



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa

Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente



Engenheiro Agrônomo OSMUNDO SOARES DE OLIVEIRA

**RELAÇÕES ENTRE TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE DA
PRODUÇÃO DE MILHO EM SERGIPE A PARTIR DE INDICADORES
BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO**

Fevereiro – 2011
São Cristóvão – Sergipe
Brasil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa

Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente



Engenheiro Agrônomo OSMUNDO SOARES DE OLIVEIRA

**RELAÇÕES ENTRE TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE DA
PRODUÇÃO DE MILHO EM SERGIPE A PARTIR DE INDICADORES
BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

Orientador: Prof. Dr. Alceu Pedrotti

Coorientador: Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira

Fevereiro – 2011
São Cristóvão – Sergipe
Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Oliveira, Osmundo Soares de
O48r Relações entre tecnologia e sustentabilidade da produção de
milho em Sergipe a partir de indicadores biológicos da qualidade do
solo / Osmundo Soares de Oliveira. – São Cristóvão, 2011.
85 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) –
Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente,
Programa Regional de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Pró-
Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de
Sergipe, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Alceu Pedrotti

1. Meio ambiente - Sergipe. 2. Desenvolvimento sustentável. 3.
Meio ambiente – Inovações tecnológicas. 4. Agropecuária. I. Título.

CDU 502.15(813.7)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa

Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente



Engenheiro Agrônomo OSMUNDO SOARES DE OLIVEIRA

**RELAÇÕES ENTRE TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE DA
PRODUÇÃO DE MILHO EM SERGIPE A PARTIR DE INDICADORES
BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre pelo Núcleo de Pós-
Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da
Universidade Federal de Sergipe.

Aprovada em 18 de fevereiro de 2011

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alceu Pedrotti - Orientador
Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. Djail Santos
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Roberto Rodrigues de Souza
Universidade Federal de Sergipe

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado *Relações entre tecnologia e sustentabilidade da produção de milho em Sergipe a partir de indicadores biológicos da qualidade do solo* defendida pelo Engenheiro Agrônomo Osmundo Soares de Oliveira no Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

Prof. Dr. Alceu Pedrotti - Orientador
Universidade Federal de Sergipe

Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira - Coorientador
EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão

É concedida ao Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe permissão para disponibilizar, reproduzir, emprestar ou vender cópias desta dissertação.

Eng. Agrº Osmundo Soares de Oliveira - Autor
Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. Alceu Pedrotti - Orientador
Universidade Federal de Sergipe

Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira - Coorientador
EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão

Dedico este trabalho, de forma muito especial, a minha esposa Regilany, a minha filha Ana Carolina, a minha mãe Beene e ao amigo Mario Machado Silva, a este, *in memoriam*.

[...] Agora vemos como por um espelho, em enigma; mas depois veremos face a face.

(Coríntios; 13)

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas e instituições contribuíram para a realização deste trabalho, nada obstante os equívocos nele encontrados devam ser atribuídos exclusivamente ao autor. Começo por agradecer à minha família que é minha inspiração para os desafios desta vida. Agradeço ao meu orientador, Dr. Alceu Pedrotti, pela orientação esclarecedora, constante e ativa no decurso deste mestrado que envolveu não somente as necessárias reflexões teóricas, mas também trabalho de campo; ao Dr. Enderson Petrônio de Brito Ferreira, meu coorientador, pela competente orientação sobre microbiologia do solo, pela disponibilidade em esclarecer minhas dúvidas sobre este tão complexo e fascinante tema, e por ter viabilizado a realização de todas as análises laboratoriais no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão da Embrapa, em Santo Antônio de Goiás (GO), instituição a quem igualmente estendo minha gratidão e profundo respeito. Devo um agradecimento muito especial à equipe dos laboratórios de Biologia do Solo e Física do Solo daquela instituição de pesquisa: Adriano Knupp, Adilson Vilela, Sílvio Domingos, Beatriz Oliveira e a estagiária Zulmaylly Oliveira pela competência e dedicação quase que exclusiva para a consecução de tantas análises em um tempo tão exíguo. Minha gratidão também a Tatiely Bernardes, doutoranda em agronomia da Universidade Federal de Goiás, pela generosa ajuda nas análises da urease. Ao Dr. Tácio Oliveira da Silva, pelos esclarecimentos e ajuda nas análises estatísticas. Sou muitíssimo grato também às pessoas que viabilizaram a realização do trabalho de campo: Aíres Nascimento presidente do Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Poço Verde/SE e ao produtor rural Humberto César do Nascimento, seu esposo, aos agrônomos Mário Lucio Leite, Douglas Sodré e Marcelo Alves e aos proprietários das fazendas Riachão e Recanto, Francisco Prata e José Raimundo Alves, respectivamente, que disponibilizaram as áreas experimentais utilizadas neste estudo. Agradeço ao Banco do Brasil que me concedeu o tempo necessário a cursar os créditos deste mestrado. Por fim, minha profunda gratidão aos colegas de trabalho Zean Soares da Costa pelo auxílio em minhas inúmeras demandas sobre informática e a Irone Sidnei Fiamoncini Tigre, Alessandra Lopes Mariano e Sara Vieira Mendonça pelo incentivo desde o início, pela amizade, e por ter, de forma tão generosa, acumulado o trabalho motivado por minhas ausências durante o curso, trabalho este além das suas já tão custosas atribuições. Serei sempre grato a vocês.

RESUMO

Este trabalho teve dois objetivos. O primeiro foi caracterizar o atual processo de modernização do agronegócio do milho nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe. Baseado na intensificação do uso do capital financeiro e tecnologia agrônômica, observou-se que este processo apresenta os mesmos elementos caracterizadores da assim chamada modernização conservadora do agronegócio. Esses dois elementos, capital e tecnologia intensiva baseada em cultivos uniformes, têm redesenhado a agricultura nesta região estado, até então baseada em cultivos com tecnologias pouco intensivas, tradicionais, e com baixos rendimentos por unidade de área. Tal alteração dos padrões tecnológicos repercute não só no âmbito econômico, o qual mostra os resultados mais visíveis e imediatos, mas também no social e principalmente no ambiental. E é em relação às implicações ambientais que se assenta o segundo objetivo deste estudo, qual seja, interpretar se tais alterações já repercutem na sustentabilidade e na qualidade dos solos região. Para isso, foram analisados oito indicadores microbiológicos da qualidade do solo ligados à biomassa microbiana e suas atividades enzimáticas: carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), atividade enzimática total (AET), atividades enzimáticas específicas da fosfatase ácida (FAC), β -glucosidade (GLU) e da urease (AUR), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2). Cinco áreas foram utilizadas como tratamentos. Três delas envolveram o cultivo de milho (*Zea mays* L.): a) milho consorciado com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em cultivo convencional, típico da agricultura familiar; b) milho em plantio contínuo, também em cultivo convencional e com tecnologia intensiva no uso de insumos modernos; e c) milho em plantio contínuo e sistema de cultivo mínimo, igualmente com utilização intensa de insumos modernos. Os outros dois tratamentos foram representados por uma área de pastagem de capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) associado à algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC) e uma área controle de vegetação de transição para Caatinga. Os resultados de três indicadores, AET, AUR e NBM, mostraram uma tendência de aumento da qualidade do solo quando estes foram cultivados sob o sistema de cultivo mínimo. Os indicadores da FAC e GLU mostraram uma piora na qualidade do solo em todas as áreas de milho cultivadas comparando-se à área nativa e a de pastagem. Para os indicadores CBM, RBS e qCO_2 não houve alterações estatisticamente significativas na qualidade do solo entre os tratamentos.

Palavras-chave: sustentabilidade agropecuária; modernização tecnológica; indicadores ambientais.

ABSTRACT

This research had two objectives. The first was to characterize the current process of modernization of the corn agribusiness in the *Agreste* and Center-South regions of Sergipe. Based on the intensification of financial capital and agricultural technology, it was observed that this process demonstrates the same elements that characterize the so-called 'conservative modernization' of agribusiness. These two elements, capital and intensive technology based on the uniform culture of crops, have redesigned the face of agriculture in that area of the State, which until recently was characterized by the use of traditional agricultural methods utilizing low-intensive technology and with low yields per unit area. Such changes in standard technology affect not only the economic sphere, which shows the most visible and immediate impacts, but also have significant social and, especially, environmental consequences. The environmental implications of agricultural modernization are the focus of the second objective of this research: to identify if those changes are impacting on the sustainability and soil quality of the region. This objective was addressed through an analysis of eight microbiological indicators of soil quality related to microbial biomass and enzymatic activities: microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN), total enzymatic activity (ETA), specific enzyme activities of acid phosphatase (ACP), β -glucosidase (GLU) and urease (URA), basal soil respiration (BSR) and the metabolic quotient (qCO_2). Five areas were chosen as treatments. Three of them involved the cultivation of maize (*Zea mays* L.): a) maize intercropped with beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in conventional cultivation used by a typical family farm; b) conventional farming maize, but with the use of intensive technology, and; c) maize in a minimal system of cultivation, also using intensive technology. The final two treatments were represented by a pasture of Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq. cv. *Tanzania*) associated with mesquite (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC) and a control area of the transitional vegetation of the Caatinga. The results of three indicators: ETA, URA and MBN showed a tendency of increase in the soil quality when it was grown in a minimal system of cultivation. The ACP and GLU indicators showed deterioration in soil quality in every area of maize grown when compared to the native area and pasture, as for the MBC, BSR and qCO_2 indicators there were no statistically significant changes in soil quality among the treatments.

Key words: agricultural sustainability; technological modernization; environmental indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Número	Título	Pg.
1.1	Fotos do sistema de cultivo tradicional de milho consorciado com feijão, típico da agricultura familiar em Poço Verde/SE, e da monocultura do milho com cultivares de alta produtividade, equipamento de plantio de precisão, preparo mecanizado do solo e operação de colheita motomecanizada, que configuram o novo cenário do agronegócio do milho na região de Simão Dias/SE e adjacências.....	34

LISTA DE TABELAS

Número	Título	Pg.
1.1	Custo médio de produção de milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe - Sistema de produção tradicional – produtividade média de 2.000 kg ha ⁻¹	45
1.2	Custo médio de produção de milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe - Sistema de produção intensivo – produtividade média de 5.500 kg ha ⁻¹	46

LISTA DE GRÁFICOS

Número	Título	Pg.
1.1	Evolução da produtividade média de milho em Sergipe.....	36
1.2	Evolução da área plantada de milho em Sergipe.....	36
1.3	Evolução da produção de milho em Sergipe.....	37
1.4	Ranking da produção de milho dos estados do Norte e Nordeste do Brasil – Safra 2009.....	37
1.5	Evolução da demanda por crédito rural oficial de custeio agrícola em Sergipe.....	38
1.6	Evolução das vendas no atacado de tratores de rodas em Sergipe....	39
1.7	Evolução da venda de fertilizantes agrícolas em Sergipe.....	40
1.8	Evolução das vendas de agrotóxicos (produto comercial) em Sergipe.....	41
1.9	Preços médios do milho recebidos pelos agricultores à época da colheita na região de Simão Dias/SE.....	48
2.1	Comportamento da atividade enzimática total no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.....	60
2.2	Comportamento da atividade da urease no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.....	61
2.3	Comportamento do nitrogênio da biomassa microbiana no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.....	63
3.1	Comportamento da atividade da fosfatase ácida no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.....	72
3.2	Comportamento da atividade da β -glucosidase no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.....	74
3.3	Comportamento do carbono da biomassa microbiana no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.....	75
3.4	Comportamento da respiração basal do solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.....	77
3.5	Comportamento do quociente metabólico no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.....	78

LISTA DE FIGURAS

Número	Título	Pg.
1.1	Mapa do estado de Sergipe destacando a região foco do atual processo de modernização tecnológica do agronegócio do milho...	33
1.2	Quadro resumo da planilha de avaliação de impacto ambiental de tecnologia na região oeste de Sergipe através da metodologia Ambitec-Agro (Oliveira, 2009).....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

AET	Atividade enzimática total
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
AUR	Atividade da urease
BCB	Banco Central do Brasil
CBM	Carbono da biomassa microbiana
CTA	Área de estudo de campo correspondente à pastagem associada à algaroba
EMBRAPA/CNPAF	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão
FAC	Atividade da fosfatase ácida
FDA	Diacetato de fluoresceína (hidrolizado)
GLU	Atividade da β -glucosidase
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MCF	Área de estudo de campo correspondente ao cultivo de milho consorciado com feijão
MCM	Área de estudo de campo correspondente ao cultivo de milho isolado em sistema de cultivo mínimo
MPC	Área de estudo de campo correspondente ao cultivo de milho isolado em sistema convencional de plantio
NBM	Nitrogênio da biomassa microbiana
qCO₂	Quociente metabólico
RBS	Respiração basal do solo
SINDAG	Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal
VNT	Área de estudo de campo correspondente à vegetação nativa de caatinga

SUMÁRIO

	Pg.
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvi
Introdução – Justificativas – Objetivo geral.....	20
CAPÍTULO 1.....	23
1.0 – Inserção e evolução de tecnologias nos agrossistemas do milho no Agreste e Centro-Sul sergipano.....	24
1.1 – Introdução.....	24
1.2 – Revisão bibliográfica.....	25
1.2.1 – Modernização da agricultura.....	25
1.2.2 – As transformações tecnológicas do cultivo do milho no Agreste e Centro-Sul sergipano.....	32
1.2.3 – O fator econômico como determinante da expansão da agricultura moderna no Agreste e Centro-Sul sergipano: repercussão sobre a agricultura familiar e sustentabilidade da agricultura local.....	43
1.3 – Conclusões.....	50
1.4 – Referências.....	51
CAPÍTULO 2.....	54
2.0 – Indicadores microbiológicos de qualidade do solo: atividade enzimática total, atividade da urease e nitrogênio da biomassa microbiana.....	55
2.1 – Introdução.....	55
2.2 – Materiais e métodos.....	56
2.2.1 – Experimento de campo.....	56

2.2.2 – Análises laboratoriais.....	56
2.2.3 – Análises estatísticas.....	58
2.3 – Resultados e discussão.....	59
2.3.1 – Análise dos indicadores.....	59
2.3.1.1 – Atividade enzimática total (AET).....	59
2.3.1.2 – Atividade da urease (AUR).....	61
2.3.1.3 – Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM).....	62
2.4 – Conclusões.....	64
2.5 – Referências.....	65
CAPÍTULO 3.....	67
3.0 – Indicadores microbiológicos de qualidade do solo: atividade da fosfatase ácida, atividade da β-glucosidase, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente metabólico.....	68
3.1 – Introdução.....	68
3.2 – Materiais e métodos.....	68
3.2.1 – Experimento de campo.....	68
3.2.2 – Análises laboratoriais.....	69
3.2.3 – Análises estatísticas.....	71
3.3 – Resultados e discussão.....	71
3.3.1 – Análise dos indicadores.....	71
3.3.1.1 – Atividade da fosfatase ácida (FAC).....	71
3.3.1.2 – Atividade da β -glucosidase (GLU).....	73
3.3.1.3 – Carbono da biomassa microbiana (CBM).....	75
3.3.1.4 – Respiração basal do solo (RBS).....	76
3.3.1.5 – Quociente metabólico (qCO_2).....	78

3.4 – Conclusões.....	79
3.5 – Referências.....	80
CONCLUSÕES GERAIS.....	82
SUGESTÕES.....	84

INTRODUÇÃO
JESTIFICATIVAS
OBJETIVO GERAL

Introdução

O propósito deste trabalho foi analisar a recente transformação tecnológica e modernização da produção de milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe e suas implicações ambientais. Por se tratar de um processo com grande potencial de repercussão nos campos econômico, social e ambiental, faz-se necessário o aprofundamento na compreensão de suas consequências, não só pela análise acadêmica, mas também, e principalmente, pelos atores diretamente envolvidos, os agricultores, e agentes governamentais e privados. Este trabalho buscou oferecer uma parcela de contribuição no entendimento destas importantes mudanças no cenário agrícola dessas regiões do Estado.

O estudo está dividido em três capítulos. No primeiro é feita uma análise dos principais fatores tecnológicos que têm caracterizado as atuais transformações no cultivo do milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe. Neste capítulo também é realizada uma breve consideração acerca das implicações econômicas desse processo sobre a agricultura familiar, na medida em que sistemas mais intensivos de cultivos tendem a promover maiores agravos ambientais que os sistemas baseados nos policultivos típicos da agricultura familiar. Assim, faz-se necessário compreender quais as perspectivas da agricultura familiar face ao cenário recente do avanço da agricultura empresarial na região deste estudo. O segundo capítulo apresenta uma análise específica de sustentabilidade agrícola utilizando-se de indicadores microbiológicos de qualidade do solo. Nele foram agrupados os resultados dos indicadores da atividade enzimática total do solo, atividade da urease e nitrogênio da atividade microbiana, os quais mostraram uma tendência de melhoria em termos de sustentabilidade considerando as diferentes formas de uso do solo na região, aí incluídas três sistemas de cultivo de milho. O terceiro capítulo também se refere ao uso de indicadores microbiológicos de sustentabilidade do solo sendo que nele foram agrupados os resultados de indicadores que mostraram redução na qualidade do solo em função do seu uso (atividade da fosfatase ácida e da β -glucosidase) e ainda aqueles que não mostraram alterações em função do uso do solo (carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente metabólico). Em seguida são apresentadas as conclusões gerais do estudo e, finalmente, as sugestões de análises

posteriores, consideradas importantes para melhor caracterização desse processo de transformação da agricultura nestas microrregiões do estado de Sergipe.

Justificativa

As recentes modificações tecnológicas na cultura do milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe têm ocorrido de forma muito dinâmica. De um padrão tradicional de cultivo, em um período de pouco mais de meia década pôde-se alcançar, em algumas propriedades, produtividades superiores às verificadas em regiões tradicionais do agronegócio empresarial do Brasil. Face a essa questão, este trabalho pauta-se nas duas seguintes justificativas:

1) Por tratar-se de um fenômeno novo que começa a inserir o Agreste e Centro-Sul de Sergipe no contexto do agronegócio, observa-se um rápido aquecimento dos setores que estão à montante e a jusante do processo de produção propriamente dito. Todo esse aparato, representativo do pacote tecnológico da agricultura de alto desempenho, representa *inputs* diferentes à região e passa a atuar sobre o ambiente local com grande potencial de repercussões econômicas, sociais e ambientais.

2) Há ainda poucos estudos sobre impacto ambiental de inovação tecnológica na agropecuária no ambiente do Agreste e Centro-Sul do Estado.

Objetivo geral

O objetivo geral desse estudo foi o de apontar alguns dos elementos caracterizadores dessa mudança tecnológica conjugando com uma análise de sustentabilidade ambiental através do estudo de indicadores microbiológicos da qualidade do solo. Esta análise de sustentabilidade visou a detectar se tais alterações tecnológicas já repercutem sobre os solos locais e, conseqüentemente, sobre o ambiente agrícola da região.

CAPÍTULO 1

INSERÇÃO E EVOLUÇÃO DE TECNOLOGIAS NOS AGROSSISTEMAS DO MILHO NO AGRESTE E CENTRO-SUL SERGIPANO

1.0 – Inserção e evolução de tecnologias nos agrossistemas do milho no Agreste e Centro-Sul sergipano

1.1 – Introdução

Nos últimos anos têm-se operado uma importante transformação na base técnica da produção de milho no Agreste e Centro-Sul sergipano. Anteriormente cultivada de forma tradicional, esta cultura passa a seguir o receituário do pacote tecnológico da agricultura moderna: mecanização intensiva em todas as fases da lavoura, uso de agroquímicos (fertilizantes de alta solubilidade e agrotóxicos) e uso de cultivares de alto desempenho.

Diferentemente de outras fases de desenvolvimento agrícola na região onde apenas os subsídios creditícios oficiais pautavam o enriquecimento do empresariado rural sem que lhes fossem necessariamente exigido eficiência produtiva, o atual momento se diferencia exatamente pela maior eficiência produtiva dos produtores. Com isso, é possível atualmente se verificar altas performances de produtividade nos cultivos.

As atuais performances de altas produtividades físicas da cultura do milho aliadas aos elevados retornos financeiros têm promovido uma rápida expansão dessa cultura, com suas consequências nos campos econômico, social e ambiental. No tocante às consequências ambientais, e especificamente considerando o componente dos solos o qual se constitui uma das principais variáveis impactadas nos sistemas agrícolas, é necessário se avaliar o que estas mudanças podem estar produzindo na região, e o que se pode deduzir dos resultados disponíveis.

O objetivo específico deste capítulo foi realizar uma análise dos fatores que têm caracterizado as atuais mudanças no padrão tecnológico da produção de milho no Agreste e Centro-Sul sergipano. Para tanto, foram analisadas a evolução do uso de insumos modernos (fertilizantes químicos e agrotóxicos), mecanização agrícola, bem como o incremento no uso do crédito rural no Estado e em quatro municípios pioneiros neste processo de transformação tecnológica: Carira, Frei Paulo, Pinhão e Simão Dias.

1.2 – Revisão bibliográfica:

1.2.1 – Modernização da agricultura

O termo modernização tem sido utilizado em ampla acepção, referindo-se tanto às transformações capitalistas na base técnica da produção agrícola, como também à passagem de uma agricultura natural para a que utiliza insumos fabricados industrialmente (SILVA, 1998). No âmbito deste estudo, o termo se refere essencialmente às alterações tecnológicas ocorridas nos últimos anos no cultivo de milho no Agreste e Centro-Sul sergipano. Como já ocorrera em outras regiões de fronteira agrícola do país, onde o sucesso econômico do agronegócio sancionou práticas insustentáveis, a modernização agrícola de uma região tradicionalmente conhecida por seus baixos rendimentos agrícolas exige um acompanhamento contínuo visando a se garantir o desenvolvimento econômico aliado à sustentabilidade ambiental. Não é tarefa fácil, contudo, conciliar desenvolvimento agrícola e sustentabilidade. Martins (2002) afirma que a agricultura foi sendo tensionada por sua base industrial – mecanização e agroquímica – que em nome da luta contra a fome, contraditoriamente, priorizou a produção agrícola no âmbito das relações econômicas em detrimento de seu compromisso com a diminuição da injustiça social, valorização do homem e respeito ao entorno natural. Por outro lado, como bem assinala José Eli da Veiga, as atuais soluções sustentáveis [na agricultura] não se mostram multiplicáveis. São específicas aos ecossistemas e muito exigentes em conhecimento agroecológico, além de pouco competitivas, tanto do ponto de vista econômico, como do ponto de vista político (VEIGA, 1998). Temos, então, a contradição de uma agricultura que para se modernizar teve que se afastar de práticas sustentáveis e ao mesmo tempo não dispomos de alternativas que produzam alimentos e fibras em escala suficiente para as atuais demandas mundiais.

O avanço tecnológico foi a marca do século XX. A rapidez com que a ciência e a tecnologia impuseram seu ritmo, transformando métodos e processos de produção, moldou o desenvolvimento econômico de uma forma possivelmente sem paralelo em toda a história da humanidade, sobretudo no período pós Segunda Guerra, desdobrando-se até os dias atuais. As consequências, como não poderiam deixar de ser em momentos de significativas transformações, foram tanto benéficas, como a

possibilidade de melhorias na longevidade e na qualidade da vida de um enorme contingente de pessoas em todo o mundo, como também negativas, a exemplo da gigantesca pressão sobre os recursos naturais e a carga de poluentes sem precedentes a que foi submetido o planeta e todas as suas formas de vida. Neste ponto, radicaliza-se a ruptura homem-natureza e esta será, como nunca antes, subtraída em seus recursos a fim de suportar a reprodução do capital, agora em sua fase globalizada de acumulação.

Este avanço opera-se em todos os campos da atividade humana e em escala global e é tanto maior em setores que geram o consumo para uma civilização cada vez mais ávida por usufruir produtos e serviços, e cujo fascínio neste propósito parece não conhecer limites de satisfação, nem tampouco as conseqüências sociais e ambientais de atitudes perdulárias.

A agricultura não ficou à margem dessas profundas mudanças e nesta área se processaram, e continuam a ter lugar, gigantescas transformações. Norman Borlaug, prêmio Nobel da Paz em 1970, e tido como “pai da Revolução Verde”, defende que o potencial das terras disponíveis é limitado, e que nos próximos anos a maior parte dos alimentos para alimentar uma população mundial crescente será obtida por aumento de produtividade com a utilização das tecnologias agrônômicas já disponíveis ou em desenvolvimento (REVISTA AGROANALYSIS, 2004). Embora tenha proporcionado significativos aumentos na produção física de alimentos em países de menor desenvolvimento econômico a partir dos anos 60, o modelo de agricultura baseado nas premissas da Revolução Verde sofre críticas quanto ao seu caráter de modernização conservadora, que aprofunda as desigualdades no campo, bem como pelo fato de causar danos significativos ao meio ambiente.

A agricultura é um advento de aproximadamente dez mil anos e surge quando os povos do norte da África e oeste asiático abandonam a prática da caça e coleta e passam a produzir seus próprios alimentos. Entretanto, o que entendemos por agricultura moderna é algo bem mais recente datando dos séculos XVIII e XIX (EHLERS, 1999). Ainda segundo esse autor, o surgimento da agricultura moderna dá-se em diferentes regiões do oeste da Europa e é marcado por duas Revoluções Agrícolas. A primeira, caracterizada pela aproximação entre agricultura e pecuária e rotação de lavouras com forrageiras resultou em significativo aumento de

produtividade com conseqüências positivas na redução da escassez de alimentos que se verificava em partes da Europa. A segunda vem no bojo das descobertas científicas do final do século XIX e início do século XX, sobretudo nas áreas de química do solo e fertilizantes, melhoramento genético e motores a combustão interna. Ehlers ressalta que a segunda revolução “consolidou o padrão produtivo químico, motomecânico e genético”. Isso irá determinar o abandono do sistema rotacional de cultivos e também o “divórcio da produção animal e vegetal”. Esse padrão produtivo da agricultura se intensificará na década de 1970 com a Revolução Verde, (EHLERS, 1999).

Analisando as transformações da agricultura decorrentes do processo de desenvolvimento histórico da indústria, Porto Gonçalves (2006) assinala que com o advento da indústria e da máquina a vapor a agricultura passa cada vez mais a ser um subsistema dependente dos insumos da indústria e dos financiamentos bancários. Essas, conclui o autor, foram condições que permitiram à agricultura especializar-se em monocultivos, rompendo o modelo de agricultura integrada à pecuária e do extrativismo, produzindo repercussões negativas para o meio ambiente.

Ao apresentar sua reflexão sobre a teoria da chamada *falha metabólica* entre o homem e a terra, desenvolvida por Marx, Foster (2005) assinala que esta falha se dá quando a agricultura não mais encontra dentro da própria natureza a sua condição de “existência independente, espontânea, a partir de fontes naturais”. Segundo o autor, ao passar a depender de insumos da indústria a agricultura deixa de ser auto-sustentável passando então a existir de forma separada das condições naturais. Isso foi determinado pela necessidade de comércio de alimentos e fibras a longas distâncias, o que inexoravelmente expropriava o solo dos seus constituintes naturais, exigindo sua reposição sistemática. Nesse caso, o crescimento simultâneo entre indústria e agricultura permitiu a esta última as condições de exploração intensiva do solo. É importante frisar que a formulação da falha metabólica, ainda de acordo com Foster, se dá no contexto da chamada Segunda Revolução Agrícola (1830-1880), um período marcado por importantes avanços na química do solo, e representa, para Marx, parte da própria lógica do desenvolvimento capitalista, revelada não só pela ruptura do homem e natureza mas também pelo antagonismo entre cidade e campo (FOSTER, 2005).

No contexto mais recente, de acordo com Almeida (1988), é no cenário macroeconômico do desenvolvimento mundial após a Segunda Guerra que a agricultura nos Estados Unidos e Europa, considerada até então um setor arcaico, vai se inserir mais intensamente no sistema econômico, isso “sob a ação conjugada do Estado, das indústrias agroalimentares e de uma camada de agricultores empresariais”. Ainda segundo esse autor, “para atingir um estágio urbano de modernidade, parâmetro de desenvolvimento por excelência, a agricultura buscou – e busca – integrar-se ao crescimento econômico geral aumentando a produção e a produtividade, comprando e vendendo à indústria” (ALMEIDA, 1988).

Refletindo sobre o progresso técnico na agricultura e suas implicações sobre o trabalho, Silva (1981) afirma que, sendo uma das faces do seu próprio desenvolvimento, o progresso técnico no campo atua subordinando a terra e a natureza ao interesse do capital. Segundo este estudioso, a intensificação da exploração agrícola tira da natureza a condição de meio fundamental da produção (fertilidade dos solos, água das chuvas etc.) passando esta função para o capital, através dos meios de produção (máquinas, fertilizantes etc.), que desta forma, passa a aumentar “artificialmente” a produtividade do trabalho. “O próprio capital cria essas condições, controla e desperta as forças da natureza, tornando a produção agrícola mais intensiva sob seu domínio”. Posteriormente, estudando a passagem da agricultura brasileira do complexo rural para o complexo agroindustrial este mesmo autor considera que o desenvolvimento do capitalismo na agricultura ocasionou a ruptura de um sistema assentado na “harmonia” do homem com a natureza criando o que chama de uma *nova síntese*, qual seja, a transformação da agricultura em um ramo da indústria (SILVA, 1998). O que equivale a dizer, ainda segundo o autor, que a agricultura deixa de depender das condições naturais para associar-se e transformar-se, ela própria, em uma *fábrica*. As transformações, ou modernização da base técnica, responsáveis por essa sujeição da natureza aos interesses do capital, culminaram naquilo que o autor chama de industrialização da agricultura (SILVA, 1998).

Ao discutir a questão da chamada industrialização da agricultura, Veiga (1991), entretanto, defende que as singularidades inerentes à agricultura “escondem um problema teórico”, seguramente não pacífico entre os pensadores do tema. Para o autor, o processo de transformação da energia solar em alimento realizado pelas

plantas e a falta de uma alternativa para tal processo impõe que não se pode falar propriamente em “industrialização da agricultura”, embora, segundo ele, grandes economistas consideraram que “a missão histórica do capitalismo era transcender o caráter limitado e condicionado das formas anteriores de interação com a natureza”. Embora a modernidade tecnológica da agricultura tenha associação profunda com a indústria, não existe, para Veiga, uma penetração do processo industrial naquilo que é singular na agricultura: a produção da “matéria-nova”. Ainda que a indústria esteja fortemente inserida antes e depois desse processo, sustenta o autor que “há um momento transformativo nesse processo de trabalho, mas essa transformação é realizada por mecanismos orgânico-naturais e não pela aplicação do trabalho humano” que para ele, no caso específico da agricultura, tem a função de “sustentar ou regular as condições ambientais sob as quais as plantas e os animais crescem e se reproduzem” (VEIGA, 1991).

Por esta mesma linha de análise Goodman, Sorj e Wilkinson (1990) estabelecem uma reflexão contrária aos teóricos que defendem que a agricultura estaria fadada a se constituir um mero ramo da produção industrial. Segundo estes autores, não havendo alternativa industrial à transformação de energia solar para a produção de alimentos, bem como considerando-se que as estruturas de produção agrícola são governadas pelo necessário tempo biológico para produção vegetal e animal, e por esta ser uma produção baseada na terra e em outros fatores naturais, o caminho encontrado pelo capital industrial em seu processo de acumulação foi o que conceituaram de *apropriacionismo* e *substitucionismo*. O primeiro conceito diz respeito a que os capitais industriais, geralmente representados pelos complexos agroindustriais, se apropriam de forma “parcial, descontínua e persistente” do que chamam de elementos discretos do trabalho rural e dos processos biológicos de produção, transformando-os e reincorporando-os na atividade agrícola sob a forma de insumos. Como exemplo, citam o ramo de máquinas, fertilizantes, sementes híbridas, produtos químicos e biotecnologias. Estes autores salientam o importante fato de que “o modo anárquico de incorporação destas apropriações industriais parciais da produção rural é a causa dos custos incalculáveis da poluição ambiental e da degradação ecológica das áreas rurais”. Dentro da mesma lógica da acumulação, o substitucionismo representa o engenho da indústria alimentícia em transmutar os produtos agrícolas de meros alimentos a insumos dessa indústria, na medida em que

“neste processo a atividade industrial não apenas representa uma proporção do valor agregado, mas o produto agrícola, depois de ser primeiramente reduzido a um insumo industrial, sofre cada vez mais a substituição por componentes não agrícolas” (GOODMAN et al., 1990)

A associação da agricultura com a modernidade ligada ao segmento econômico da indústria suscita desde há muito tempo acalorados debates na sociedade. Uma das questões centrais desse debate reside no fato de que a integração da agricultura ao complexo agroindustrial tornou esta um setor econômico a serviço do capital com profundas conseqüências sociais, econômicas e ambientais daí advindas. Para a maioria dos segmentos intensamente integrados a essa engrenagem – o chamado empresariado rural - as conseqüências positivas superam com razoável vantagem os efeitos negativos. Para os segmentos marginais de agricultores e de estudiosos e intelectuais mais críticos desta articulação, a chamada modernização agrícola beira o desastre, tamanho os seus efeitos deletérios sobretudo nos âmbitos social e ambiental. Mas o fato é que o discurso da sustentabilidade, antes hostilizado pelo empresariado rural, passa agora a fazer parte da pauta desse segmento como resultado da inevitável pressão da sociedade em âmbito mundial, cada vez mais ciente da necessidade de preservação do planeta. Veiga (1998), sintetiza muito apropriadamente a resistência inicial e dificuldade atual do agronegócio em internalizar concretamente a questão ambiental:

Na verdade, a mesma coalizão que promoveu o escárnio público dos “alternativos” durante a década de 70, agora admite, com certo embaraço, que a agricultura precisa mesmo ser mais sustentável. Isto não quer dizer, no entanto, que ela tenha “esverdeado”. Ao contrário, apesar de se sentirem na defensiva, vários segmentos do *establishment* (agroburocracia e agronegócio) continuam a “espinafrear” os ambientalistas. A grande diferença é que se tornou impossível desqualificar a preocupação dos contestadores com a saúde e com os recursos naturais, como aconteceu até meados dos anos 80. Agora, os ideais ecológicos dos “alternativos”, são, ao contrário, enaltecidos. Apenas o irrealismo de suas propostas é recusado. (VEIGA, 1998; *aspas e grifos do autor*)

A incorporação do discurso da sustentabilidade pelo segmento do agribusiness vem, contudo, tardiamente se considerarmos os questionamentos de ambientalistas

sobre a grave crise ambiental do planeta já nos anos 70. Além disso, no âmago desse discurso não se questiona a base científica e tecnológica que alicerça o atual modelo de produção. Se considerarmos a análise de Enrique Leff, este tipo de discurso pretende escamotear a grave crise ambiental que vivenciamos na medida em que temos “o racionalismo tecnológico aplicado sobre a organização da natureza como o elemento chave da degradação ambiental que ora vivenciamos”. Em sua análise, o que estamos vivendo não é tão somente uma crise ambiental, mas uma crise da própria civilização “manifesta por um modelo de desenvolvimento marcado pela razão tecnológica a qual se impõe sobre a organização da natureza”. Para o autor “a racionalidade econômica banuiu a natureza da esfera da produção, gerando processos de destruição ecológica e degradação ambiental” e afirma ainda que “o conceito de sustentabilidade surge, portanto, do reconhecimento da função de suporte da natureza, condição e potencial do processo de produção” (LEFF, 2001), todavia, prossegue o autor:

“A retórica do desenvolvimento sustentável converteu o sentido crítico do conceito de ambiente numa proclamação de políticas neoliberais que nos levariam aos objetivos do equilíbrio ecológico e da justiça social por uma via mais eficaz: o crescimento econômico orientado pelo livre mercado. Este discurso promete alcançar seu propósito sem uma fundamentação sobre a capacidade do mercado de dar o justo valor à natureza e à cultura; de internalizar as externalidades ambientais e dissolver as desigualdades sociais; de reverter as leis da entropia e atualizar as preferências das futuras gerações”... “Diante da crise ambiental a racionalidade econômica resiste à mudança induzindo com o discurso da sustentabilidade uma estratégia de simulação e perversão do pensamento ambiental.” (Leff, 2001)

Estudando os impactos provocados pela modernização da agricultura no Brasil, Balsan (2006) afirma que se por um lado esta modernização agrícola aumentou a produtividade das lavouras, por outro ocasionou a destruição de florestas e da biodiversidade além da erosão do solo e a contaminação dos recursos naturais e dos alimentos. Portanto, este é um padrão de produção fortemente impactante dos recursos naturais e que possivelmente demandará muito conhecimento científico e disposição política para adequar-se a uma lógica mais sustentável de exploração agrícola.

Pesquisando o processo de modernização conservadora da agricultura no Cerrado goiano, Mendonça et al. (2002) destacam que os impactos dessa modernização se dão fundamentalmente em duas dimensões, a social e a ambiental. Em relação à dimensão social os autores afirmam ter havido um reforço na concentração de terras em razão da “desterreação ou a expulsão de milhares de famílias de pequenos produtores que atualmente vivem em áreas de fronteira ou nos centros urbanos”. Já no tocante à dimensão ambiental, apontam a necessidade de seu aprofundamento uma vez que:

Não temos clareza da envergadura dos impactos ambientais provocados pela ‘modernização conservadora’. Sabe-se que o desmatamento, a erosão o assoreamento dos cursos d’água, a construção de reservatórios para irrigação e geração de energia, o intenso uso de agrotóxicos, etc. alteram drasticamente o bioma cerrado. (MENDONÇA et al., 2002)

Embora desde a década de 1970 as áreas de Cerrado do Brasil Central venham sendo incorporadas para cultivos agrícolas intensivos, ainda não se tem respostas suficientes em relação aos impactos ambientais deste processo naquela região, conforme assinalado por Mendonça (2002). Desta forma, e considerando que o processo de modernização da base técnica da agricultura no Agreste e Centro-Sul sergipano é mais recente, faz-se necessário o aprofundamento dos estudos ambientais nestas regiões do Estado.

1.2.2 – As transformações tecnológicas do cultivo do milho no Agreste e Centro-Sul sergipano

O atual processo de modernização da produção de milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe teve início no município de Simão Dias em 2003 com a implantação dos primeiros experimentos de competição de cultivares pela Embrapa Tabuleiros Costeiros, e daí, gradativamente, se ampliou para os municípios vizinhos (Figura 1.1). A atividade rural esteve sempre ligada à formação econômica e social de Simão Dias e região desde a época da colonização. Uma vez que o avanço da cana-de-açúcar ocorreu inicialmente nas terras próximas ao litoral, o rebanho tomou os espaços interiores, incluindo a região de Simão Dias. A pecuária, desta forma, torna-se fator de expansão territorial do estado de Sergipe (SANTOS, 2005). Todavia, esta autora,

uso de agroquímicos (fertilizantes de alta solubilidade e agrotóxicos), uso de cultivares de alto desempenho, incluindo materiais geneticamente modificados por técnicas de engenharia genética (transgênicos) e plantios em extensas áreas visando ao ganho de escala.

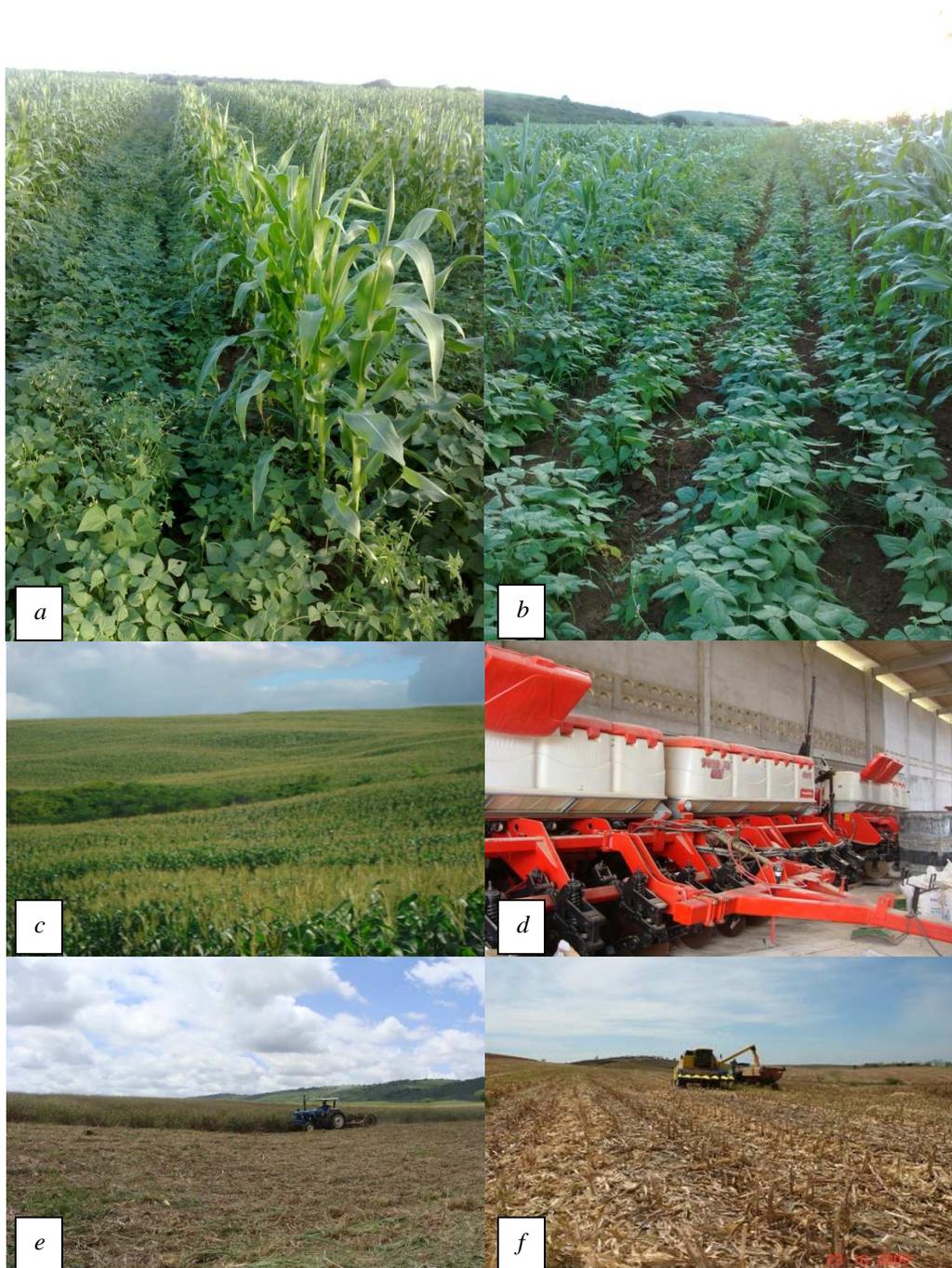


Foto 1.1 – Sistema de cultivo tradicional de milho consorciado com feijão, típico da agricultura familiar em Poço Verde/SE (a e b), e monocultura de milho com cultivares de alta produtividade (c), equipamento de plantio de precisão (d), preparo mecanizado do solo (e) e operação de colheita motomecanizada (f) que configuram o novo cenário do agronegócio do milho na região de Simão Dias/SE e adjacências.

Fonte: Arquivo pessoal do autor (2010).

Isso tem permitido que se obtenham nessas áreas produtividades físicas superiores a 9.000 kg de grãos por hectare. Esses rendimentos, inimagináveis no Agreste e Centro-Sul sergipano há alguns anos atrás, atualmente se configuram como uma realidade estabelecida e com perspectiva de aumento nos mesmos moldes do que há alguns anos ocorrera em outras regiões do país, consideradas fronteiras de expansão, e atualmente áreas centrais do agronegócio empresarial.

Este novo cenário foi responsável por elevar a produtividade média da cultura do milho no Estado em mais de 370% do início da década até o presente momento. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, de pouco mais 860 kg ha⁻¹ a produtividade desta cultura saltou para mais de 4.000 kg ha⁻¹ neste período. Esta melhoria de produtividade é ainda maior considerando-se a performance dos quatro municípios da região estudada, pioneiros na produção de milho no sistema de tecnologia intensiva: Carira, Frei Paulo, Pinhão e Simão Dias (Gráfico 1.1). Nestes municípios, no mesmo período acima considerado, o salto na produtividade média do elevou-se em mais de 670%, sendo atualmente superiores às médias do Estado e do Brasil. Ainda segundo o IBGE, entre as safras 2001 e 2009 o crescimento da produtividade média do milho na região Nordeste foi de 79,5%, saltando de 898 kg ha⁻¹ para 1.612 kg ha⁻¹. No Brasil, esse incremento foi ainda menor, 8,9%, elevando-se de 3.401 kg ha⁻¹ em 2001 para 3.704 kg ha⁻¹ em 2009.

A área plantada em Sergipe, no entanto, elevou-se em 85% no período (Gráfico 1.2) refletindo que, de fato, o aumento da produção deveu-se ao maior rendimento físico do grão por unidade de área plantada. Em termos de quantidade produzida este fenômeno elevou Sergipe ao posto de segundo colocado na produção de milho no Norte/Nordeste saltando de pouco mais de 46 mil toneladas em 2001 para mais de 703 mil toneladas em 2009 (Gráficos 1.3 e 1.4), sendo este comportamento semelhante ao observado para os dados de produtividade. Os quatro municípios pioneiros respondem atualmente por 68% da produção de milho do Estado (IBGE, 2010).

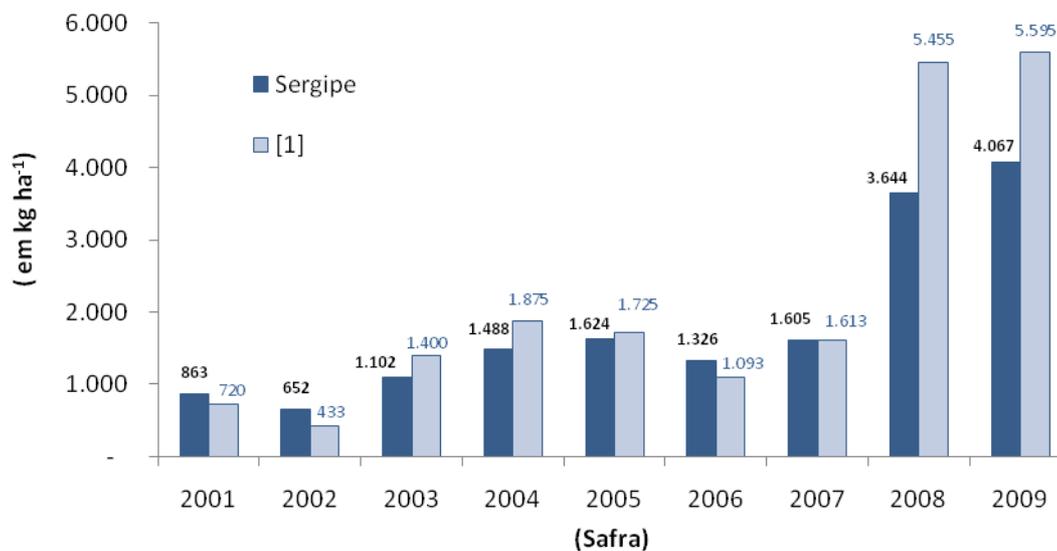


Gráfico 1.1 - Evolução da produtividade média de milho em Sergipe.

Fonte: IBGE (2010)

(1) Média da produtividade de milho nos quatro municípios pioneiros no cultivo intensivo desta cultura em Sergipe: Carira, Frei Paulo, Pinhão e Simão Dias.

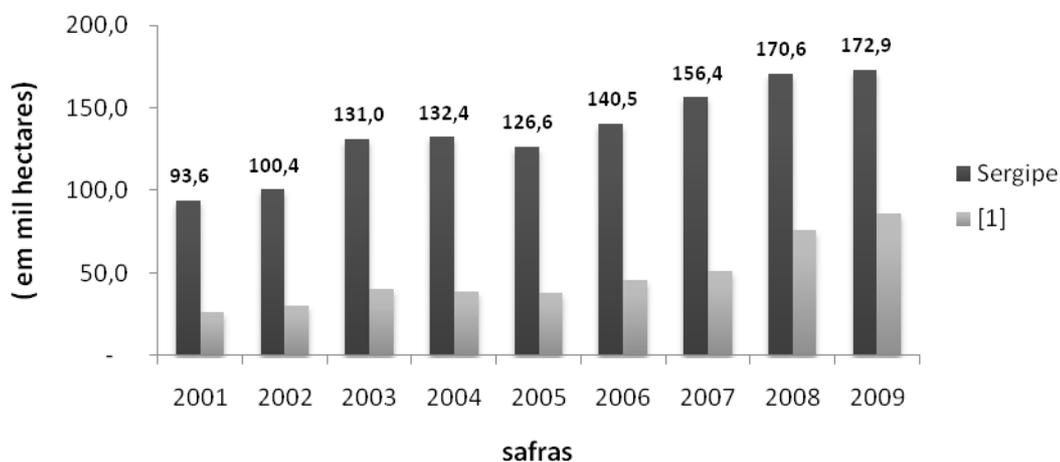


Gráfico 1.2 - Evolução da área plantada de milho em Sergipe.

Fonte: IBGE (2010)

(1) Somatório da área plantada de milho nos quatro municípios pioneiros no cultivo intensivo desta cultura em Sergipe: Carira, Frei Paulo, Pinhão e Simão Dias.

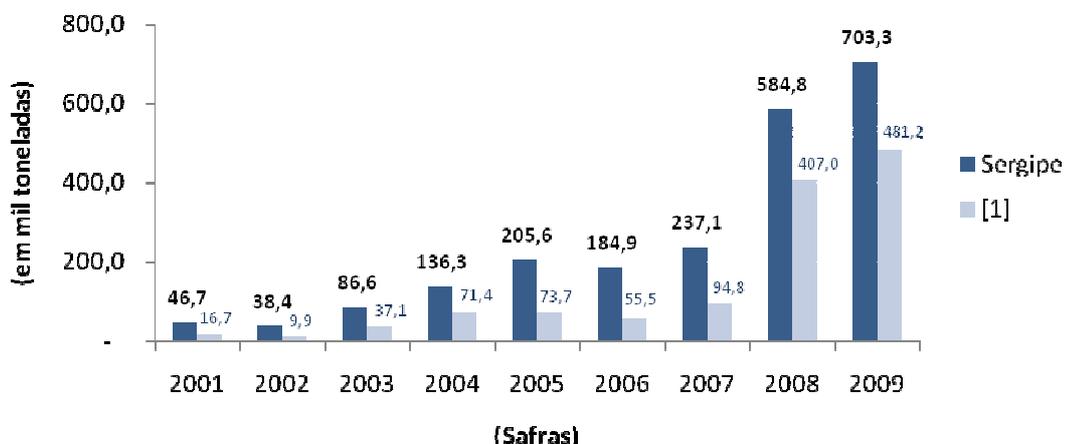


Gráfico 1.3 - Evolução da produção de milho em Sergipe.

Fonte: IBGE (2010)

(1) Somatório da produção de milho nos quatro municípios pioneiros no cultivo intensivo desta cultura em Sergipe: Carira, Frei Paulo, Pinhão e Simão Dias.

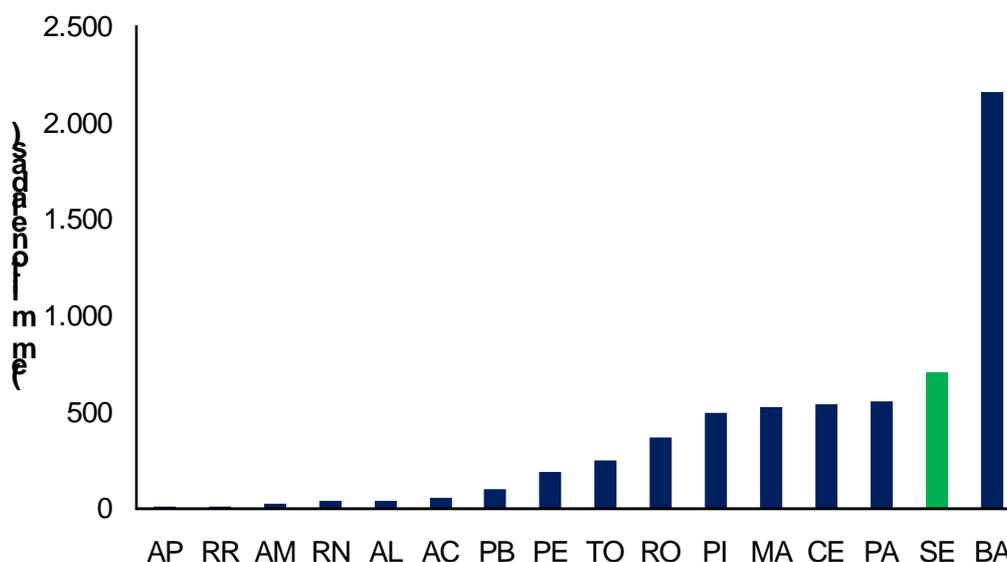


Gráfico 1.4 - Ranking da produção de milho dos estados do Norte e Nordeste do Brasil - Safra 2009.

Fonte: IBGE (2010)

Para a construção desse novo cenário do agronegócio da cultura do milho nesta região houve nos últimos anos uma intensificação dos fatores capital e tecnologia. Como um dos indicadores pode-se observar o acréscimo no uso do crédito rural de custeio agrícola no Estado que elevou-se de R\$ 19,6 milhões em 2001 para R\$ 102,5 milhões na safra 2010, segundo dados do Banco Central do Brasil (Gráfico 1.5). Deste

último valor, 53,2% foram destinados à cultura do milho, percentual que se situava em torno de 40% no início da década. Somente aos municípios de Carira, Frei Paulo, Pinhão e Simão Dias foram destinados R\$ 32 milhões destes recursos, com ampla predominância para a cultura do milho (BCB, 2010).

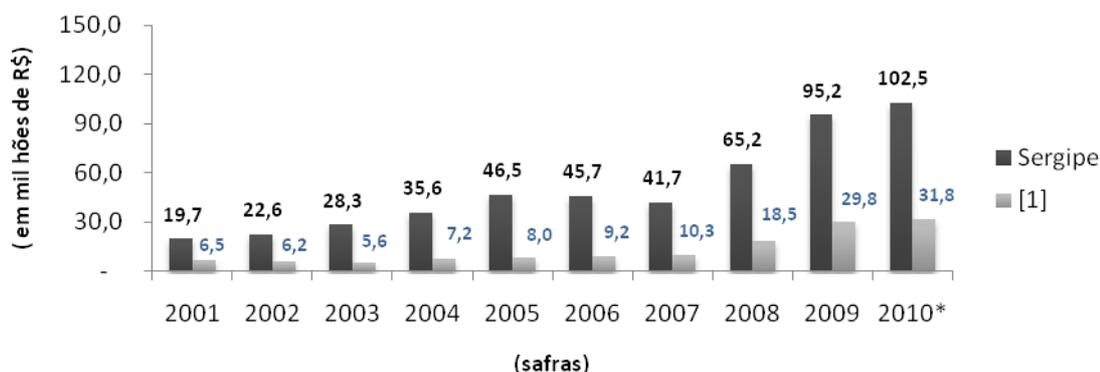


Gráfico 1.5 - Evolução da demanda por crédito rural oficial de custeio agrícola em Sergipe.

Fonte: Banco Central do Brasil (2010).

(1) Somatório da utilização de crédito rural oficial de custeio nos quatro municípios pioneiros no cultivo intensivo de milho em Sergipe: Carira, Frei Paulo, Pinhão e Simão Dias; (*) Período de janeiro a agosto;

Um dos aspectos da tecnologia de produção que mais direta e negativamente impacta o ambiente agrícola é o preparo mecanizado do solo, sobretudo no que concerne à estrutura dos agregados do solo. Neste ponto, observa-se na região um aumento da força motomecanizada utilizada para os trabalhos de preparo do solo, tratos culturais e colheita, quer seja através de maquinaria própria bem como também por meio do aluguel das mesmas para estes fins, e também o uso de aviação agrícola para aplicação de agrotóxicos. O fato é que provavelmente a região nunca experimentou, antes desse processo de adoção de novas tecnologias de produção de milho, um uso tão intensivo de métodos tradicionais de preparo do solo através de aração e gradagem, fato que exerce influência direta sobre a estrutura do solo e, conseqüentemente, sobre a sua qualidade. A avaliação do aumento da força motomecanizada para preparo do solo e tratos culturais na agricultura do Estado indica que os números dobraram em menos de uma década. Dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA atestam que entre os anos de 2008 e 2009 a venda no atacado de tratores de rodas somou 817 unidades em Sergipe (ANFAVEA, 2010), a quarta maior do Norte/Nordeste (Gráfico 1.6). Estes números são significativos se compararmos a menor área agricultável de Sergipe aos outros estados dessas regiões. Ainda segundo a ANFAVEA, a venda de colheitadeiras

automotrizes de grãos, praticamente inexistente no estado há alguns anos, somou 26 unidades nos anos de 2008 e 2009 (ANFAVEA, 2010). Os números, pouco significativos em termos absolutos, revelam, entretanto, uma clara tendência no sentido da motomecanização da colheita do milho, uma operação até pouco tempo realizada ou manualmente ou de forma semi-mecanizada.

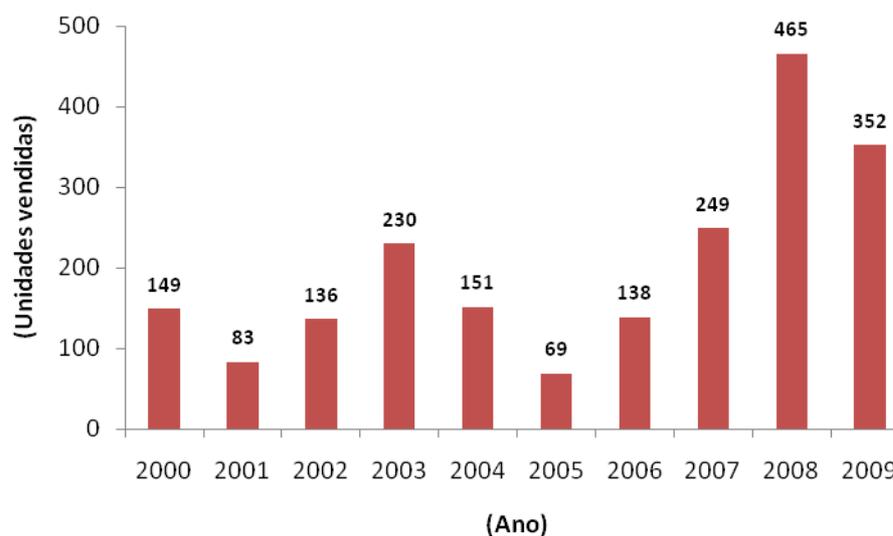


Gráfico 1.6 – Evolução das vendas no atacado de tratores de rodas em Sergipe.

Fonte: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA (2010)

Esse cenário de transformação tecnológica retrata a fase atual de uso do solo da região que há muito foi destituída da sua vegetação natural, passou pela fase da pastagem para exploração pecuária e pelo cultivo tradicional de milho consorciado com feijão, típico da agricultura familiar. Essa forma intensiva de uso e as limitações próprias ligadas às características edáficas do semiárido impõem a necessidade de acompanhamento da qualidade do solo com vistas a que se possa desenvolver a agricultura na região, porém atentando para a crescente preocupação com a sustentabilidade desta atividade no uso dos recursos naturais.

O uso de fertilizantes agrícolas no Estado também elevou-se significativamente. Dados da Associação Nacional de Difusão de Adubos confirmam este aumento. Apenas entre 2003 e 2009 a entrega de fertilizantes (considerando os nutrientes mais exigidos (N, P₂O₅ e K₂O) aos consumidores finais em Sergipe multiplicou-se por mais de cinco vezes alcançando a marca de mais de 70 mil toneladas na safra 2009. (Gráfico 1.7). No Brasil, no mesmo período, praticamente não

houve variação sendo que estas entregas se situaram na média de 22,2 milhões de toneladas (ANDA, 2010).

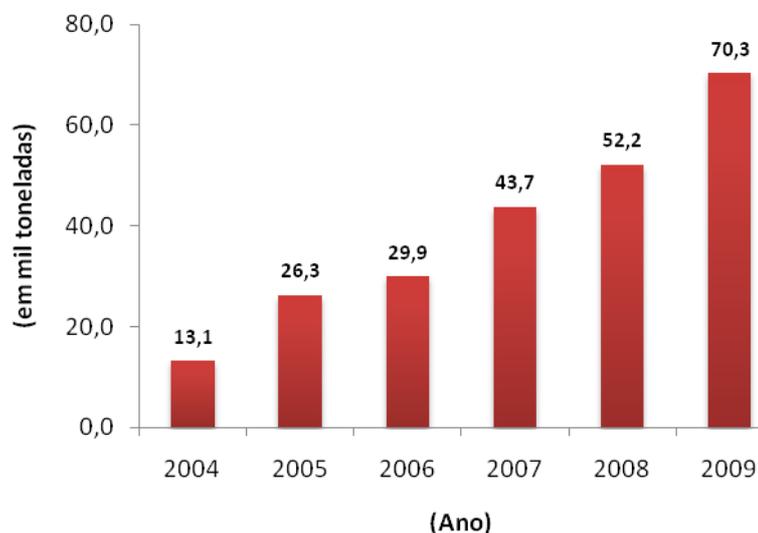


Gráfico 1.7 – Evolução da venda de fertilizantes agrícolas em Sergipe.
Fonte: Associação Nacional de Difusão de Adubos - ANDA (2010)

Em relação aos agrotóxicos houve também um incremento muito significativo no seu uso com destaque para o consumo de herbicidas. Nos últimos anos, a venda total de agrotóxicos em Sergipe saltou de 364 toneladas de produtos comerciais em 2005 para 853 toneladas em 2009 segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola – SINDAG (Gráfico 1.8). Para os herbicidas, no mesmo período, o aumento foi de 255% saindo de 197 toneladas de produtos comerciais para 699 toneladas. Em termos de ingredientes ativos, do total dos agrotóxicos utilizados foram consumidos no Estado, em 2009, um total de 383 toneladas contra 121 toneladas em 2005 (SINDAG, 2010). Esse importante incremento do uso de agrotóxicos pode estar repercutindo sobre o ambiente agrícola. Segundo Ferreira et al. (2010) o uso de sistemas convencionais de cultivo combinado com o uso de fertilizantes e agrotóxicos conduz a prejuízos à saúde e qualidade do solo.

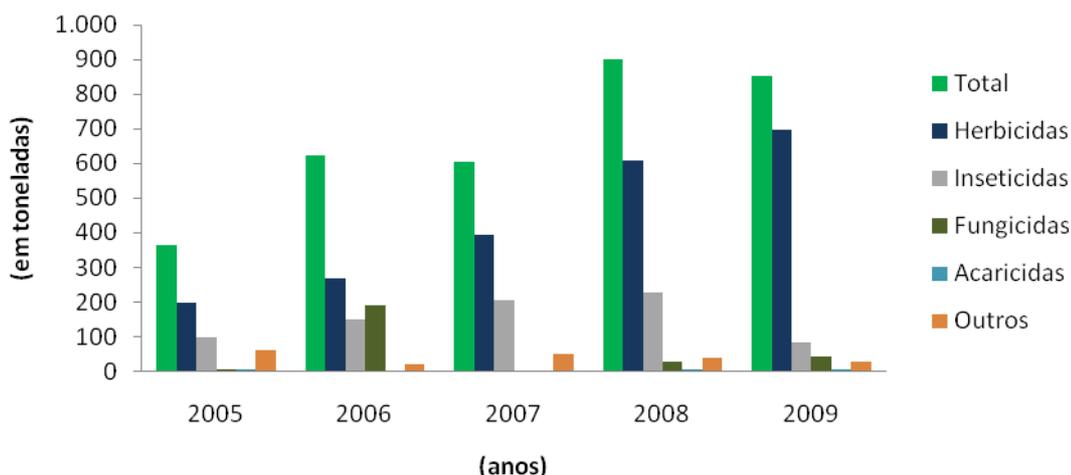


Gráfico 1.8 – Evolução das vendas de agrotóxicos (produto comercial) em Sergipe.

Fonte: Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola – SINDAG (2010)

O diagnóstico realizado por Oliveira (2009), utilizando-se da metodologia de análise de impacto ambiental de tecnologia agropecuária Ambitec-Agro¹, na mesma região do presente estudo, detectou um coeficiente de impacto de -11 para o indicador Uso de Agroquímicos.

Os dados de incremento de maquinaria agrícola e insumos agroquímicos podem ser em grande medida atribuídos ao aumento da área de milho na região estudada já que não houve no Estado, para outras culturas, aumento significativo de área plantada nos últimos anos, a exceção da cana-de-açúcar.

Aquilo até aqui exposto do processo de modernização tecnológica do agronegócio no Agreste e Centro-Sul de Sergipe nos leva a interpretar que se trata do mesmo processo de modernização conservadora da agricultura já verificado em outras regiões agrícolas do país, e que se não forem observadas medidas preventivas de conservação de solo e dos recursos naturais da região pode-se futuramente comprometer a sustentabilidade agrícola desta região.

¹ O sistema Ambitec-Agro é uma metodologia de análise de impacto ambiental de tecnologia agropecuária desenvolvida pela Embrapa Meio Ambiente que analisa quatro “aspectos” da atividade agropecuária resultante da inovação tecnológica - alcance, eficiência, conservação e recuperação ambiental, oito “indicadores”, que por sua vez são organizados em trinta e seis “componentes” dispostos em planilhas automatizadas e formatadas em Microsoft-Excel. A essência do levantamento de campo é obter os coeficientes de alteração dos componentes a fim de se ter, ao final do estudo, o índice geral de impacto da inovação tecnológica na agropecuária, o qual varia entre -15 a +15. Valores positivos sinalizam impactos ambientalmente desejáveis da tecnologia e valores negativos, a possibilidade ou a necessidade de ajustes e melhorias da tecnologia visando à redução de agravos ambientais por ela causados. Para maiores detalhes ver Rodrigues et al. (2003).

Oliveira (2009) utilizando o sistema Ambitec-Agro de análise de análise de impacto ambiental de tecnologia e estudando os impactos dessas novas tecnologias na cultura do milho na mesma região deste estudo observou a presença de um índice negativo, -2,5, sobre o indicador Qualidade do Solo (Figura 1.2). Embora este seja ainda um índice de impacto ambiental baixo, o dado sugere que desde já se deve atentar para que o fator tecnologia não comprometa futuramente o sistema solo com as consequências negativas daí advindas para esta região produtora. Vale ressaltar nesse estudo que o elevado índice negativo para o uso de agroquímicos, -11, é igualmente impactante sobre os recursos ambientais, especialmente o solo, se não forem adotadas medidas quanto ao seu correto uso. O índice geral de todos os indicadores estudados foi -2,84 sinalizando possibilidade de ajuste e melhorias na tecnologia de produção a fim de se minimizar os agravos ambientais.

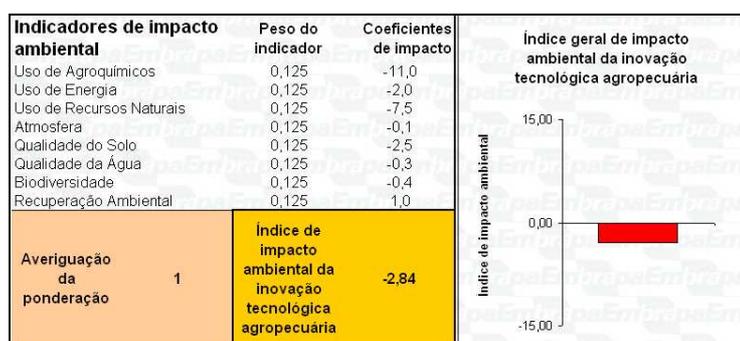


Figura 1.2 - Quadro resumo de avaliação de impacto ambiental de tecnologia na região oeste de Sergipe através da metodologia Ambitec-Agro (OLIVEIRA, 2009).

Almeida (2006), através de um estudo de caso com enfoque sistêmico, analisou o grau (alto, médio e baixo) de sustentabilidade em uma das áreas objeto do presente estudo, o Assentamento Rural Oito de Outubro. Foram analisados aspectos econômicos, sociais, políticos e ambientais do assentamento. No tocante à variável ambiental a autora concluiu por um grau de sustentabilidade *média* apontando como os principais limitadores para se elevar essa classificação, o uso de agrotóxicos e fertilizantes em larga escala, o destino inadequado de resíduos químicos os quais se constituíam em fontes de contaminação dos recursos naturais e a baixa adoção de fertilização orgânica pelos assentados.

Usando de metodologias distintas, os trabalhos de Oliveira (2009) e Almeida

(2006) apresentam resultados assemelhados quanto ao grau de impacto das atuais técnicas adotadas pelos produtores dessa região em relação ao meio ambiente. Convém citar que os produtores do Assentamento Oito de Outubro têm adotado intensivamente o pacote tecnológico modernizante que tem dominado o cenário da agricultura da região, principalmente em relação aos seus cultivos de milho, o que tem permitido elevadas produtividades desse grão no assentamento.

É relevante observar ainda quanto ao uso do solo na região, que a dinâmica dessa alteração no padrão de produção, com foco neste momento primordialmente na otimização dos rendimentos físicos da lavoura, não tem considerado a necessidade de se implantar práticas elementares de conservação de solo como o plantio em nível, terraceamento, entre outras, responsáveis por minimizar a erosão do solo e o arrastamento da sua camada superficial para as partes mais baixas da paisagem. Estas são práticas necessárias, desde já, sobretudo por se tratar de extensas áreas de cultivo em solos propensos à erosão e onde a intensa mecanização tende a expor, compactar e alterar a estrutura dos agregados, bem como a modificar a dinâmica da matéria orgânica. Estes aspectos de manejo e uso do solo podem revelar-se ambientalmente problemáticos no futuro se não forem adotadas as necessárias medidas preventivas.

1.2.3 – O fator econômico como determinante da expansão da agricultura moderna no Agreste e Centro-Sul sergipano: repercussão sobre a agricultura familiar e sustentabilidade da agricultura local

Os altos preços e a elevada produtividade física do milho têm governado, no momento, a expansão do agronegócio na região oeste de Sergipe. Esta mudança no padrão tecnológico do cultivo do milho nesta região não ocorre somente junto ao empresariado rural patronal. A agricultura familiar, em alguma medida, já vem incorporando este novo padrão. O Assentamento Rural Oito de Outubro, uma áreas estudadas, composta por agricultores rurais assentados pela Reforma Agrária oficial, vem adotando estas técnicas modernas de cultivo de milho, sendo referência em termos de altas performances de produtividade. Este aspecto remete à questão de como a agricultura familiar da região se inserirá neste novo contexto. Se ela incorporará integralmente o novo pacote tecnológico, se oferecerá resistências e buscará

alternativas ditas, mais sustentáveis, ou se será absorvida pela força econômica representada pela agricultura empresarial.

Nesse ponto, dois fatores se mostram desvantajosos para a agricultura familiar. O primeiro é a necessidade de grandes investimentos financeiros em máquinas e implementos os quais requerem a necessidade de grandes áreas de cultivo a fim de maximizarem o uso desta força motomecânica, de modo a que possam compensar os elevados custos iniciais. O segundo fator está ligado à rentabilidade da cultura. Comparando-se os custos de produção, a redução destes proporcionados pelos ganhos de escala no caso dos plantios empresariais são altamente vantajosos se comparados aos custos da produção de milho pela agricultura familiar. Para uma produtividade média de 33 sacos de milho por hectare, típica da produção familiar, (equivalente a 2 mil quilos/hectare) os custos de produção chegam até a R\$ 17,32/saco² (Tabela 1.1) ao passo que para uma produtividade média de 91,5 sacas por hectare (equivalente a 5,5 mil quilos/hectare), comum nos cultivos sob a nova tecnologia na região, estes custos chegam a apenas R\$ 13,16/saco (Tabela 1.2). É uma diferença considerável em termos de capacidade concorrencial da agricultura familiar em relação ao novo sistema de cultivo, e faz sentido imaginar a dificuldade dos agricultores familiares em competir no mercado sob essa nova realidade.

² Equivalente a 60 quilos.

Tabela 1.1 - Custo médio de produção de milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe - Sistema de produção tradicional – produtividade média de 2.000 kg ha⁻¹

Preparo do solo/Plantio			
Insumo	Quantidade	Preço (R\$)	R\$/ha
Milho (variedade)	20 kg	2,25	45,00
Serviço	Hora/ha	R\$/hora	R\$/ha
Plantio (1 vez) c/ mão de obra familiar	24,0	2,17	52,08
Gradagem aradora (1 vez) c/ trator de pneus	1,08	65,00	70,20
Operador de trator de pneus p/ gradagem aradora	1,08	4,77	5,15
Gradagem niveladora (1 vez) c/ trator de pneus	0,54	65,00	35,10
Operador de trator de pneus p/ gradagem niveladora	0,54	4,77	2,58
Subtotal			210,11
Tratos culturais			
Insumo	Quantidade	Preço (R\$)	R\$/ha
Uréia (45% N)	0,050 Ton.	860,00	43,00
Decis 25 CE	0,200 Lt.	53,00	10,60
Mirex S Max	0,600 kg	7,60	4,56
Serviço	Hora/ha	R\$/hora	R\$/ha
Adubação mineral em cobertura (1 vez) c/ mão-de-obra familiar	8,00	2,17	17,36
Aplicação de formicida (1 vez) c/ mão-de-obra familiar	1,0	2,17	2,17
Aplicação de inseticida (1 vez) c/ mão de obra familiar	8,0	2,17	17,36
Capina manual (2 vezes) c/ mão-de-obra familiar	28,0	2,17	121,52
Subtotal			216,57
Colheita			
Insumo	Quantidade	Preço (R\$)	R\$/ha
Sacaria de polipropileno usada	33 unid.	0,75	24,75
Serviço	Hora/ha	R\$/hora	R\$/ha
Quebra/Amontoa (1 vez) c/ trabalhador braçal temporário	18,0	3,18	57,24
Batenação c/ trator de pneus	1,25	50,00	62,50
Operador de trator de pneus p/batenação	1,25	4,77	5,96
Subtotal			150,45
TOTAL			577,13

Fonte: Referencial Técnico Agropecuário/Banco do Brasil/Regional Aracaju II (2010); com adaptações.

Tabela 1.2 - Custo médio de produção de milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe - Sistema de produção intensivo – produtividade média de 5.500 kg ha⁻¹

Preparo do solo/Plantio			
Insumo	Quantidade	Preço (R\$)	R\$/ha
Milho (híbrido simples)	20 kg	8,00	160,00
Fertilizante 10-30-10+B+Zn	0,250 Ton.	1.065,00	266,25
Primextra Gold	4,0 Lt.	27,00	108,00
Serviço	Hora/ha	R\$/hora	R\$/ha
Aração c/ trator de pneu	2,02	65,00	131,30
Operador de trator de pneus	2,02	4,77	9,64
Gradagem niveladora (2 vez) c/ trator de pneus	0,92	65,00	119,60
Operador de trator de pneus p/ gradagem niveladora	0,92	4,77	8,78
Plantio/adubação com plantadeira de precisão (1 vez) c/ trator de pneus	0,95	30,23	28,72
Operador de trator de pneus p/ plantio/adubação	0,95	4,77	4,53
Aplicação de herbicidas utilizando pulverizador de barra (1 vez) c/ trator de pneus	0,32	30,36	9,72
Operador de trator de pneus p/aplicação de herbicidas	0,32	4,77	1,53
Subtotal			848,07
Tratos culturais			
Insumo	Quantidade	Preço (R\$)	R\$/ha
Uréia (45% N)	0,165 Ton.	860,00	141,90
Espalhante adesivo Agral	0,500 Lt.	6,00	3,00
Atrazinax 500 SC	3,0 Lt.	9,50	28,50
Decis 25 CE	0,200 Lt.	53,00	10,60
Formicida Pikapau	1,0 kg	7,00	7,00
Serviço	Hora/ha	R\$/hora	R\$/ha
Aplicação de formicida (1 vez) c/ mão de obra contratada	4,0	3,67	14,68
Aplicação de herbicidas utilizando pulverizador de barra (1 vez) c/ trator de pneus	0,32	30,36	9,72
Operador de trator de pneus p/ aplicação de herbicidas	0,32	4,77	1,53
Aplicação de inseticida utilizando pulverizador de barra (1 vez) c/ trator de pneus	0,32	30,36	9,72
Operador de trator de pneus p/ aplicação de inseticidas	0,32	4,77	1,53
Cultivo e adubação em cobertura (1 vez) utilizando cultivador/adubador de 02 linhas c/ trator de pneus	0,72	30,76	22,15

Continuação (...)

Operador de trator de pneus p/ operação de cultivo/adubação em cobertura	0,72	4,77	3,43
Subtotal			253,76
Colheita			
Serviço	Hora/ha	R\$/hora	R\$/ha
Colheita mecanizada (1 vez) utilizando colheitadeira automotriz	0,53	159,22	84,38
Operador de colheitadeira automotriz	0,53	5,50	2,91
Transporte interno da produção (1 vez) utilizando carrreta agrícola e trator de pneus	0,40	37,63	15,05
Operador de trator de pneus p/ transporte interno da produção	0,40	4,77	1,91
Subtotal			104,25
TOTAL			1.206,08

Fonte: Referencial Técnico Agropecuário/Banco do Brasil/Regional Aracaju II (2010); com adaptações.

O coordenador do Centro de Agronegócios da Fundação Getúlio Vargas e ex-ministro da Agricultura Roberto Rodrigues, um dos defensores do desenvolvimento tecnológico na agricultura como forma de aumentar a competitividade do setor, afirma a inexorável exclusão daqueles produtores rurais que não tenham a capacidade de redução de seus custos, via aumento de produtividade e de incorporação tecnológica:

O preço de um alimento é dado pela relação entre a oferta e a procura. A oferta é função da produção que, por sua vez, é função da produtividade. Portanto, quem tiver uma produtividade agrícola abaixo da média (que determina os preços), acaba sendo excluído do sistema. Com isso a média sobe, aumentando a oferta, o que derruba os preços. Esta é uma perversidade constante na economia rural, em qualquer país: quando os produtores todos incorporam uma nova tecnologia, o grande beneficiário é o consumidor, porque o produto cai de preço. Sendo assim, o produtor fica entre a cruz e a caldeirinha: se investir em inovação para melhorar sua produtividade, quem se apropria do resultado é o consumidor; e se não investir, cai abaixo de média e é excluído. (RODRIGUES, 2010).

Considerando que uma vez resolvidos a contento os aspectos técnico-agronômicos do aumento da produtividade do milho na região, sua expansão em termos de área plantada tem se dado principalmente em função dos bons preços a que este grão tem obtido, mesmo durante o pico das colheitas. Nos últimos cinco anos o

preço médio do milho durante a época da colheita na região esteve em torno de R\$ 21,16/saco, sendo que houve anos com picos de preços superiores a R\$ 30,00/saco (Gráfico 1.9). Estes valores se constituem uma excelente rentabilidade econômica para esta atividade agrícola, e neste sentido pode-se prever que o aumento de áreas sob cultivo intensivo continuará a ter lugar nessas microrregiões de Sergipe. Esta expansão tem se dado, no momento, através do arrendamento de terras, uma vez que o próprio empresariado rural não possui áreas próprias suficientes para sua escala de produção. Assim, o arrendamento de terras menores tem sido o elemento que tem permitido a aglutinação de extensas áreas empresariais de cultivo desse grão. Considerando ainda o caráter patrimonialista desse empresariado rural é provável que, se a cultura continuar permitindo rendimentos suficientemente altos, estes passem do arrendamento à aquisição dessas áreas, comprimindo ainda mais a possibilidade de reprodução e sobrevivência da agricultura familiar na região.

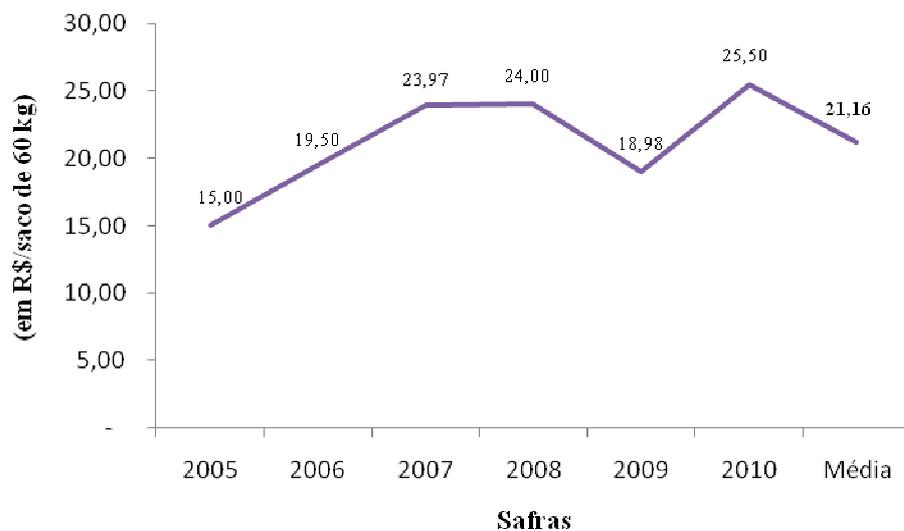


Gráfico 1.9 – Preços médios de milho em grãos recebidos pelos agricultores à época da colheita na região de Simão Dias/SE

Fonte: Relatório Técnico Agropecuário - Banco do Brasil (2010)

Do ponto de vista sócio-ambiental o eventual encolhimento da agricultura familiar na região deste estudo poderia ser considerado um retrocesso, se considerarmos a proposição de Ploeg et al. (2000, *apud* KAGEYAMA, 2004), uma vez que esta agricultura, por suas próprias características de explorações baseadas na pluriatividade e em uma melhor sinergia em relação aos usos dos recursos ambientais, estaria mais próxima da etapa mais avançada do *paradigma do desenvolvimento rural* proposto por estes autores. Tal proposição seria de mais difícil adoção, pelo menos no

curto prazo, pela agricultura moderna a qual se baseia em grande escala de produção e em explorações uniformes:

O desenvolvimento rural implica a criação de novos produtos e novos serviços, associados a novos mercados; procura formas de redução de custos a partir de novas trajetórias tecnológicas; tenta reconstruir a agricultura não apenas no nível dos estabelecimentos, mas em termos regionais e da economia rural como um todo; representa, enfim “[...] uma saída para as limitações e falta de perspectivas intrínsecas ao paradigma da modernização e ao acelerado aumento de escala e industrialização que ele impõe”

[...] novas práticas, como administração da paisagem, conservação da natureza, agroturismo, agricultura orgânica, produção de especialidades regionais, vendas diretas, etc., fazem do desenvolvimento rural um processo multifacetado, em que as propriedades que haviam sido consideradas “supérfluas” no paradigma da modernização podem assumir novos papéis e estabelecer novas relações sociais com outras empresas e com os setores urbanos. Ploeg et al. (2000, *apud* KAGEYAMA, 2004).

Diante desta conjuntura, e considerando os incrementos dos chamados insumos modernos, quais as perspectivas de a agricultura da região crescer em bases sustentáveis? É possível que esta resposta passe pela capacidade técnica e política dos atores envolvidos (agricultores, técnicos, poder público) em buscar que esta atividade seja rapidamente guiada para formas mais conservacionistas como a do cultivo mínimo, plantio direto, ou mesmo sistemas agroflorestais que envolvam mecanismos menos intensivos de agravos ambientais, os quais permitam no decorrer dos anos que se possa ter uma melhoria na qualidade ambiental, conforme aponta a tendência dos indicadores apresentados no capítulo seguinte deste estudo. Neste caso, se a qualidade do solo não se iguala aos valores verificados na área de vegetação nativa, pelo menos no decorrer dos anos de cultivo tenderia a se estabilizar em um patamar próximo a este. Este já seria um ganho substancial, em termos ambientais, uma vez que os cultivos convencionais muito provavelmente não poderiam imprimir este mesmo nível de sustentabilidade às explorações agrícolas locais.

1.3 – Conclusões

1 – As transformações atualmente em curso no agronegócio do milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe obedecem aos requisitos do pacote tecnológico da agricultura moderna e estão baseadas na mecanização intensiva dos cultivos, no uso de insumos das indústrias agroquímica e biotecnológica e no aporte de grandes volumes de capital financeiro.

2 – Os ganhos de escala possíveis nos chamados plantios modernos colocam a produção de milho da agricultura familiar em desvantagem em termos de custos de produção em relação aos plantios modernos, característicos do empresariado rural. Este aspecto, aliado aos elevados ganhos econômicos do empresariado rural originados dos elevados preços do grão nas últimas safras, aumentam sua capacidade de acesso às terras necessárias à escala de produção, comprimindo ainda mais a agricultura familiar da região.

1.4 – Referências

ALMEIDA J.; NAVARRO Z. Da ideologia do progresso à idéia de desenvolvimento rural sustentável. In: ALMEIDA J.; NAVARRO Z. Reconstruindo a agricultura: ideias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável. Porto Alegre: UFRGS, p. 33, 1998.

ALMEIDA, R. N. Organizações sociais: numa proposta de sustentabilidade em assentamentos rurais. Dissertação (Mestrado) São Cristóvão: Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2006. 150 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DIFUSÃO DE ADUBOS – ANDA. Entrega de fertilizantes em Sergipe e no Brasil entre 1989 e 2010. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por <osmundooliveira@ig.com.br> em 24 set 2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. Máquinas agrícolas automotrizes – Vendas internas no atacado por unidade da federação entre 2008 e 2009. In: Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2010. São Paulo: Centro de Documentação da Indústria Automobilística – CEDOC, 2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. Centro de Documentação da Indústria Automobilística - CEDOC: Máquinas agrícolas automotrizes – Vendas internas no atacado por unidade da federação entre 2000 e 2007. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por <osmundooliveira@ig.com.br> em 14 set 2010.

BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira. Revista Campo Território, Uberlândia, v. 1, n. 2, p. 123, 2006.

BANCO CENTRAL DO BRASIL - BCB. Anuário estatístico do crédito rural. Brasília: 2010. Disponível em <<http://www.bcb.gov.br>>, Publicações/Portemas/Crédito rural. Acesso em 07 outubro 2010.

BANCO DO BRASIL. Referencial Técnico Agropecuário. In: Sistema de Informação Banco do Brasil. 2010. 1Pen-drive.

EHLERS, E. Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma. 2ª. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. 157 p.

FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J.R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N.G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 2, p. 177, 2010.

FOSTER, J. B. A ecologia de Marx: materialismo e natureza. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira. 2005. 420 p.

GOODMAN, D.; SORJ, B.; WILKINSON, J. Da lavoura às biotecnologias: agricultura e indústria no sistema internacional. Rio de Janeiro: Editora Campus. 1990. 192 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro: 2010. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>, Banco de dados/SIDRA/Agricultura/Produção agrícola municipal. Acesso em 08 outubro 2010.

KAGEYAMA, A. Desenvolvimento Rural: conceito e medida. Cadernos de Ciência e Tecnologia, Brasília: v. 21, n. 3, p. 379. 2004.

LEFF, E. Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder. Petrópolis: Vozes, 2001. 343 p.

MARTINS, S. R. . Desenvolvendo a sustentabilidade. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 42, e Congresso Latino Americano de Horticultura, 11, 2002, Uberlândia. Revista Horticultura Brasileira. Brasília : SOB, 2002.

MENDONÇA, M. R.; THOMAZ JUNIOR, A.; RIBEIRO, D. D. A modernização da agricultura e os impactos sobre o trabalho. In: Colóquio Internacional de Geocrítica, 4, 2002, Barcelona - Espanha. Anais do Colóquio Internacional de Geocrítica, 4, Barcelona - Espanha, 2002.

OLIVEIRA, I. R. A expansão da cultura do milho em Sergipe e sua implicação na questão ambiental. In: Encontro Estadual de Engenheiros Agrônomos de Sergipe, 9, Aracaju: Associação dos Engenheiros Agrônomos de Sergipe – AEASE. 2009. 1 Pendrive.

PORTO-GONÇALVES, C. W. Globalização da natureza e a natureza da globalização. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006. 462 p.

REVISTA AGROANALYSIS. A nova revolução do Brasil rural. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, v. 24, n. 04, p. 4, 2004.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária: Ambitec-Agro. Jaguariúna: EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental, 2003. 95 p. Documentos, n. 34.

RODRIGUES, R. Tecnologia agrícola: motor ou freio? Disponível em <http://www.eesp.fgv.br/_upload/publicacao/337.pdf>. Acesso em 22 dezembro 2010.

SANTOS, A. S. M. A pecuária na produção do espaço agrário de Simão Dias (SE). Dissertação (Mestrado). São Cristóvão: NPGeo, Núcleo de Pós-Graduação em Geografia, 2005. 149 p.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE DEFESA AGRÍCOLA – SINDAG. Venda de defensivos agrícolas por unidade da federação

entre 2005 e 2009. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por <osmundooliveira@ig.com.br> em 01 out. 2010.

SILVA, J. G. A nova dinâmica da agricultura brasileira. 2. Ed. Campinas: Instituto de Economia, 1998. 211 p.

SILVA, J. G. Progresso técnico e relações de trabalho na agricultura. São Paulo: Hucitec, 1981. 210 p.

VEIGA, J. E. A transição agroambiental nos Estados Unidos. In: ALMEIDA J.; NAVARRO Z. Reconstruindo a agricultura: ideias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável. Porto Alegre: UFRGS, p. 128, 1998.

VEIGA, J. E. O desenvolvimento agrícola: uma visão histórica. São Paulo: Edusp/Hucitec, 1991. 219 p.

CAPÍTULO 2

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO:
ATIVIDADE ENZIMÁTICA TOTAL, ATIVIDADE DA UREASE E
NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA**

2.0 – Indicadores microbiológicos de qualidade do solo: atividade enzimática total (AET), atividade da urease (AUR) e nitrogênio da biomassa microbiana (NBM)

2.1 – Introdução

O uso de sistemas intensivos e convencionais de cultivos agrícolas, baseados no uso de grandes quantidades de fertilizantes e agrotóxicos pode comprometer seriamente a qualidade do solo. Alguns dos principais indicadores de qualidade são os microorganismos e suas atividades no solo. Segundo Embrapa (2005) a importância da microbiota do solo nem sempre é considerada por ser praticamente invisível a olho nu, porém, fases essenciais dos ciclos do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, e do ciclo das águas no solo são executadas por interações entre esta microbiota e a fauna com as propriedades físicas e químicas do solo.

O objetivo específico deste estudo foi o de apresentar os dados dos indicadores microbiológicos da atividade enzimática total, atividade da urease e nitrogênio da biomassa microbiana em cinco áreas representativas de diferentes sistemas de uso do solo sendo três delas de cultivo de milho, nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.

As áreas escolhidas para o estudo obedecem a uma linha do tempo em relação aos usos do solo na região, e nesta sequência é que foram apresentados graficamente os resultados. São elas: *a*) uma área controle de vegetação nativa de Caatinga – VNT, *b*) uma área de pastagem de capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) associado à algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC) - CTA, *c*) uma área de cultivo de milho (*Zea mays* L.) consorciado com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de cultivo convencional, típico da agricultura familiar - MCF, *d*) uma área de milho contínuo, em sistema de plantio convencional, cultivado com tecnologia moderna - MPC, e *e*) uma área de milho em sistema de cultivo mínimo³, utilizando alta

³ Cultivo mínimo, segundo definição da Embrapa (2010) refere-se a (1) plantio em sulcos com espaçamento adequado, de uma dada cultura comercial, sobre uma área coberta com alta densidade de plantas de espécies protetoras e/ou melhoradoras do solo, no período de maturação desta, sem a necessidade de lavrar e/ou gradear integralmente a área. (2) consiste no revolvimento mínimo do solo e na manutenção dos resíduos vegetais, realizando-se escarificações e gradagens leves.

tecnologia - MCM. Estes dois últimos, se constituem a nova realidade que vem configurando o agronegócio do oeste semiárido de Sergipe nos últimos sete anos.

2.2 – Materiais e métodos

2.2.1 – Experimento de campo

O trabalho de campo foi conduzido na Fazenda Riachão e no Assentamento Oito de Outubro, coordenadas geográficas 10° 40' 25,1" Sul e 37° 46' 35,4" Oeste e 10° 41' 02,5" Sul e 37° 45' 52,1" Oeste, respectivamente, no município de Simão Dias/SE e na Fazenda Recanto, coordenadas 10° 43' 55,6" Sul e 38° 04' 23,5" Oeste, no município de Poço Verde/SE. O solo das áreas estudadas, previamente selecionado segundo critérios de homogeneidade edáfica e tempo de cultivo, é classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, conforme Embrapa (2006). Os tratamentos (áreas estudadas) consistiram de uma área de vegetação nativa de caatinga - VNT; uma área de pastagem de capim-tanzânia associado à algaroba - CTA; uma área cultivada com milho consorciado com feijão, utilizando tecnologia tradicional e sistema convencional de cultivo - MCF; uma área de milho isolado utilizando tecnologia moderna com uso intensivo de insumos e sistema convencional de cultivo - MPC e uma área de milho isolado utilizando tecnologia moderna, com uso intensivo de insumos e sistema de cultivo mínimo - MCM. Todas as áreas de cultivo já estão em processo produtivo há mais de trinta anos sendo que a MPC e a MCM adotam a tecnologia moderna e intensiva de cultivo há apenas seis e quatro anos, respectivamente. As amostras de solo foram coletadas no final do mês de março de 2010 na camada de 0-10 cm. O material coletado foi mantido sob refrigeração desde a coleta até as análises laboratoriais. Foram retiradas três amostras simples para compor uma amostra composta, a qual se constituiu em uma repetição, sendo realizadas cinco repetições para cada tratamento. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado.

2.2.2 – Análises laboratoriais

As análises foram realizadas no Laboratório de Biologia do Solo da Embrapa Arroz e Feijão em Goiânia (GO), obedecendo ao protocolo operacional de análises

microbiológicas do solo daquela Unidade de pesquisa (EMBRAPA, 2005). Todas as amostras foram determinadas em triplicata.

a) Atividade enzimática total: a atividade enzimática total foi determinada pelo método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), de acordo com Guini et al. (1998). Utilizou-se 5g de solo que foram transferidos para erlenmeyers de 125 ml; adicionou-se 20 ml de solução 60 mM de tampão fosfato de potássio e 0,2 ml de solução estoque de FDA, agitou-se as misturas em shaker a 170 rpm por 20 minutos a 25 °C; pipetou-se alíquotas de 2ml da solução que foram transferidas para tubos de centrifugação contendo 2 ml de acetona objetivando interromper a reação de hidrólise; tampou-se os tubos de centrifugação com papel alumínio os quais foram acondicionados em recipiente contendo gelo para se evitar a evaporação da acetona até que fosse feita a centrifugação; após a centrifugação por 10 minutos mediu-se a intensidade da cor da solução em espectrofotômetro UV/Vis a 490 nm. A concentração de fluoresceína das amostras de solo foi calculada a partir da equação da reta obtida na curva de calibração.

b) Atividade da urease: a urease foi também determinada de acordo com a metodologia sugerida por Tabatabai (1982). Pesou-se 5 g de solo e transferiu-se este volume para um frasco de 125 ml com tampa, em seguida adicionou-se 20 ml de tampão borato 75 mM pH 10 e 2,5 ml de uréia 80 mM a todos os frascos, exceto os controles; incubou-se por 2 horas a 37°C e agitação de 200 rpm com os frascos tampados para evitar evaporação; adicionou-se 30 ml de KCl 2M para desnaturação da enzima; agitou-se por 1 minuto a 200 rpm, adicionou-se 2,5 ml de uréia aos controles; incubou-se por 30 minutos a 37°C e 200 rpm; retirou-se alíquotas de 1,4 ml que foram transferidas para tubos de centrífuga de 1,5 ml; levou-se em seguida à centrífuga por 300 segundos à velocidade de 10.000 rpm e tempo de parada de 60 segundos; após centrifugação retirou-se alíquotas de 1 ml e transferiu-se estas para tubos de ensaio de 20 ml com tampa; adicionou-se 9 ml de água destilada a cada tubo de ensaio, em seguida adicionou-se 5 ml de solução salicilato de sódio + hidróxido de sódio 0,3M (1:1) e também 2 ml de ácido dicloroisocianúrico 0,1%; homogeneizou-se a solução e deixou-se repousar por 1 hora, em seguida fez-se a leitura da densidade óptica da coloração verde em espectrofotômetro a 690 nm. A quantificação da atividade da urease foi feita através de curva padrão traçando-se um

gráfico da absorvância *versus* concentração das soluções padrões.

c) Nitrogênio da biomassa microbiana: utilizou-se o método de fumigação-incubação, conforme Brookes et al. (1985), com o fator de correção K_N de 0,54. Inicialmente determinou-se a umidade das amostras através do método de secagem a 105°C por 24 horas. Pesou-se 20 gramas de solo de cada amostra em frascos, os quais foram guardados em geladeira devidamente tampados e identificados. No dia seguinte corrigiu-se a umidade das amostras até que estas atingissem 80% da capacidade de campo. Para incubação os frascos contendo as 20 g de solo foram acondicionados em recipientes de vidro maiores, os quais foram fechados, contendo também em seu interior outro recipiente de vidro de 10 ml com solução de KOH 0,3M (a ser utilizado na determinação da respiração basal). Estes permaneceram em ambiente escuro, por sete dias. Os solos a serem fumigados também permaneceram, em separado, no mesmo ambiente por seis dias em frascos devidamente tampados. Após a incubação, as amostras de solo a serem fumigadas permaneceram por 24 h em atmosfera de clorofórmio. As amostras fumigadas e não fumigadas foram então transferidas para erlenmeyers contendo solução de K_2SO_4 0,5M e pH 6,5-6,8; agitou-se os erlenmeyers por 40 minutos a 25°C, a 170 rpm; retirou-se o sobrenadante utilizando pipeta e transferiu-se para funil com papel de filtro acoplado a frascos plásticos de 40 mL; em seguida armazenou-se o extrato em frascos plásticos tampados, estes permanecendo sob refrigeração até o dia seguinte. A digestão do extrato foi realizada em meio sulfúrico utilizando bloco digestor a uma temperatura de 300°C por 3 horas. A destilação foi realizada através do método Kjeldahl e a titulação foi feita com ácido sulfúrico 0,0025N;

2.2.3 – Análises estatísticas

Os resultados foram analisados estatisticamente utilizando o programa Sisvar de análise estatística (FERREIRA, 2003) efetuando-se a comparação de médias e prova de significância pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

2.3 – Resultados e discussão

2.3.1 – Análise dos indicadores

2.3.1.1 – Atividade enzimática total (AET)

A atividade enzimática total é representada por um amplo conjunto de enzimas hidrolíticas produzidas pelos microorganismos do solo. Sua determinação pelo método da hidrólise do diacetato de fluoresceína é uma ferramenta consistente para aferir a qualidade do solo. Baseada na eficiência desse método como bioindicador de solos submetidos a reflorestamentos, Silva et al. (2004) sugerem sua utilização em estudos de dinâmica da ecologia microbiana de solos do Nordeste, bem como em estudos de monitoramento ambiental. Aproximadamente 90% do fluxo de energia no solo passa pelos decompositores microbiológicos, de modo que a análise da atividade desses organismos através da hidrólise do diacetato de fluoresceína fornece uma boa estimativa da atividade microbiológica total (LANNA, 2002). No presente estudo houve uma diferença estatisticamente significativa em função do uso do solo. Seguindo a sequência temporal de uso do solo na região estudada verificou-se uma tendência de recuperação dos níveis da atividade enzimática total na área de milho no sistema de cultivo mínimo (MCM), com valores de 97,45 mg FDA kg⁻¹ solo h⁻¹, em direção ao nível da área ambientalmente mais estável da pastagem associada à algaroba a qual apresentou 135,92 mg FDA kg⁻¹ solo h⁻¹ (Gráfico 2.1). Nenhum tratamento, como esperado, apresentou média estatisticamente igual à área de vegetação nativa que apresentou 218,89 mg FDA kg⁻¹ solo h⁻¹.

Provavelmente influenciado por formas de preparo do solo que ao longo dos anos pulverizam o solo pelo uso contínuo de gradagens pesadas e o expõe diretamente à ação da insolação, erosão e outros efeitos deletérios a área de milho consorciado com feijão (MCF) apresentou uma redução para a atividade enzimática total correspondendo a 31,94 mg FDA kg⁻¹ solo h⁻¹, não diferindo estatisticamente da área de milho isolado com uso de tecnologia moderna (MPC) que apresentou 79,49 mg FDA kg⁻¹ solo h⁻¹. Os dados indicam que houve uma melhoria na atividade enzimática total quando milho foi cultivado sob o sistema de cultivo mínimo.

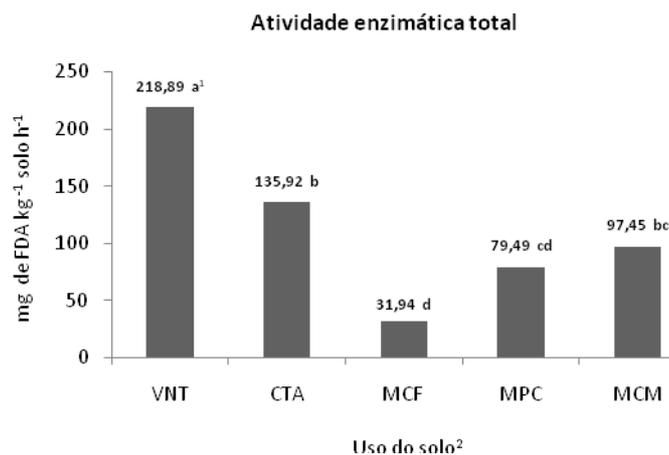


Gráfico 2.1 - Comportamento da atividade enzimática total no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.

(¹) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (²) VNT= vegetação nativa de Caatinga; CTA= capim-tanzânia associado à algaroba; MCF= milho consorciado com feijão; MPC= milho isolado, plantio convencional e MCM= milho isolado, cultivo mínimo.

Coefficiente de Variação (CV): 23,58%

O aumento da atividade total de enzimas hidrolíticas no interior das células vivas dos microorganismos é um bom indicador da melhoria da qualidade do solo. Estas enzimas promovem a hidrólise do diacetato de fluoresceína, que resulta na produção da fluoresceína. A quantidade de fluoresceína produzida fornece uma boa estimativa da atividade microbiológica total do solo (LANNA, 2002). Segundo Swisher & Carroll (1980) a quantidade de fluoresceína produzida pela hidrólise do diacetato de fluoresceína foi diretamente proporcional à população microbiana.

Os resultados observados para este indicador indicam uma sensível melhora na atividade microbiológica total do solo quando este foi usado no sistema de cultivo mínimo e na pastagem associada à algaroba. Estes dois sistemas promovem um menor revolvimento do solo, maior conservação de umidade e maior acúmulo de resíduos orgânicos do solo. Considerando estes resultados e a rápida expansão dos cultivos de milho na região deste estudo pode-se indicar que o sistema de cultivo mínimo, ou ainda, o plantio direto deve ser preferido aos sistemas convencionais de cultivo. Outro aspecto importante observado nas áreas de milho utilizadas neste estudo é o fato de que os resultados da atividade enzimática total mostraram uma relação direta e consistente com as produtividades alcançadas na última safra

agrícola: na área de milho consorciado com feijão os resultados indicaram 31,94 mg FDA kg⁻¹ solo h⁻¹ e uma produtividade de 1.700 kg ha⁻¹; na área de milho isolado em sistema convencional obteve-se 79,49 mg FDA kg⁻¹ solo h⁻¹ e produtividade de 5.940 kg ha⁻¹ e na área sob cultivo mínimo, 97,45 mg FDA kg⁻¹ solo h⁻¹ e produtividade de 9.900 kg ha⁻¹, o que reforça o argumento em favor do uso de sistemas mais conservacionistas de cultivo (cultivo mínimo e plantio direto) nestas áreas.

2.3.1.2 – Atividade da urease (AUR)

A urease é importante como catalisadora da hidrólise da uréia utilizada como fertilizante, sendo fundamental para a eficiência e aproveitamento agrônômico deste fertilizante nitrogenado (LONGO et al., 2005).

Os valores da atividade da urease apresentaram um comportamento semelhante ao verificado tanto para a atividade enzimática total como para o nitrogênio da biomassa microbiana (Gráfico 2.2).

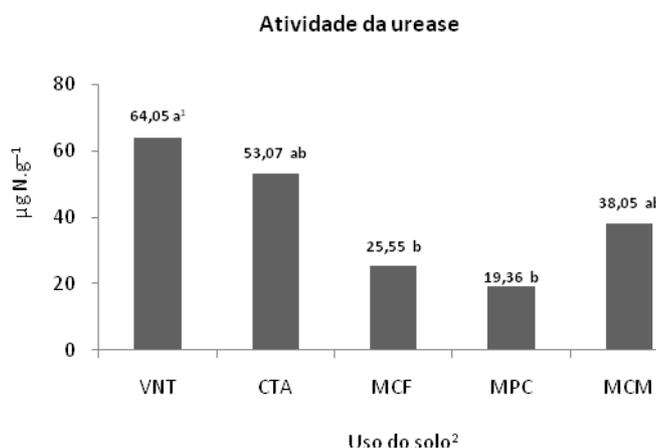


Gráfico 2.2 - Comportamento da atividade da urease no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ VNT= vegetação nativa de Caatinga; CTA= capim-tanzânia associado à algaroba; MCF= milho consorciado com feijão; MPC= milho isolado, plantio convencional e MCM= milho isolado, cultivo mínimo.

Coeficiente de Variação (CV): 47,32%

Ou seja, os maiores valores foram obtidos na área de vegetação nativa e na pastagem associada à algaroba e os menores nas áreas de milho. Entretanto, houve uma tendência de aumento da atividade da urease na área sob cultivo mínimo em relação às outras duas formas de cultivo convencional do milho, sendo significativo o fato de que o valor obtido no sistema de cultivo mínimo ($38,05 \mu\text{g de N.g}^{-1}$) não diferiu estatisticamente das áreas mais estáveis de vegetação nativa e de pastagem/algaroba. O exame desta variável confirma a tendência constatada neste estudo no sentido de que as formas convencionais de uso do solo com revolvimento e exposição do solo, característicos dos cultivos convencionais, parecem representar maior comprometimento à atividade da microbiota do solo, sinalizando que, possivelmente, os manejos mais desejáveis para a sustentabilidade da atividade agrícola nesta região sejam aqueles que promovam menores alterações mecânicas no solo.

2.3.1.3 – Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM)

Houve uma nítida diferenciação para os valores de NBM causados pelo efeito dos diferentes usos do solo (Gráfico 2.3). A média dos tratamentos foi de $63,98 \text{ mg NBM kg}^{-1}$ de solo. O maior valor foi verificado na área de vegetação nativa ($86,81 \text{ mg NBM kg}^{-1}$ de solo) e o menor, na do milho consorciado com feijão ($46,13 \text{ mg NBM kg}^{-1}$ de solo), sendo que houve praticamente uma redução pela metade do NBM entre estes dois tratamentos. Os outros sistemas de cultivo do milho também apresentaram decréscimo em relação à área nativa, entretanto, evidenciou-se uma tendência ascendente dos valores das áreas de milho no sistema convencional, e principalmente do milho no sistema de cultivo mínimo, aproximando-se dos valores da área de pastagem associada à algaroba. Em relação à área de referência de caatinga nativa os valores do NBM observados nas outras áreas representaram, respectivamente, 87% na área de pastagem associada à algaroba, 64,7% na área de milho sob cultivo mínimo, 63,6% no cultivo de milho convencional e 53,1% no milho consorciado com feijão. Considerando a relação Carbono/Nitrogênio (C/N) da biomassa microbiana provavelmente ocorreram mudanças qualitativas na população microbiana provocadas pelos diferentes usos do solo. Os maiores valores foram encontrados nas áreas de milho em plantio convencional (12,6/1) e milho consorciado com feijão (15,2/1). Nas áreas com sistemas mais conservacionistas esta

relação foi menor: 8,7/1 na área de vegetação nativa, 9,7/1 para milho em sistema de cultivo mínimo e 10,8/1 para a área de capim associado à algaroba. Jiang et al. (2009) sugerem que alta relação C/N da biomassa microbiana significa que a biomassa microbiana contém uma maior proporção de fungos enquanto que valores mais baixos indicam que bactérias são dominantes na população de microorganismos do solo. Citando trabalho de Moore (2000) Jiang et al. (2009) afirmam que em áreas cultivadas foram encontrados valores de C/N da biomassa microbiana que variaram de 4,3/1 a 11,4/1 e que esta média aumentou com os anos sucessivos de cultivos. Estes dados são coerentes com os observados no presente estudo considerando que a área de milho sob cultivo mínimo está sendo cultivada neste sistema há somente quatro anos e já apresenta resultados próximos aos verificados nas áreas de vegetação nativa. Assim, as mudanças na população microbiana possivelmente produzidas nas áreas sob cultivos convencionais de milho são menos desejáveis, pois se afastam dos sistemas mais estáveis como os das áreas de vegetação nativa e de pastagem associada à algaroba.

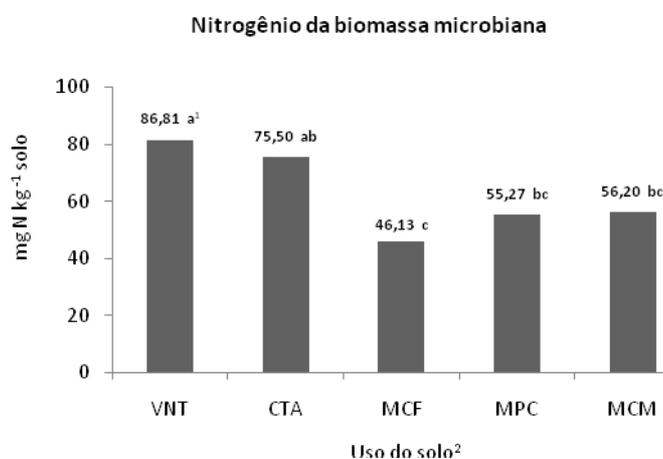


Gráfico 2.3 - Comportamento do nitrogênio da biomassa microbiana no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ VNT= vegetação nativa de Caatinga; CTA= capim-tanzânia associado à algaroba; MCF= milho consorciado com feijão; MPC= milho isolado, plantio convencional e MCM= milho isolado, cultivo mínimo.

Coefficiente de Variação (CV): 20,17%

Comportamento semelhante ao desse estudo para o NBM em áreas semiáridas de Porto Rico foi observado por Martínez et al. (2008). Estudando quatro diferentes

solos submetidos ao cultivo de pastagens, fruteiras e cultivo temporários diversos (tomates, pimentões etc.) estes pesquisadores encontraram diferenças estatisticamente significativas para NBM na camada de 0-5 cm em todos os solos estudados, para os três diferentes usos do solo. As áreas de pastagens apresentaram os mais elevados valores, seguidos das áreas com fruteiras enquanto os menores valores de NBM foram verificados nas áreas de cultivos temporários.

Estes dados de NBM parecem evidenciar um efeito benéfico das formas de manejo com menor mecanização e exposição do solo, a exemplo da pastagem associada à algaroba, indicando talvez, que manejos mais estáveis e menos intensivos podem ser mais desejáveis para a qualidade dos solos em condições semiáridas.

2.4 – Conclusões

1) Os indicadores ambientais de qualidade do solo que mediram a atividade enzimática total (AET), atividade da urease (AUR) e nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) apontaram uma tendência de mais sustentabilidade quando as áreas foram utilizadas ou com cultivo mínimo ou com pastagem associada à algaroba.

2) A comparação dos resultados desses três indicadores mostrou uma relação direta e consistente dos valores obtidos demonstrando que os mesmos foram sensíveis em identificar os efeitos dos diferentes usos do solo sobre a qualidade do solo, sendo, portanto, bons indicadores na análise de sustentabilidade ambiental na região do estudo.

2.5 – Referências

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*, v. 17, n. 6, p. 837, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Informática Agropecuária. In: Cultivo do feijão irrigado na região noroeste de Minas Gerais. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijão/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/glossario.htm>>. Acesso em 28 nov. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Procedimento operacional padrão - Análises microbiológicas do solo. Santo Antônio de Goiás, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FERREIRA, D. S. Sistema de Análise de Variância - Sisvar, versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003. Software.

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

JIANG, J. P.; XIONG, Y. C.; JIANG, H. M.; YE, D. Y.; SONG, Y. J.; Li, F. M. Soil microbial activity during secondary vegetation succession in semiarid abandoned lands of loess Plateau. *Pedosphere*, v. 19, n. 6, p. 735, 2009.

LANNA, A. C. Impacto ambiental de tecnologias, indicadores de sustentabilidade e metodologias de aferição: uma revisão. 1. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa/CNPAF, 2002. 31 p.

LONGO, R. M.; MELO, W. J. Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 29, p. 651, 2005.

MARTÍNEZ, V. A.; MERCADO, D.A.; RAMÍREZ, D. S.; RODRÍGUEZ, L. C. Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils. *Applied Soil Ecology*, v. 38, p. 249, 2008.

SILVA, M.; SIQUEIRA, E.R.; COSTA, J.L.S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 5, 2004.

SWISHER, R.; CARROLL, G. C. Fluoresceína diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surfaces. *Microbial Ecology*, New York, v. 6, n. 3, 1980.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: PAGE, A. L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D. R. (Eds.). *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Madison: ASA, p. 903, 1982.

CAPÍTULO 3

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO:
ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA, ATIVIDADE DA β -GLUCOSIDASE,
CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA, RESPIRAÇÃO BASAL DO
SOLO E QUOCIENTE METABÓLICO**

3.0 – Indicadores microbiológicos de qualidade do solo: atividade da fosfatase ácida (FAC), atividade da β -glucosidase (GLU), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2)

3.1 – Introdução

Um dos grandes desafios da ciência agrônômica atualmente é promover sistemas de produção que garantam elevados rendimentos das culturas ao mesmo tempo em que proporcionem que estas explorações sejam feitas de forma sustentável. De acordo com Ferreira (2010), independentemente do sistema adotado o manejo do solo resultará sempre em mudanças em algumas características do solo. Os indicadores microbiológicos de qualidade do solo são apropriados para o estudo da qualidade do solo devido à sua sensibilidade e capacidade de responder prontamente às alterações provocadas por diferentes manejos possibilitando o monitoramento do uso sustentável dos sistemas agrícolas.

O objetivo específico deste capítulo foi o de apresentar os dados dos indicadores microbiológicos da atividade da fosfatase ácida, β -glucosidase, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente metabólico em cinco áreas características do uso do solo nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe, sendo três delas representativas de diferentes sistemas de cultivo de milho.

3.2 – Materiais e métodos

3.2.1 – Experimento de campo

O trabalho de campo foi conduzido na Fazenda Riachão e no Assentamento Oito de Outubro, coordenadas geográficas $10^{\circ} 40' 25,1''$ Sul e $37^{\circ} 46' 35,4''$ Oeste, e $10^{\circ} 41' 02,5''$ Sul e $37^{\circ} 45' 52,1''$ Oeste, respectivamente, no município de Simão Dias/SE e na Fazenda Recanto, coordenada $10^{\circ} 43' 55,6''$ Sul e $38^{\circ} 04' 23,5''$ Oeste no município de Poço Verde/SE. O solo das áreas estudadas, previamente selecionado segundo critérios de homogeneidade edáfica e tempo de cultivo, é classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, conforme Embrapa

(2006). Os tratamentos (áreas estudadas) consistiram de uma área de vegetação nativa de caatinga - VNT; uma área de pastagem de capim-tanzânia associado à algaroba - CTA; uma área cultivada com milho consorciado com feijão, utilizando tecnologia tradicional e sistema convencional de cultivo - MCF; uma área de milho isolado utilizando tecnologia moderna com uso intensivo de insumos e sistema convencional de cultivo - MPC e uma área de milho isolado utilizando tecnologia moderna, com uso intensivo de insumos e sistema de cultivo mínimo - MCM. Todas as áreas de cultivo já estão em processo produtivo há mais de trinta anos sendo que a MPC e a MCM adotam a tecnologia moderna e intensiva de cultivo há apenas seis e quatro anos, respectivamente. As amostras de solo foram coletadas no final do mês de março de 2010 na camada de 0-10 cm. O material coletado foi mantido sob refrigeração desde a coleta até as análises laboratoriais. Foram retiradas três amostras simples para compor uma amostra composta, a qual se constituiu em uma repetição, sendo realizadas cinco repetições para cada tratamento. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado.

3.2.2 – Análises laboratoriais

As análises foram realizadas no laboratório de Biologia do Solo da Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão em Goiânia (GO) obedecendo ao protocolo operacional de análises daquela Unidade de pesquisa (EMBRAPA, 2005). Todas as amostras foram determinadas em triplicata.

a) Atividade da fosfatase ácida: a fosfatase ácida foi determinada de acordo com Tabatabai (1982). Pesou-se 1,0g de solo colocando-o em um frasco plástico de 30 ml com tampa; adicionou-se 4 ml de tampão universal (MUB) pH 6,5 e mais 1 ml do substrato (Solução de para-nitrofenolfosfato -PNF- 0,05M) a todos os frascos, exceto os controles; em seguida tampou-se os frascos, agitou-se manualmente com movimentos circulares e incubou-se por 1 hora a 37°C; adicionou-se 1 ml de CaCl₂ 0,5M para prevenir a dispersão da argila e extração de matéria orgânica do solo; adicionou-se 4 ml de NaOH 0,5M; em seguida adicionou-se 1ml de PNF aos controles; incubou-se por 30 minutos a 37°C; agitou-se manualmente e deixou-se descansar por dois minutos para decantar; filtrou-se através de papel Whatman nº2 e fez-se a leitura do filtrado em espectrofotômetro a 420 nm. A quantificação foi feita

através de curva padrão traçando-se um gráfico da absorbância *versus* concentração das soluções padrões.

b) Atividade da β -glucosidase: para determinação da β -glucosidase, seguiu-se, também, os procedimentos de Tabatabai (1982). Inicialmente pesou-se 1,0g de solo e colocou-se o solo pesado em frasco plástico de 30ml com tampa e adicionou-se 4 ml de tampão universal (MUB) pH 6; em seguida adicionou-se 1 ml do substrato (Solução de para-nitrofenolglucopiranosídeo – PNG – 0,05M) a todos os frascos, exceto os controles; tampou-se os frascos e agitou-se manualmente com movimentos circulares e incubou-se por 1 hora a 37°C; adicionou-se 1ml de CaCl_2 0,5M para prevenir a dispersão da argila e extração de matéria orgânica do solo; adicionou-se 4 ml de solução extratora THAM 0,1M pH 12; adicionou-se 1 ml de PNG aos controles; agitou-se manualmente e deixou-se descansar por dois minutos para decantar; filtrou-se através de papel Whatman nº2 e em seguida fez-se a leitura do filtrado em espectrofotômetro a 420 nm. A quantificação foi feita através de curva padrão traçando-se um gráfico da absorbância *versus* concentração das soluções padrões.

c) Carbono da biomassa microbiana: utilizou-se o método de fumigação-incubação, conforme Vance et al. (1987) utilizando-se o fator de correção K_c de 0,33 e correção de umidade para 80% da capacidade de campo. Para incubação utilizou-se um frasco contendo 20g de solo, os quais foram acondicionados em recipientes de vidro maiores que foram fechados contendo também em seu interior um outro frasco de 10 ml com solução de KOH 0,3M (que foram utilizados determinação da respiração basal), permanecendo assim, em ambiente escuro, por sete dias. Os solos a serem fumigados também permaneceram, em separado, no mesmo ambiente por seis dias. Após a incubação, as amostras de solo a serem fumigadas permaneceram por 24 horas em atmosfera de clorofórmio. As amostras fumigadas e não fumigadas foram então transferidas para erlemmeyers contendo solução de K_2SO_4 0,5M e pH 6,5-6,8; agitou-se os erlenmeyers por 40 minutos a 25°C, a 170 rpm; retirou-se o sobrenadante utilizando pipeta e transferiu-se para funil com papel de filtro acoplado a frascos plásticos de 40 ml; em seguida armazenou-se o extrato em frascos plásticos tampados, estes permanecendo sob refrigeração até o dia seguinte. A determinação

do carbono foi realizada através da oxidação do carbono com dicromato de potássio em meio sulfúrico e a titulação foi feita com sulfato ferroso amoniacal.

d) Respiração basal no solo: a partir dos frascos maiores contendo os solos incubados para determinação do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana foi retirado os francos de 10 ml contendo KOH 0,3M, tampando-os imediatamente; preencheu-se uma bureta com HCl 0,1N padronizado; adicionou-se 3 ml BaCl₂ 20% no frasco contendo KOH, tampando-se e agitando-se em seguida; transferiu-se o conteúdo do frasco para um erlenmeyer de 125 ml, adicionou-se 2 gotas de fenolftaleína 1% e titulou-se com HCl 0,1 N até a mudança da coloração de rosa para branca leitosa.

e) Quociente metabólico (qCO₂): este é um parâmetro derivado estabelecido pelo cálculo da relação da Respiração basal do solo/Carbono da biomassa microbiana.

3.2.3 – Análises estatísticas

Os resultados foram analisados estatisticamente utilizando o programa Sisvar de análise estatística (Ferreira, 2003) efetuando-se a comparação de médias e prova de significância pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.3 – Resultados e discussão

3.3.1 – Análise dos indicadores

3.3.1.1 – Atividade da fosfatase ácida (FAC)

A fosfatase desempenha importante papel na ciclagem e na transformação do fósforo a partir de forma orgânicas deste elemento disponibilizando-o às plantas sendo este um dos minerais essenciais para a nutrição das plantas. A queda nos níveis dessa enzima nas áreas de cultivos mais intensivos devem provavelmente estar relacionadas às adubações mais pesadas com fontes de fósforo de alta solubilidade permitindo assim um aporte substancial de formas lábeis desse elemento no solo produzindo uma menor dependência do sistema das formas orgânicas de fósforo e, conseqüentemente, uma demanda menor desta enzima.

Houve um decréscimo significativo da atividade da fosfatase ácida entre as áreas estudadas. As áreas cultivadas com milho foram as que mais diferenças apresentaram em relação à área de referência de vegetação nativa a qual apresentou 4.338,43 $\mu\text{g.p-nitrofenol.g}^{-1}\text{ solo.h}^{-1}$. Os decréscimos em relação à área nativa foram da seguinte ordem: 23 vezes para o sistema de cultivo mínimo, 7,5 vezes para a área de milho consorciado com feijão, 4,4 vezes para o milho convencional e 3,4 vezes em relação à pastagem associada à algaroba (Gráfico 3.1).

Estudando o efeito da fosfatase em solos de cerrado Matsuoka et al. (2003) sugeriu esta possibilidade ao comparar os menores resultados para esta enzima obtidos em seu trabalho, cujos solos possuíam níveis médios de P, em relação a outros experimentos onde os maiores valores para a fosfatase ácida ocorreram em condições de níveis baixo de fósforo no solo.

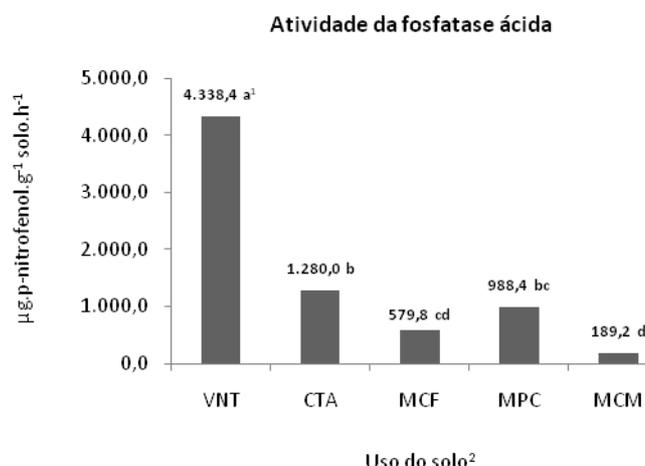


Gráfico 3.1 - Comportamento da atividade da fosfatase ácida no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ VNT= vegetação nativa de Caatinga; CTA= capim-tanzânia associado à algaroba; MCF= milho consorciado com feijão; MPC= milho isolado, plantio convencional e MCM= milho isolado, cultivo mínimo.

Coefficiente de Variação (CV): 23,33%

Pesquisando a atividade enzimática em solo afetados por alterações provocadas por práticas agrícolas na Itália Gianfreda et al. (2005) igualmente sugere o efeito inibidor de conteúdos de fosfatos lábeis em solos que apresentaram teores

mais baixos para fosfatase. O efeito inibidor de formas solúveis de fósforo aplicado nos solos estudados pode ser ainda mais acentuado considerando o desequilíbrio das doses aplicadas. Oliveira (2006), estudando o uso de fertilizantes químicos por agricultores familiares da região em estudo, constatou que 97% dos agricultores pesquisados utilizam fertilizantes minerais com fontes de fósforo, embora 84% destes nunca realizaram análise de solo, sendo que a experiência própria ou a opinião de terceiros, sem qualquer base técnico-científica, são os critérios determinantes para a fertilização do solo. Este fato reflete negativamente sobre o sistema solo, e seguramente é um dos fatores que podem estar contribuindo de forma deletéria na qualidade do uso do solo e na sustentabilidade da atividade agropecuária da região.

Pelo exposto, esta enzima apontou uma grande sensibilidade ao possível efeito da aplicação de formas altamente solúveis de fósforo inorgânico nos solos estudados.

3.3.1.2 – Atividade da β -glucosidase (GLU)

A β -glucosidade está ligada ao ciclo do carbono e desempenha papel importante na dinâmica do ciclo da matéria orgânica do solo estando diretamente envolvida no processo final da degradação da celulose produzindo a glucose, necessária às plantas e aos microorganismos (MARTÍNEZ et al., 2007).

Da mesma forma que o observado para a fosfatase, o menor valor para a β -glucosidade foi encontrado na área do milho sob o cultivo mínimo ($66,65 \mu\text{g.p-nitrofenol.g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) e o maior na área nativa de caatinga ($528,65 \mu\text{g.p-nitrofenol.g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$), sendo que esta última se diferenciou estatisticamente de todos os demais tratamentos (Gráfico 3.2). Não houve, entretanto, diferença significativa entre a área de pastagem e as áreas de cultivo de milho.

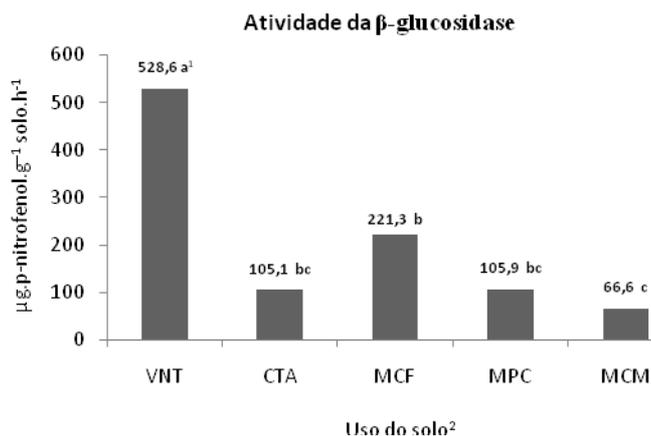


Gráfico 3.2 - Comportamento da atividade da β -glucosidase no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ VNT= vegetação nativa de Caatinga; CTA= capim-tanzânia associado à algaroba; MCF= milho consorciado com feijão; MPC= milho isolado, plantio convencional e MCM= milho isolado, cultivo mínimo.

Coefficiente de Variação (CV): 34,12%

Uma hipótese provável para a grande diferença entre a área de vegetação nativa e as demais áreas pode estar relacionada ao maior aporte e complexidade qualitativa dos resíduos orgânicos originários daquela área em relação a estas últimas, visto que os cultivos mais uniformes tendem a reduzir a quantidade bem como também à diversidade dos resíduos responsáveis pelo suprimento contínuo de material orgânico para ciclagem. Este fato aparece ainda mais evidente analisando os dados da área do milho consorciado com feijão a qual, sendo uma forma menos uniforme que os demais manejos e que devolve ao solo resíduos orgânicos de duas culturas distintas e facilmente decomponíveis, apresentou a segunda maior atividade da β -glucosidase. Badiane et al. (2001, *apud* NUNES et al. 2009) menciona a evidência de correlações significativas entre a atividade da β -glucosidase e a quantidade e a qualidade de resíduos orgânicos adicionados ao solo. Aceitando-se essa evidência, podemos concluir que, no presente estudo, a mecanização, o uso intenso de fertilizantes, e mesmo o uso de herbicidas e outros agroquímicos tanto podem estar promovendo uma maior oxidação do carbono do solo, como podem estar reduzindo a entrada de resíduos decomponíveis, com conseqüências diretas sobre a menor atividade desta enzima. Este fato pode ser indicativo de comprometimento do compartimento do carbono, o que pode afetar futuramente a qualidade do solo e a sustentabilidade da atividade agricultura na região. Isto é ainda

mais evidente considerando os resultados do carbono orgânico total nas áreas estudadas. A área de pastagem associada à algaroba apresentou o maior valor, 17,73 g dm⁻³ de carbono, seguida pela área de caatinga nativa, 16,11 g dm⁻³. As três áreas de milho apresentaram resultados bem menores, 13,39 g dm⁻³ na área de plantio convencional, 12,76 g dm⁻³ na de milho em sistema de cultivo mínimo e 12,21 g dm⁻³ na de milho consorciado com feijão.

3.3.1.3 – Carbono da biomassa microbiana (CBM)

Pela análise estatística, não houve efeito significativo entre as diferentes áreas estudadas para o Carbono da Biomassa Microbiana, sugerindo que as diversas formas de uso e manejo do solo ainda não alteraram significativamente o compartimento de carbono oriundo da microbiota do solo (Gráfico 3.3).

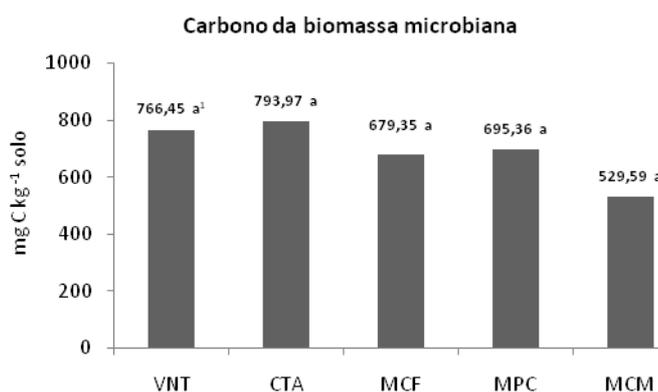


Gráfico 3.3 - Comportamento da atividade do carbono da biomassa microbiana no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ VNT= vegetação nativa de Caatinga; CTA= capim-tanzânia associado à algaroba; MCF= milho consorciado com feijão; MPC= milho isolado, plantio convencional e MCM= milho isolado, cultivo mínimo.

Coeficiente de Variação (CV): 22,42%

O estudo de Kaschuck et al. (2010) considera que o carbono da biomassa microbiana é um dos mais promissores indicadores da qualidade do solo porque responde prontamente às mudanças ambientais frequentemente mais cedo que parâmetros físicos e químicos. Neste sentido, Lal (1999), aponta o declínio do carbono da biomassa como um indicador de processo degradativo do solo. A média entre os tratamentos para esta variável foi 692,94 mg CBM kg⁻¹ de solo e o fato de

não ter havido diferenças significativas entre as áreas estudadas pode ser um indicativo de que, ao menos quantitativamente, a biomassa microbiana não tem sido fortemente impactada por efeito dos diferentes manejos e usos do solo. Ao contrário do esperado, não houve aumento do CBM na área do milho em sistema de cultivo mínimo, sistema este implementado há quatro anos, e que se constitui, das áreas de milho estudadas, a forma de manejo do solo mais conservacionista. Balota et al. (1998), estudando o CBM em relação ao preparo do solo e sucessão de culturas, citam vários trabalhos em que o uso de outra forma de manejo conservacionista, o plantio direto, aumentou de forma significativa este indicador de qualidade do solo. Não foi o que ocorreu, entretanto, nas condições do presente estudo. Estes autores, referindo-se a trabalho de Follet & Shimel (1989) realizado nos EUA, salientam, porém, um decréscimo de 175% do CBM em áreas com plantio direto em relação às áreas com gramíneas nativas que nunca foram submetidas ao cultivo. Neste caso, Follet & Shimel utilizaram, no procedimento analítico, um tempo de incubação das amostras de 10 dias.

3.3.1.4 – Respiração basal do solo (RBS)

A respiração basal representa a quantidade total de CO₂ liberado devido à atividade biológica dos microorganismos do solo. Silva et al. (2007), afirmam que existe uma estreita relação entre a respiração basal e os fatores abióticos do solo, tais como umidade, temperatura e aeração. Estes autores, citando Catellan et al. (1990), afirmam que a disponibilidade de carbono no solo tem sido descrita como fonte contribuidora do aumento da respiração basal dos microorganismos. Zornoza (2007 *apud* FERREIRA, 2010) também afirma a estreita relação entre a respiração basal a as condições abióticas do solo, tais como temperatura e umidade. Estes autores, estudando o efeito do plantio direto e do cultivo convencional sobre indicadores microbiológicos de qualidade do solo, não encontraram diferenças significativas para a respiração basal e para o quociente metabólico entre estes sistemas de cultivo e uma área próxima de vegetação secundária, muito embora, entre o plantio direto e o cultivo convencional tenham observado diferença.

A respiração basal do solo é um sensível indicador de estresses impostos ao solo por ações antrópicas devendo ser incluídos nos trabalhos de análise de sustentabilidade de áreas agrícolas. Os resultados deste estudo mostraram pouca diferença estatística entre os tratamentos (Gráfico 3.4), muito provavelmente devido à época da coleta onde a diminuição das chuvas e, conseqüentemente, a menor umidade do solo, diminuíram a atividade metabólica da biota do solo. Isto indica que estudos com este indicador devem ser feitos em épocas diferentes durante a safra, preferencialmente tomando-se amostras durante os períodos chuvoso e de estiagem para se ter uma análise mais completa do seu comportamento.

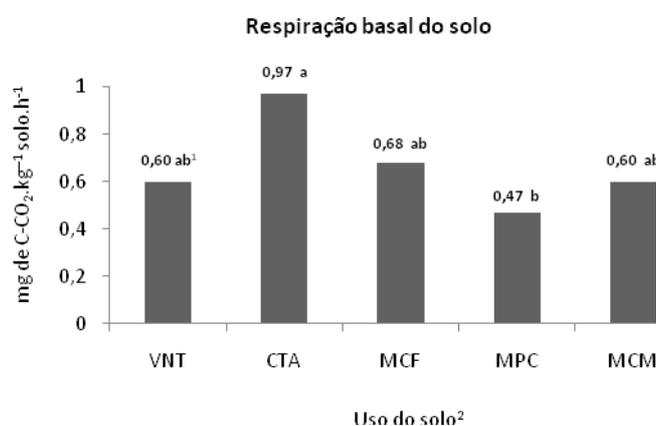


Gráfico 3.4 - Comportamento da respiração basal do solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.

(¹) Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (²) VNT= vegetação nativa de Caatinga; CTA= capim-tanzânia associado à algaroba; MCF= milho consorciado com feijão; MPC= milho isolado, plantio convencional e MCM= milho isolado, cultivo mínimo.

Coefficiente de Variação (CV): 32,62%

A maior produção de CO₂ ocorreu na área de pastagem associada à algaroba (0,9738 mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹), o dobro da verificada na área de milho convencional (0,4714 mg de C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹). Mesmo em condições pouco favorecidas pela umidade do solo, este dado aponta para o fato de que, possivelmente, o manejo do milho em sistema tradicional também pode afetar fortemente a dinâmica do metabolismo dos microorganismos do solo. Assim, deve-se preferir a adoção de formas do cultivo mínimo ou sistemas mais estáveis e que promovam um menor agravo mecânico ao solo, como é o caso da pastagem em associação com algaroba.

3.3.1.5 – Quociente metabólico (qCO₂)

O quociente metabólico é expresso pela razão entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana. Esta taxa mede a eficiência com que os microorganismos do solo utilizam as fontes de carbono existentes no solo (KASCHUK, 2010) e é um sensível indicador para se aferir o grau de distúrbio a que um solo está submetido. É esperado que solos que sofreram maiores estresses apresentem índices de qCO₂ mais elevados que aqueles menos impactados por distúrbios. De acordo com Odum (1985 *apud* JIANG, 2009) isto é explicado pelo aumento de energia necessária para os microorganismos repararem o dano causado pelo estresse no ambiente.

No presente trabalho não houve diferença estatística significativa para este indicador (Gráfico 3.5) o que indica que provavelmente sugere que as atuais formas de uso do solo ainda não produziram efeitos deletérios graves sobre os solos locais.

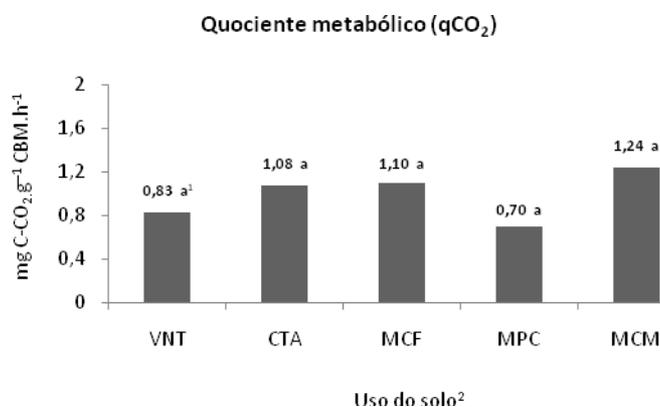


Gráfico 3.5 - Comportamento do quociente metabólico no solo sob usos diferenciados nas regiões Agreste e Centro-Sul de Sergipe.

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ VNT= vegetação nativa de Caatinga; CTA= capim-tanzânia associado à algaroba; MCF= milho consorciado com feijão; MPC= milho isolado, plantio convencional e MCM= milho isolado, cultivo mínimo.

Coefficiente de Variação (CV): 35,22%

A análise desta variável está coerente com os diagnósticos de Oliveira (2009) e Almeida (2006), os quais, por instrumentos diagnósticos distintos do utilizado neste trabalho, identificaram impactos pequenos a médios no ambiente solo na mesma região desta pesquisa. Tais impactos, ainda que não sejam comprometedores à

sustentabilidade da região no momento, devem ser objeto de análise já que a agricultura intensiva nesta região está em franca expansão, tendo por isso um potencial elevado de impacto sobre os agrossistemas locais.

3.4 – Conclusões

1) Os indicadores ambientais das atividades da fosfatase ácida e β -glucosidase indicaram uma redução significativa destas enzimas nos solos sob cultivo de milho. Provavelmente as práticas intensas de mecanização, fertilização mineral e uso de grandes quantidades de herbicidas nas áreas cultivadas tiveram efeito inibidor, e/ou causaram redução da quantidade e qualidade dos resíduos aportados, bem como uma maior oxidação do carbono do solo, com a conseqüente redução da atividade destas enzimas. Este fato revela a necessidade de ajustes das tecnologias adotadas objetivando o não comprometimento futuro da qualidade dos solos agrícolas da região.

2) A pequena variação nos valores do carbono da biomassa microbiana, da respiração basal e do qCO_2 são indicativos de que, de uma maneira geral, as recentes modificações tecnológicas em curso na região estudada ainda não causaram agravos significativos à sustentabilidade da atividade agropecuária no Agreste e Centro-Sul sergipano.

3.5 – Referências

BALOTA, E. L.; COLLOZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 22, p. 641, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Procedimento operacional padrão - Análises microbiológicas do solo. Santo Antônio de Goiás, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FERREIRA, D. S. Sistema de Análise de Variância - Sisvar, versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003. Software.

FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J.R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N.G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 2, p. 177, 2010.

GIANFREDA, L.; RAO, M. A.; PIOTROWSKA A.; PALUMBO G.; COLOMBO C. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *Science of the Total Environment*. v. 341, p. 265, 2005.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. V. Method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 8, n. 3, p. 209, 1976.

JIANG, J. P.; XIONG, Y. C.; JIANG, H. M.; YE, D. Y.; SONG, Y. J.; Li, F. M. Soil microbial activity during secondary vegetation succession in semiarid abandoned lands of loess Plateau. *Pedosphere*, v. 19, n. 6, p. 735, 2009.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O. & HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 42, p. 1, 2010.

LAL, R. Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97 p.

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

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

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

NUNES, L. A. P. L.; DIAS, L. E.; JUCKSCH, I.; BARROS, N. F.; KASUYA, M. C. M.; CORREIA, M. E. F. Impactos do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da mata mineira. *Ciência Rural*, v. 39, n. 9, p. 2467, 2009.

OLIVEIRA, O. S. Determinação dos critérios de uso de fertilizantes químicos por agricultores familiares de Poço Verde (SE). Monografia (Especialização). Lavras, 2006. 30 p.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2), Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. Comunicado Técnico 99.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. In: PAGE, A. L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D. R. (Eds.). *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Madison: ASA, p. 903, 1982.

VANCE, E. D., BROOKES, P. C., JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 19, p. 703, 1987.

CONCLUSÕES GERAIS

Conclusões gerais:

1) O atual processo de modernização dos cultivos de milho no Agreste e Centro-Sul de Sergipe é baseado no modelo clássico do uso intensivo de agroquímicos e materiais genéticos de alta performance de produtividade, mecanização intensiva dos cultivos e grande aporte de capital financeiro.

2) A necessidade de grande escala de plantio que justifiquem os investimentos financeiros na atividade, bem como os menores custos de produção dos cultivos sob sistemas intensivos podem se constituir em entraves à capacidade de sobrevivência das formas familiares de produção na região estudada.

3) Os indicadores ambientais de qualidade do solo que mediram a atividade enzimática total, atividade da urease e nitrogênio da biomassa microbiana do solo correlacionaram-se de forma consistente apontando uma tendência de mais sustentabilidade quando as áreas foram utilizadas ou com cultivo mínimo ou com pastagem associada à algaroba. Os resultados da atividade enzimática total mostraram uma relação direta com as produtividades alcançadas nas áreas de milho estudadas. Os dados obtidos para estes três indicadores sugerem que a implementação de formas de manejo como o plantio direto, o cultivo mínimo ou ainda sistemas conservacionistas mais sofisticados como os manejos agroflorestais devem ser preferidos em relação aos cultivos convencionais na região deste estudo.

4) Os indicadores ambientais que mediram as atividades da fosfatase ácida e da β -glucosidase mostraram uma redução significativa destas enzimas nos solos sob manejo antrópico. No caso da fosfatase ácida, provavelmente o fornecimento de fontes solúveis de fósforo tiveram um efeito inibidor sobre a produção desta enzima pela comunidade microbiana. No caso da β -glucosidase, os dados sugerem que as áreas com aporte de resíduos orgânicos menos diversificados foram mais afetadas.

5) Os resultados dos indicadores carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente metabólico não apontaram diferenças significativas na qualidade do solo devido a seus diferentes usos.

SUGESTÕES

1) O presente trabalho possibilitou a verificação do grave problema da falta de práticas de conservação do solo na região deste estudo. Pela urgência que o tema requer sugerimos que os agentes públicos e privados implementem, desde já, práticas conservacionistas na região, uma vez que a intensificação do processo de uso do solo favorece a perda da camada superficial do solo em curtíssimo prazo. Tal problema necessita de uma ação mais efetiva e imediata, sobretudo considerando-se que as técnicas agronômicas em relação a este tema já são bastante conhecidas e consagradas pelo uso bastando, tão somente, a assessoria de profissionais com habilidade e conhecimento agronômico.

2) Sugerimos a continuidade da avaliação ao longo do tempo para sondagem e verificação de eventuais mudanças nos indicadores utilizados neste estudo, bem como de possíveis alterações nos padrões de produtividade, principalmente nas áreas de milho cultivadas sob sistemas de tecnologia intensiva.

3) Inclusão nos próximos trabalhos sobre qualidade ambiental nas áreas deste estudo de indicadores físicos, químicos e de fertilidade do solo.

4) Diante do atual processo de modernização da agricultura no Agreste e Centro-Sul sergipano faz-se necessário o aprofundamento de estudos sobre as transformações do trabalho rural nessas microrregiões do Estado. Considerando as experiências históricas de regiões onde a modernização conservadora da agricultura se processou, tal fenômeno representou a liberação de grande contingente de mão de obra, constituindo-se em um grave problema social, fato que pode eventualmente se reproduzir nas nossas condições.

5) Sugerimos, por fim, a realização de reuniões, dias de campo, entre outras ações com produtores rurais, entidades federais, estaduais e municipais ligadas à temática discutida no presente trabalho a fim de que seja colocada em evidência a ideia do uso sustentável do solo.