no solo, mesmo cessado o distúrbio, e na fase inicial dos trabalhos de recuperação, pois, ao fim dos ciclos de recuperação, os resultados mostraram-se inferiores aos obtidos nas avaliações realizadas ao

final dos ciclos de degradação. Seriam necessários, então, vários ciclos ou estágios de recuperação, visto que diversos autores afirmam que são necessários 10 anos ou mais para que o solo retorne à sua condição natural.

3.1.3 Análise por componentes principais

A interação dos valores dos atributos do solo foi avaliada pela análise de componentes principais, o que serviu para diferenciar quais das propriedades se destacavam em relação aos tratamentos, prestando-se como forma de seleção das variáveis que comporiam o índice de qualidade. Observe-se, contudo, que a matriz de correlação obtida com os dados padronizados, teve sua variância explicada em 77 % com os 15 primeiros componentes; a partir daí, a contribuição dos demais valores não foi representativa, pois seus valores totais foram menores do que 1, o que não é recomendado.

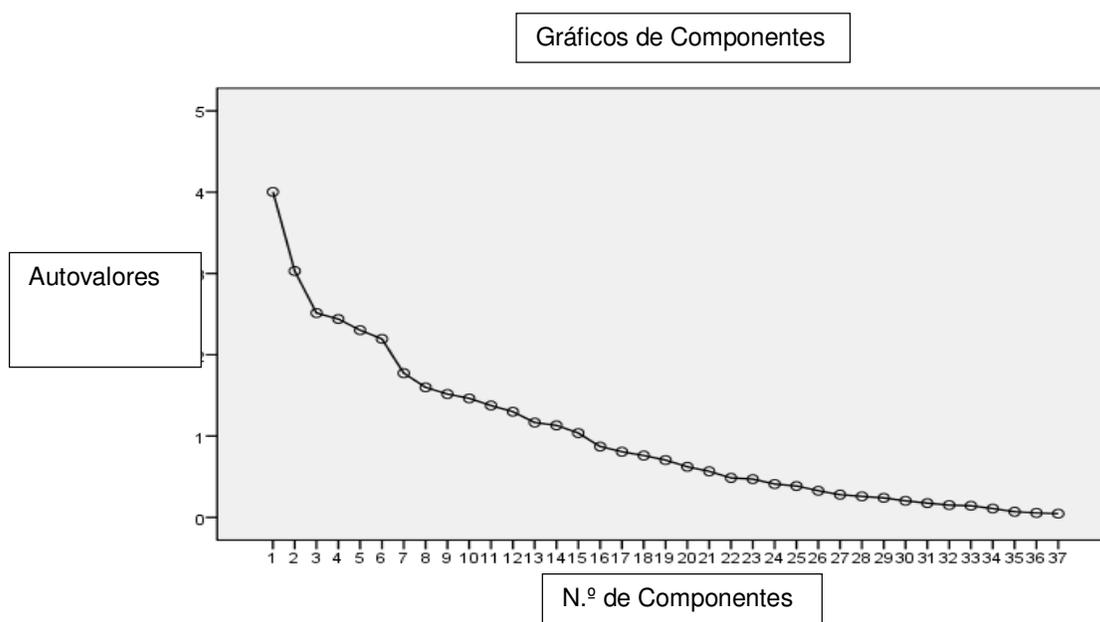


Figura 12: Número de componentes principais e sua contribuição à variância explicada.

A primeira componente explicou 10 % dos dados obtidos, destacando os atributos químicos relacionadas à acidez e à soma e saturação por bases com valores $\geq 0,5$; a segunda componente explicou 8 %, destacando os atributos físicos ligados à porosidade e à densidade do solo; a terceira, com 6 % da variância explicada, destacou as características microbiológicas, porém os valores

obtidos para as variáveis físicas e microbiológicas tiveram sua representatividade em valores iguais ou menores a 0,5 conforme anexo. Assim, ao se usar para seleção apenas os valores de *loading*, seriam consideradas apenas as variáveis físicas que obtiveram valor de *loading* $\geq 0,5$. Isso descaracterizaria a proposta de um índice de qualidade englobando características físicas, químicas e microbiológicas. Ao se verificar na figura 13 a disposição das variáveis nos componentes principais, pôde-se observar quais contribuiriam melhor para a composição do índice de qualidade e, a partir daí, partiu-se para o cálculo dos índices de qualidade.

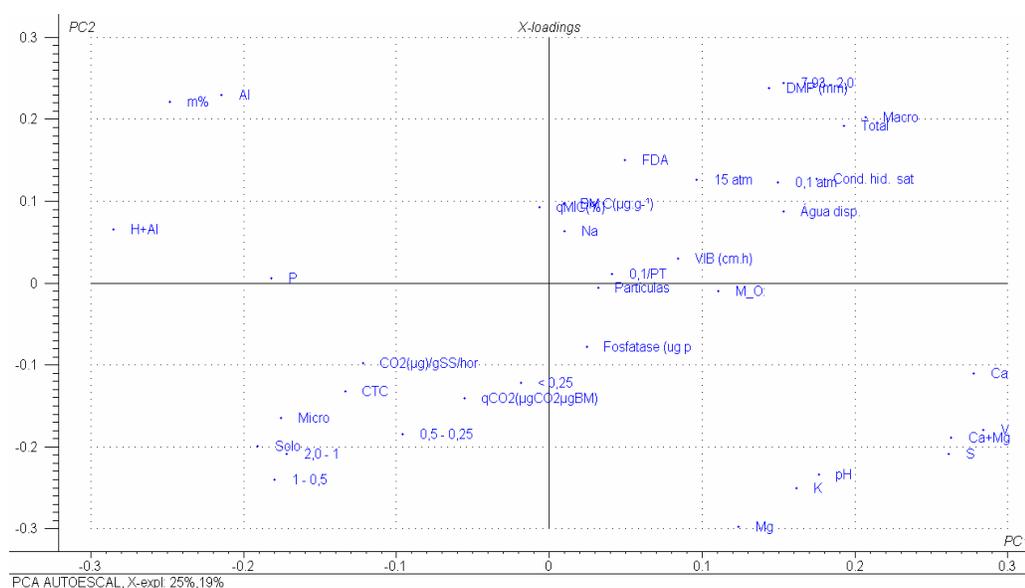


Figura 13: Disposição das variáveis dentro dos componentes principais.

3.1.4 Índices de qualidade do solo

Quando se avaliou a participação dos atributos químicos, físicos e biológicos, obteve-se a contribuição de 21 %, 48 % e 31 %, respectivamente, para cada conjunto de atributos. Na avaliação dos conjuntos de atributos observou-se que os atributos microbiológicos, neste caso não foram eficientes em diferenciar os níveis de distúrbio, quando avaliados separadamente, fato que pode ser atribuído à não diferenciação estatística das avaliações enzimáticas realizadas. Contudo, os atributos químicos que tiveram uma menor contribuição mostraram uma maior variação e uma diferenciação entre os níveis de distúrbio, indicando

qual deles foi mais impactado quimicamente. O mesmo ocorreu com os indicadores físicos que tiveram maior participação, o que já era esperado. Em relação ao manejo, não houve diferença estatística, no que diz respeito aos atributos físicos e microbiológicos; atribuiu-se o fato da cobertura vegetal ter sido parcial nas áreas de consorcio e pousio. E a diferenciação do manejo sobre as características químicas atribuída a realização da correção do solo, que proporcionou uma melhor distribuição das plantas nas áreas do consorcio. Visto que os resultados apresentados são referente aos atributos relacionados a acidez do solo, que foram determinados pela análise estatística descritiva e multivariada.

Para os ciclos de plantio, ocorreu diferença estatística favorável ao primeiro ciclo de plantio, para os atributos físicos, mostrando que o fator tempo é preponderante a recuperação do solo.

Quadro 1: Índices de Qualidade do Solo para os níveis de distúrbio, manejos e influência dos ciclos de plantio

Índices de Qualidade do Solo							
n° de eventos de A/G	Química	%	Física	%	Microbiológica	%	Geral
n° de eventos de A/G							
0	0,097 b	21	0,209 ab	45	0,157 a	34	0,464 ab
1	0,100 a	20	0,261 a	54	0,127 a	26	0,490 a
2	0,094 bc	20	0,221ab	46	0,164 a	34	0,476 ab
3	0,089 c	20	0,220 ab	50	0,131 a	30	0,440 a
4	0,101 a	26	0,176 b	56	0,110 a	28	0,388 b
Manejo							
Consórcio	0,094 b	21	0,218 a	48	0,140 a	31	0,454 a
Pousio	0,098 a	21	0,217 a	48	0,134 a	31	0,449 a
Ciclo							
1°	0,096 a	20	0,236 a	50	0,145 a	30	0,478 a
2°	0,096 a	23	0,199 b	47	0,129 a	30	0,425 b

O cálculo do índice global de qualidade do solo permitiu uma melhor diferenciação entre os gradientes de aração e gradagem, mostrando que houve, de fato, uma degradação do solo com aumento dos níveis de distúrbio, conferindo os valores de 0,490 para 1º evento de A/G, que corresponde a 2 níveis de distúrbio; 0,476 para 2º evento de A/G, que corresponde a 4 níveis de distúrbio; 0,440 para 3º evento de A/G, que corresponde a 6 níveis de distúrbio e 0,388

para 4º evento de A/G, que corresponde a 8 níveis de distúrbio. Em relação às práticas de manejo adotadas, verificou-se que, apesar de as mesmas não diferirem estatisticamente, observou-se uma melhora das condições do solo do consórcio em relação ao pousio; já entre os ciclos de plantio, há destaque do primeiro ciclo, e essa condição pode ser atribuída a uma maior participação da microbiota, visto que, no segundo ciclo de plantio, realizou-se calagem.

Melo Filho (2007), em trabalho objetivando avaliar o índice de qualidade do solo (IQS) para os horizontes subsuperficiais de um Latossolo Amarelo coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural, em uma reserva de Mata Atlântica situada no município de Cruz das Almas-BA, constatou que a baixa fertilidade química e as limitações físicas estão refletidas no Índice de Qualidade do Solo (IQS) determinado para o LAx. O valor do IQS foi de 0,462, o que, segundo Karlen & Stott (1994), confere a este solo baixa qualidade para produção vegetal, confirmando as observações de Souza (1996), Borges ; Kiehl (1997), Matias (2003) e Melo Filho et al. (2004).

Com essas informações pode-se dizer que os valores de IQS obtidos neste trabalho em relação ao controle, não se distanciaram do valor obtido por Melo Filho (2007), para a mesma classe de solo em remanescente de Mata Atlântica. Destacaram-se apenas os solos com menor nível de distúrbio e o de maior nível, que tiveram valores de 0,490, valor considerado próximo ao limite crítico para dados de Índices de Qualidade do Solo, e 0,388 valor considerado baixo para IQS, respectivamente, dentro da escala de valores de Karlen ; Stott (1994).

CONCLUSÕES

- O efeito residual da degradação persistiu no solo, mesmo cessada as perturbações.
- O índice de qualidade do solo contribuiu em diferenciar o efeito da degradação nos diferentes níveis de distúrbio, bem como o efeito das técnicas de manejo sobre a qualidade do solo, mostrando-se como ferramenta eficiente em estratégias de monitoração da qualidade do solo e do efeito residual da degradação.
- Os indicadores microbiológicos mostram-se tão eficientes quanto os físicos, em avaliar o efeito.
- Não foi possível identificar a recuperação do solo no intervalo de tempo destinado à regeneração depois de cessados os distúrbios.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. L. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C. GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5.^a Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p25-32.

BARRAL, M. T.; ARAIS, M.; GUÉRIF, J. Effects of iron and organic matter on the porosity na structural stability of soil agregates. **Soil Till. Res.**, v,46, p.261-272, 1998.

BARTLETT, R.J. & ROSS, D.N. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n.52, p.1191-1192, 1988.

BEZDICEK, D. F. **Development and evaluation of indicators for agroecosystem health**. Agriculture in concert with the environment ACE research projects western region, p.1991-1995, 1996.

BORGES, A.L. ; KIEHL, J.C. Cultivo de fruteiras perenes e de mandioca sobre as propriedades químicas de um latossolo amarelo álico de Cruz das Almas (BA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.21, p.341-345, 1997.

CARTER, M. R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R. (Ed.). **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, p.1062-1065, 2002.

CHER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Faculdade de Agronomia, 2001.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO (Salvador, BA). **Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia**. 2.ed.Salvador, CEPLAC/EMATERBA/EMBRAPA/EPABA/NITROFERTIL,1989.173p.

DEXTER, A.R. Soil physical quality Part I.: theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**. v.120, n. 3/4, p.201 – 214, jun., 2004.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35).

DORAN, J.W. ; ZEISS, M.R.Soil health and sustainability:Managing the biotic component of soil quality.**Appl.Soil Ecol.**,n.15, p.3-11, 2000.

DORAN, J.W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.88, p.119-127, 2002.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. In: DORAN, J.W. ; JONES, A.J.(Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.25-37.(Special Publication, 39).

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000. 653p.

JENKINSON, D. S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. **Soil Biology and Biochemistry**. v.5/6, p.415-471,1981.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bzedicek, D. F.; Stewart, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p. 3–72 (Special Publication, 35).

KELTING, D.L.; BURGER, J.A.; PATTERSON, S.C.; AUST, W.M.; MIWA, M. ; TRETTIN, C.C. Soil quality assessment in domesticated forests – a southern pine example. **Forest Ecology Management**. v.122, n.1/2, p.167 – 185, sept. 1999.

KENNEDY, A.C. Microbial Diversity in Agroecosystem Quality. In: COLLINS, W.W.; QUALSET, C.O. **Biodiversity in agroecosystems**. New York: CRC, 1998. Cap.1, p.1-17.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: CERES, 1979. 262 p.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1994. p. 37-51. (SSSA Special Publication, 35).

LEPSCH, I. (Coord.). **Manual de levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.

LYNCH, J.M. **Biotechnology do solo: fatores agrobiológicos na produtividade agrícola**. São Paulo: Manole, 1986. 209p.

MATIAS, M.I.A.S. **Influência da cobertura vegetal na disponibilidade de nutrientes e na distribuição o sistema radicular em latossolo amarelo coeso de Tabuleiro Costeiro**. 2003. 78f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2003.

MELLO, N.A. **Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimento de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo.** 2006. 248 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - , Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MELO FILHO, J.F.; DEMATTÊ, J.A.M.; LIBARDI, P.L. ; PORTELA, J.C. Comportamento espectral de um latossolo amarelo coeso argissólico em função de seu uso e manejo. **Magistra**, n.16. p.105-112, 2004.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, n.27, p.29-48, 2003.

SOUZA, A. L. V. **Avaliação da qualidade de um latossolo amarelo coeso argissólico dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural.** Cruz das Almas, BA: 2005.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, n.49, p.1-24, 1999.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.195-276., 2002.

WANG, X; GONG, Z. Assessment and analyssis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. **Geoderma**, Amsterdam, v.81, p.339-355,1998.

WYMORE, A. W. **Model based systems engineering**; an introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. Boca Raton,: CRC Press, 1993.

Anexos

Tabela 1. Relação de significância entre as variáveis químicas e os contrastes.

Interações	pH	P	K	Ca	Mg	ca+Mg	Al	Na	H+Al	S	CTC	V	MO
Grad	***	ns	***	***	*	***	***	ns	*	***	ns	***	**
Bloco*Grad	***	ns	***	***	*	***	***	ns	**	***	ns	***	***
Uso	**	*	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	***	ns
Grad*Uso	*	ns	ns	***	ns	***	ns	ns	ns	***	ns	***	ns
Bloco*Uso(Grad)	*	ns	*	***	ns	***	ns	ns	**	***	ns	***	***
Ciclo	***	***	***	***	***	***	**	ns	***	***	***	***	*
Grad*Ciclo	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Uso*Ciclo	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Grad*Uso*Ciclo	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabela 2. Relação de significância entre as variáveis químicas e os contrastes.

Interações	Org hid											DMPmm	VE(amt)		
	Totl	Micro	Micro	DensSolo	Q1atm	15atm	Águaesp	st (mm)	7,98-20	20-1	1-05			05-025	<025
Grad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	***	***	***	**
Bloco*Grad	*	*	*	ns	***	*	***	*	***	ns	**	***	***	***	***
Uso	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	ns	**	***	***	***	***
Grad*Uso	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco*Uso(Grad)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ciclo	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	***	***	***	ns	***	
Grad*Ciclo	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	*	*	ns	ns
Uso*Ciclo	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns
Grad*Uso*Ciclo	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tabela 3. Relação de significância entre as variáveis microbiológicas e os contrastes.

Interações	C-CO ₂	BM	qCO ₂	qMIC	FDA	Fost. Ác.
Grad	**	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco*Grad	ns	ns	*	ns	ns	**
Uso	ns	ns	*	ns	ns	ns
Grad*Uso	**	ns	**	ns	ns	ns
Bloco*Uso(Grad)	**	ns	ns	ns	ns	ns
Ciclo	***	ns	**	ns	ns	ns
Grad*Ciclo	*	ns	ns	ns	ns	ns
Uso*Ciclo	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Grad*Uso*Ciclo	*	ns	ns	ns	ns	ns

Tabela 4: Percentual da Variância explicada

Componentes	Autovalres		Extração da Soma dos Quadrados Loadings	
	% Acumulativo	Total	% de Variância	% Acumulativo
1	10,82	4,004	10,82	10,82
2	19,01	3,03	8,189	19,01
3	25,804	2,514	6,794	25,804
4	32,398	2,44	6,594	32,398
5	38,621	2,302	6,223	38,621
6	44,553	2,195	5,932	44,553
7	49,348	1,774	4,795	49,348
8	53,67	1,599	4,322	53,67
9	57,771	1,517	4,101	57,771
10	61,728	1,464	3,957	61,728
11	65,447	1,376	3,719	65,447
12	68,961	1,3	3,515	68,961
13	72,115	1,167	3,154	72,115
14	75,175	1,132	3,06	75,175
15	77,978	1,037	2,803	77,978

Tabela 5 : Matriz de Componentes Principais (autovetores)

Variáveis	Componentes					
	1	2	3	4	5	6
Ca+Mg	0,744	0,195	-0,131	0,234	0,305	0,069
Ca	0,725	0,168	-0,184	0,227	0,21	-0,15
K	0,716	0,155	0	-0,059	0,307	0,053
S	0,555	0,189	-0,243	0,226	-0,457	-0,013
V	0,522	0,22	-0,095	0,024	-0,074	-0,007
Mg	0,501	-0,149	0,162	-0,257	-0,144	-0,18
H+Al	-0,449	-0,322	0,128	-0,326	-0,065	0,184
m%	-0,372	0,358	0,246	0,359	0,155	0,096
Micro	-0,025	0,507	0,167	-0,202	0,056	-0,022
Solo	-0,035	0,453	0,333	-0,193	-0,122	-0,308
P	-0,039	0,434	0,066	-0,414	-0,022	0,404
Cond. hid.	0,285	-0,371	0,343	-0,028	0,281	0,229
FDA	-0,368	0,105	-0,645	-0,05	0,179	-0,059
C-CO2	0,078	-0,247	0,596	0,047	-0,233	0,202
0,1 atm	-0,169	-0,187	0,014	0,423	0,403	-0,302
Total	0,112	-0,401	-0,053	0,406	0,225	0,062
BMC	-0,109	-0,259	0,095	-0,396	0,393	-0,144
Na	-0,139	-0,271	-0,29	0,147	0,094	0,6
pH	0,426	0,252	-0,168	-0,228	0,254	0,484
Macro	-0,184	-0,298	0,037	0,125	-0,019	0,174
0,1/PT	-0,225	0,287	-0,026	0,378	-0,283	0,126
Fosfatase	0,093	-0,152	0,092	0,226	0,009	0,043
MD	0,096	0,174	-0,091	0,303	0,192	0,102
CTC	-0,089	0,396	0,071	0,303	-0,02	0,398
qMC(%)	-0,24	-0,041	0,085	-0,263	0,385	0,077
DMP	0,123	-0,305	0,203	0,278	-0,247	0,11
Al	-0,128	0,254	0,374	0,242	-0,207	-0,26
qCO2	-0,004	0,314	0,255	0,176	-0,226	0,28
VIB	0,264	-0,211	0,006	0,047	0,065	0,1

Análise de Componentes Principais, as 15 componentes extraídas.

Tabela 6: Correlação entre as variáveis;

	pH	P	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	Na	H+Al	S	m%	CTC	V	M_O:	VIB (cm.h)	Total	Macro
pH	1	0,249	0,443	0,25	0,048	0,423	-0,266	0,15	-0,082	0,109	-0,091	0,143	0,095	0,309	0,044	-0,036	-0,03
P	0,249	1	-0,007	-0,005	-0,048	0,003	0,03	-0,033	0,058	-0,03	0,035	0,055	0,01	0,013	-0,126	-0,267	-0,211
K	0,443	-0,007	1	0,554	0,338	0,59	-0,06	-0,06	-0,306	0,252	-0,298	0,056	0,259	0,072	0,085	0,082	-0,144
Ca	0,25	-0,005	0,554	1	0,296	0,85	-0,124	-0,231	-0,363	0,318	-0,268	0,009	0,246	0,141	0,086	0,086	-0,291
Mg	0,048	-0,048	0,338	0,296	1	0,137	-0,084	-0,1	-0,151	0,194	-0,367	-0,232	0,219	-0,284	0,144	-0,002	0
Ca+Mg	0,423	0,003	0,59	0,85	0,137	1	-0,109	-0,047	-0,317	0,329	-0,168	0,066	0,318	0,232	0,156	0,102	-0,289
Al	-0,266	0,03	-0,06	-0,124	-0,084	-0,109	1	-0,289	-0,021	-0,005	0,111	0,156	0,015	0,031	-0,111	0,151	-0,131
Na	0,15	-0,033	-0,06	-0,231	-0,1	-0,047	-0,289	1	0,087	0,066	0,003	0,029	-0,011	-0,041	0,054	0,176	0,149
H+Al	-0,082	0,058	-0,306	-0,363	-0,151	-0,317	-0,021	0,087	1	-0,416	-0,152	-0,048	-0,464	-0,099	0,1	-0,148	-0,039
S	0,109	-0,03	0,252	0,318	0,194	0,329	-0,005	0,066	-0,416	1	-0,111	0,074	0,488	0,047	0,044	-0,049	-0,092
m%	-0,091	0,035	-0,298	-0,268	-0,367	-0,168	0,111	0,003	-0,152	-0,111	1	0,359	-0,006	0,089	0,026	-0,035	0,064
CTC	0,143	0,055	0,056	0,009	-0,232	0,066	0,156	0,029	-0,048	0,074	0,359	1	0,06	0,079	0,007	-0,037	0,125
V	0,095	0,01	0,259	0,246	0,219	0,318	0,015	-0,011	-0,464	0,488	-0,006	0,06	1	0,008	0,249	0,016	-0,075
M_O:	0,309	0,013	0,072	0,141	-0,284	0,232	0,031	-0,041	-0,099	0,047	0,089	0,079	0,008	1	-0,008	-0,005	0
VIB (cm.h)	0,044	-0,126	0,085	0,086	0,144	0,156	-0,111	0,054	0,1	0,044	0,026	0,007	0,249	-0,008	1	0,07	-0,037
Total	-0,036	-0,267	0,082	0,086	-0,002	0,102	0,151	0,176	-0,148	-0,049	-0,035	-0,037	0,016	-0,005	0,07	1	0,145
Macro	-0,03	-0,211	-0,144	-0,291	0	-0,289	-0,131	0,149	-0,039	-0,092	0,064	0,125	-0,075	0	-0,037	0,145	1
Micro	0,184	0,214	-0,001	-0,051	0,057	-0,127	0,062	-0,289	-0,197	-0,079	0,082	0,231	0,164	0,037	0,001	-0,165	-0,115
Solo	-0,074	0,128	0,042	-0,077	0,064	-0,049	0,155	-0,26	-0,101	0,118	0,172	-0,078	-0,041	-0,07	-0,21	-0,413	-0,04
Particulas	-0,117	-0,377	0,075	0,11	0,107	0,06	0,268	-0,519	-0,169	0,107	0,073	-0,002	0,059	0,028	-0,03	-0,135	-0,087
0,1 atm	-0,284	-0,34	-0,027	0,08	-0,146	0,007	0,108	0,107	0,014	-0,073	0,052	-0,001	-0,102	-0,015	0,028	0,271	0,002
15 atm	-0,123	0,147	-0,075	-0,002	-0,143	-0,026	0,059	-0,041	0,049	-0,218	0,306	0,029	0,044	0,013	-0,28	0,013	0,033
Água disp.	-0,19	-0,166	-0,14	-0,048	-0,127	0	0,114	0,288	0,059	-0,25	0,227	0,008	-0,291	0,287	0,043	0,084	0,032
0,1/PT	-0,183	0,042	-0,145	0,041	-0,163	0,052	0,085	0,095	0,028	0,078	0,147	0,115	-0,146	0,06	-0,265	-0,029	-0,097
Cond. hid. sat. (cm/h)	0,115	-0,058	0,176	0,031	0,04	0,19	-0,082	0,036	-0,043	-0,08	-0,063	-0,003	0,042	-0,065	0,095	0,2	0,161
7,93 - 2,0	-0,107	0,012	-0,29	0,029	-0,207	-0,109	-0,07	0,027	-0,07	0,005	-0,046	-0,01	-0,026	0,055	-0,127	-0,024	-0,019
2,0 - 1	0,069	0,157	0	-0,118	-0,114	-0,012	0,187	0,128	0,086	0,019	0,215	0,547	-0,05	-0,221	-0,078	-0,156	-0,047
1 - 0,5	0,009	0,08	-0,224	-0,102	-0,015	-0,174	0,101	0,006	0,141	0,004	-0,09	0,149	-0,002	-0,045	-0,11	-0,182	-0,1
0,5 - 0,25	0,321	0,26	0,196	-0,042	0,11	0,062	0,072	0,082	0,008	-0,05	0,071	0,023	0,187	-0,05	-0,003	-0,076	-0,046
< 0,25	0,056	0,112	0,031	0,031	-0,082	0,045	0,072	-0,132	-0,198	-0,359	0,425	0,112	-0,132	0,082	-0,01	-0,079	-0,037
DMP (mm)	-0,065	-0,127	-0,162	0,129	0,195	0,057	-0,011	-0,005	0,034	0,015	-0,005	0,098	-0,022	0,101	0,059	0,158	0,122
CO2(µg)/gS S/hora	0,007	0,032	-0,055	-0,141	0,216	-0,139	0,072	0,034	0,116	-0,019	-0,066	-0,043	-0,013	-0,013	-0,033	0,023	0,08
qCO2(µgCO 2µgBM)	-0,05	0,232	0,025	0,009	-0,077	0,059	0,261	-0,069	0,016	0,022	0,029	0,179	0,077	0,071	0	-0,04	0
BM C(µg.g-1)	-0,109	-0,014	0,016	-0,046	0,077	0,014	-0,056	-0,079	0,316	-0,428	-0,228	-0,125	-0,114	-0,126	-0,011	0,004	-0,039
qMIC(%)	-0,025	0,116	-0,003	-0,166	-0,07	-0,143	-0,154	0,034	0,121	-0,352	0,053	0,046	-0,006	-0,052	-0,102	-0,043	-0,059
FDA (ug FDA.gSS-1.mLTP-1)	0,045	-0,044	-0,11	-0,169	-0,283	-0,191	-0,178	0,127	-0,067	-0,108	0,056	0,096	-0,095	-0,063	-0,136	-0,02	0,146
Fosfatase (ug pnp g-1 solo h-1)	-0,021	-0,1	0,041	0,118	0,071	0,021	-0,061	0,01	-0,119	0,042	-0,022	0,05	0,025	-0,133	0,165	0,087	0,142

	Micro	Solo	Partículas	0,1 atm	15 atm	Água disp.	0,1/PT	Cond. hid. sat. (cm/h)	7,93 - 2,0	2,0 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	< 0,25	DMP (mm)	CO2(µg/g SS/hora	qCO2(µgC O2µgBM)	BM C(µg.g- 1)	qMIC(%)
pH	0,184	-0,074	-0,117	-0,284	-0,123	-0,19	-0,183	0,115	-0,107	0,069	0,009	0,321	0,056	-0,065	0,007	-0,05	-0,109	-0,025
P	0,214	0,128	-0,377	-0,34	0,147	-0,166	0,042	-0,058	0,012	0,157	0,08	0,26	0,112	-0,127	0,032	0,232	-0,014	0,116
K	-0,001	0,042	0,075	-0,027	-0,075	-0,14	-0,145	0,176	-0,29	0	-0,224	0,196	0,031	-0,162	-0,055	0,025	0,016	-0,003
Ca	-0,051	-0,077	0,11	0,08	-0,002	-0,048	0,041	0,031	0,029	-0,118	-0,102	-0,042	0,031	0,129	-0,141	0,009	-0,046	-0,166
Mg	0,057	0,064	0,107	-0,146	-0,143	-0,127	-0,163	0,04	-0,207	-0,114	-0,015	0,11	-0,082	0,195	0,216	-0,077	0,077	-0,07
Ca+Mg	-0,127	-0,049	0,06	0,007	-0,026	0	0,052	0,19	-0,109	-0,012	-0,174	0,062	0,045	0,057	-0,139	0,059	0,014	-0,143
Al	0,062	0,155	0,268	0,108	0,059	0,114	0,085	-0,082	-0,07	0,187	0,101	0,072	0,072	-0,011	0,072	0,261	-0,056	-0,154
Na	-0,289	-0,26	-0,519	0,107	-0,041	0,288	0,095	0,036	0,027	0,128	0,006	0,082	-0,132	-0,005	0,034	-0,069	-0,079	0,034
H+Al	-0,197	-0,101	-0,169	0,014	0,049	0,059	0,028	-0,043	-0,07	0,086	0,141	0,008	-0,198	0,034	0,116	0,016	0,316	0,121
S	-0,079	0,118	0,107	-0,073	-0,218	-0,25	0,078	-0,08	0,005	0,019	0,004	-0,05	-0,359	0,015	-0,019	0,022	-0,428	-0,352
m%	0,082	0,172	0,073	0,052	0,306	0,227	0,147	-0,063	-0,046	0,215	-0,09	0,071	0,425	-0,005	-0,066	0,029	-0,228	0,053
CTC	0,231	-0,078	-0,002	-0,001	0,029	0,008	0,115	-0,003	-0,01	0,547	0,149	0,023	0,112	0,098	-0,043	0,179	-0,125	0,046
V	0,164	-0,041	0,059	-0,102	0,044	-0,291	-0,146	0,042	-0,026	-0,05	-0,002	0,187	-0,132	-0,022	-0,013	0,077	-0,114	-0,006
M_O:	0,037	-0,07	0,028	-0,015	0,013	0,287	0,06	-0,065	0,055	-0,221	-0,045	-0,05	0,082	0,101	-0,013	0,071	-0,126	-0,052
VIB (cm.h)	0,001	-0,21	-0,03	0,028	-0,28	0,043	-0,265	0,095	-0,127	-0,078	-0,11	-0,003	-0,01	0,059	-0,033	0	-0,011	-0,102
Total	-0,165	-0,413	-0,135	0,271	0,013	0,084	-0,029	0,2	-0,024	-0,156	-0,182	-0,076	-0,079	0,158	0,023	-0,04	0,004	-0,043
Macro	-0,115	-0,04	-0,087	0,002	0,033	0,032	-0,097	0,161	-0,019	-0,047	-0,1	-0,046	-0,037	0,122	0,08	0	-0,039	-0,059
Micro	1	0,19	0,01	-0,072	-0,008	-0,085	0,004	-0,101	-0,029	0,16	0,17	0,113	0,397	-0,066	-0,05	0,083	0,002	0,081
Solo	0,19	1	0,201	-0,105	0,114	-0,011	0,098	-0,139	-0,239	-0,019	0,012	0,188	0,242	-0,178	-0,018	0,059	-0,16	-0,014
Partículas	0,01	0,201	1	0,078	-0,04	0,038	-0,007	0,013	-0,09	0,013	-0,043	0,103	-0,009	0,058	0,049	-0,147	0,004	-0,067
0,1 atm	-0,072	-0,105	0,078	1	0,304	0,366	-0,121	-0,049	0,056	-0,054	0,003	-0,059	0,164	-0,033	-0,007	-0,104	0,119	0,052
15 atm	-0,008	0,114	-0,04	0,304	1	0,148	0,099	-0,072	0,06	0,015	0,031	0,09	0,357	-0,059	0,066	0,003	0,013	0,455
Água disp.	-0,085	-0,011	0,038	0,366	0,148	1	0,309	-0,057	0,07	0,099	-0,014	-0,008	0,339	-0,005	0,004	0,167	0,008	-0,01
0,1/PT	0,004	0,098	-0,007	-0,121	0,099	0,309	1	-0,222	0,11	0,365	0,109	-0,147	-0,022	0,045	0,014	0,198	-0,198	-0,097
Cond. hid. sat. (cm/h)	-0,101	-0,139	0,013	-0,049	-0,072	-0,057	-0,222	1	-0,391	-0,016	-0,588	-0,046	-0,051	0,108	0,103	-0,055	0,164	0,096
7,93 - 2,0	-0,029	-0,239	-0,09	0,056	0,06	0,07	0,11	-0,391	1	-0,033	0,356	-0,217	-0,002	-0,045	-0,424	0,009	-0,104	0,005
2,0 - 1	0,16	-0,019	0,013	-0,054	0,015	0,099	0,365	-0,016	-0,033	1	0,099	0,038	0,035	0,044	0,08	0,238	-0,021	-0,004
1 - 0,5	0,17	0,012	-0,043	0,003	0,031	-0,014	0,109	-0,588	0,356	0,099	1	0,196	0,069	-0,134	-0,178	0,004	0,014	-0,027
0,5 - 0,25	0,113	0,188	0,103	-0,059	0,09	-0,008	-0,147	-0,046	-0,217	0,038	0,196	1	0,2	-0,256	-0,024	0,114	0,102	0,072
< 0,25	0,397	0,242	-0,009	0,164	0,357	0,339	-0,022	-0,051	-0,002	0,035	0,069	0,2	1	-0,219	-0,103	0,026	0,1	-0,018
DMP (mm)	-0,066	-0,178	0,058	-0,033	-0,059	-0,005	0,045	0,108	-0,045	0,044	-0,134	-0,256	-0,219	1	0,277	-0,055	-0,117	0,015
CO2(µg)/gS S/hora	-0,05	-0,018	0,049	-0,007	0,066	0,004	0,014	0,103	-0,424	0,08	-0,178	-0,024	-0,103	0,277	1	0,113	-0,076	0,002
qCO2(µgCO 2µgBM)	0,083	0,059	-0,147	-0,104	0,003	0,167	0,198	-0,055	0,009	0,238	0,004	0,114	0,026	-0,055	0,113	1	-0,197	-0,122
BM C(µg.g- 1)	0,002	-0,16	0,004	0,119	0,013	0,008	-0,198	0,164	-0,104	-0,021	0,014	0,102	0,1	-0,117	-0,076	-0,197	1	0,166
qMIC(%)	0,081	-0,014	-0,067	0,052	0,455	-0,01	-0,097	0,096	0,005	-0,004	-0,027	0,072	-0,018	0,015	0,002	-0,122	0,166	1
FDA (ug FDA . gSS- 1.mLTP-1)	-0,036	-0,095	-0,058	0,039	0,038	0,067	0,039	-0,175	0,438	0,016	0,343	-0,034	0,054	-0,303	-0,453	-0,298	-0,014	0,132
Fosfatase (ug pnp g-1 solo h-1)	-0,033	-0,1	-0,061	0,147	0,071	0,103	-0,133	-0,082	-0,058	0,047	-0,028	-0,088	0,002	-0,01	0,355	-0,054	-0,129	-0,063