

PROPRIEDADES, ERODIBILIDADE E PRODUTIVIDADE DE CAMADAS
DE PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO E CAMBISSOLO
EUTRÓFICO, SUBMETIDAS À EROÇÃO SIMULADA

HELOISA HELENA FRANCO LEITÃO

BCT/UFC CATIVO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

FORTALEZA - CEARÁ

1995

UFC/BU/BCT

23/05/1997



R598151
C342599
T631.4

Propriedades, erodibilidade e
produtivid

1548p

PROPRIEDADES, ERODIBILIDADE E PRODUTIVIDADE DE CAMADAS
DE PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO E CAMBISSOLO
EUTRÓFICO, SUBMETIDAS À EROSÃO SIMULADA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
BCT/UFC CATIVO

HELOISA HELENA FRANCO LEITÃO

C342599

Dissertação Submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Agronomia Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas para
Obtenção do Grau de Mestre

T631.4
L548P
1995
ex. 1

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1995

UFC/BU BCT 23 Mai 1997



R598151 Propriedades, erodibilidade e produtivid
C342599

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L548p Leitão, Heloisa Helena Franco.
 Propriedades, erodibilidade e produtividade de camadas de podzólico vermelho-amarelo eutrófico e cambissolo eutrófico, submetidas à erosão simulada / Heloisa Helena Franco Leitão. – 1995.
 104 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 1995.
 Orientação: Prof. Dr. José Ronaldo Coelho Silva.
1. Ciência do solo. I. Título.

CDD 631.4

Esta Dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Agronomia - Área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas outorgado pela Universidade Federal do Ceará, encontrando-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

[Redacted]
Heloisa Helena Franco Leitão

Dissertação aprovada em 20/12/95

[Redacted]
Prof. José Ronaldo Coelho Silva, PhD.

Orientador da Dissertação

[Redacted]
Prof. Elder Gurgel Souza Moreira,
Conselheiro, Dr.

[Redacted]
Prof^a. Carmem Sílvia Corrêa Bueno,
Conselheira, Ms.

[Redacted]
Prof^a. Eliana Miranda Sampaio,
Conselheira, Ms.

AGRADECIMENTOS

A UNICAMP pela oportunidade que me ofereceu durante a realização do Curso de Pós-graduação em Meteorologia.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CNPQ) pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Instituto de Física, Geologia e Metalurgia (IGM) pelo auxílio na compra dos materiais de laboratório.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela realização das análises físico-químicas dos solos estudados.

Ao professor José Ronaldo Chelmo Filho pela orientação durante o trabalho de campo.

Ao professor Eliete Abramo Sampaio pelo auxílio na interpretação dos dados analíticos dos solos.

Aos professores Luiz Gargal Souza Moraes e Cassiano Júnior Gomes por suas valiosas sugestões técnicas.

Ao professor Ademar dos Santos Teixeira pelo colaboração na metodologia de controle de qualidade do experimento.

Aos demais professores do UNICAMP por ajudarem de várias maneiras durante a realização do curso.

Aos meus pais, JOÃO e HELOIZA,
pelo incentivo e carinho.

A AURÉLIO, meu noivo, pelo apoio e
compreensão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À DEUS pela força divina que me moveu durante a realização do Curso e me ajudou a superar os entraves;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo;

Ao Distrito de Irrigação Jaguaribe Apodi (DIJA) pelo auxílio na coleta das amostras de solo;

À Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) pela realização das análises físico-químicas dos solos estudados;

Ao professor José Ronaldo Coelho Silva pela orientação e acompanhamento do trabalho;

À professora Eliana Miranda Sampaio pela realização e auxílio nas interpretações das análises estatísticas;

Aos professores Elder Gurgel Souza Moreira e Carmem Sílvia Corrêa Bueno pelas sugestões valiosas;

Ao professor Adunias dos Santos Teixeira pela colaboração na metodologia de controle da irrigação do experimento;

Aos demais professores do Curso de Pós-graduação pelos ensinamentos transmitidos;

À minha família, que embora ausente fisicamente, soube se fazer presente pelo apoio, incentivo e carinho em todos os momentos;

Aos meus amigos Maria José Pinheiro Corrêa, Maria Cristina da Silva Mendonça, Clemens de Paula Gomes Vieira e Claudivan Feitosa de Lacerda pela presença constante nas horas mais difíceis.

Aos Engenheiros Agrônomos Francisco José da Silva e Benedito de Brito Cardoso pela colaboração na instalação do experimento e tradução dos trabalhos.

Aos colegas do Curso de pós-graduação pela oportunidade de convivência;

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo.

SUMMARY

1. INTRODUÇÃO

2. OBJETIVO DA EXPERIMENTAÇÃO

- 2.1. Ensaio e produtividade 1
- 2.2. Ensaio e modificações nas prioridades do solo 2
- 2.3. Ensaio e nutrientes do solo 10
- 2.4. Revisão artificial de nutrientes do solo e sua relação com o rendimento de colheita e rendimento de culturas 12
- 2.5. Fertilidade e profundidade do solo 15
- 2.6. Fertilidade de Pastagens e Culturas 18

3. MATERIAL E MÉTODOS

- 3.1. Localização da área experimental 22
- 3.2. Solo 22
- 3.3. Culturas 25
- 3.4. Determinação experimental e análise de resultados 26
- 3.5. Parâmetros avaliados e métodos analíticos 27
- 3.6. Análises 27
- 3.7. Análises 29

SUMÁRIO

	<u>LISTA DE QUADROS</u>	x
	<u>LISTA DE FIGURAS</u>	xii
	<u>RESUMO</u>	xiii
	<u>SUMMARY</u>	xvi
1	<u>INTRODUÇÃO</u>	1
2	<u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	3
	2.1 <u>Erosão e produtividade</u>	3
	2.2 <u>Erosão e modificações nas propriedades do solo</u>	7
	2.3 <u>Erosão e nutrientes do solo</u>	10
	2.4 <u>Remoção artificial de camadas do solo e sua relação com o desenvolvimento e rendimento da culturas</u>	12
	2.5 <u>Erodibilidade e propriedades do solo</u>	15
	2.6 <u>Erodibilidade de Podzólicos e Cambissolos</u>	18
3	<u>MATERIAL E MÉTODO</u>	22
	3.1 <u>Localização da área experimental</u>	22
	3.2 <u>Solos</u>	22
	3.3 <u>Culturas</u>	25
	3.4 <u>Delineamento experimental e condução do experimento</u>	26
	3.5 <u>Parâmetros avaliados e métodos analíticos</u>	27
	3.5.1 <u>No solo</u>	27
	3.5.2 <u>Na planta</u>	29

3.6	<u>Análise estatística dos dados experimentais</u>	30
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	31
4.1	<u>Mudanças nas propriedades do solos em função da profundidade de remoção da camada arável e do subsolo</u>	31
4.2	<u>Erodibilidade dos solos em função do aumento da profundidade das camadas removidas por erosão simulada</u>	37
4.3	<u>Impacto da exposição e cultivo em camadas do solo removidas artificialmente</u>	41
4.3.1	<u>Milho</u>	41
4.3.1.1	<u>Emergência das plantas</u>	41
4.3.1.2	<u>Altura das plantas</u>	43
4.3.1.3	<u>Diâmetro do caule</u>	46
4.3.1.4	<u>Produção de matéria seca</u>	46
4.3.2	<u>Feijão</u>	48
4.3.2.1	<u>Emergência das plantas</u>	48
4.3.2.2	<u>Altura das plantas</u>	52
4.3.2.3	<u>Produção de matéria seca</u>	52
4.4	<u>Efeito da exposição e cultivo em camadas de solo removidas artificialmente na extração de nutrientes pelas culturas</u>	56
4.4.1	<u>Milho</u>	56
4.4.1.1	<u>Nitrogênio</u>	56
4.4.1.2	<u>Fósforo</u>	59
4.4.1.3	<u>Potássio</u>	59
4.4.1.4	<u>Cálcio e magnésio</u>	60

4.4.2	<u>Feijão</u>	61
4.4.2.1	<u>Nitrogênio</u>	61
4.4.2.2	<u>Fósforo</u>	64
4.4.2.3	<u>Potássio</u>	64
4.4.2.4	<u>Cálcio e magnésio</u>	65
4.5	<u>Rendimento relativo das culturas em camadas de solo removidas artificialmente</u>	66
4.5.1	<u>Milho</u>	66
4.5.2	<u>Feijão</u>	69
4.6	<u>Identificação de propriedades dos solos de maior correlação com o rendimento relativo das culturas</u>	71
5	<u>CONCLUSÕES</u>	74
6	<u>LITERATURA CITADA</u>	76
	<u>APÊNDICES</u>	88
	<u>APÊNDICE 1 - Descrição dos perfis PE e Ce</u>	89
	<u>APÊNDICE 2 - Resultado das análises físicas e químicas das camadas de solo removidas artificialmente</u>	93
	<u>APÊNDICE 3 - QUADROS 2, 3, 5, 8, 9, 11, 17 e 18: Parâmetros avaliados nas culturas do milho e feijão</u>	98

LISTA DE QUADROS

QUADRO	PÁGINA
01 Características físicas e químicas dos solos estudados em função do aumento de profundidade de remoção das camadas. .	32
04 Altura média de plantas de milho em função do tempo (T), diferentes profundidades de cultivo (P) em solo (S) Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).	44
06 Diâmetro médio do caule de plantas de milho aos 60 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).	47
07 Produção de matéria seca da cultura do milho aos 60 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).	47
10 Altura média de plantas de feijão em função do tempo (T), diferentes profundidades de cultivo (P) em solo (S) Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).	53
12 Produção de matéria seca da cultura do feijão aos 77 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho-Amarela eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).	55
13 Valores médios de quantidade extraída de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea da cultura do milho em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades dos solos estudados.	57

14	Análise de variância da quantidade extraída de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) da parte aérea da cultura do milho.	58
15	Valores médios de quantidade extraída de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea da cultura do feijão em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades dos solos estudados.	62
16	Análise de variância da quantidade extraída de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) da parte aérea da cultura do feijão.	63
19	Equações de regressão entre o rendimento relativo (R%) das culturas e os teores de matéria orgânica e nutrientes dos solos para o grupo de camadas à profundidade de 0 - 60 cm.	73

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
01	Solos do Estado do Ceará, com destaque para a distribuição espacial do Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e Cambissolo eutrófico em associações com outras unidades. . . .	24
02	Valor de erodibilidade do Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce) nas diferentes camadas analisadas.	40
03	Número de plantas de milho emergentes em função do tempo e da profundidade das camadas dos solos PE e Ce	42
04	Altura de plantas de milho aos 60 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).	45
05	Número de plantas de feijão emergentes em função do tempo e da profundidade das camadas de um Podzólico.	50
06	Número de plantas de feijão emergentes em função do tempo e da profundidade das camadas de um Cambissolo.	51
07	Altura de plantas de feijão aos 77 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).	54
08	Rendimento relativo do milho nas cinco camadas dos dois solos.	67
09	Rendimento relativo do feijão nas cinco camadas dos dois solos.	70

RESUMO

Pesquisas em conservação de solo têm tratado, predominantemente, sobre a quantificação das perdas de solo e água, assumindo que os rendimentos das culturas seriam inversamente proporcionais ao incremento da erosão. Consequentemente, as informações sobre o impacto da erosão na produtividade e erodibilidade relacionadas com a exposição de camadas de diferentes profundidades de solo para o cultivo são escassas. Entretanto, essas informações vêm tendo importância crescente à medida que aumenta a preocupação com a preservação do potencial produtivo dos solos, quanto a necessidade em restaurar a produtividade das terras degradadas e custos a ela associados.

Um experimento em casa de vegetação foi conduzido com o objetivo de detectar os efeitos da erosão simulada através da exposição de camadas da superfície do solo e do subsolo ao desenvolvimento de culturas de milho e feijão-de-corda, em profundidades variando de 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm em um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e em um Cambissolo eutrófico do Estado do Ceará, Brasil.

Propriedades químicas e físicas destas camadas, bem como suas erodibilidades foram determinadas e amostras de solo de 3 kg correspondentes a cada profundidade foram usadas em sacos plásticos onde o milho e feijão-de-corda foram cultivados durante 60 e 77 dias, respectivamente, com três repetições para cada camada em ambos os solos.

O aumento da profundidade do solo implicou em uma degradação progressiva na qualidade do solo, bem como condições desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas, nas camadas abaixo de 5 cm. Essas condições estavam relacionadas principalmente com a compactação devido

ao aumento no conteúdo de argila, ao decréscimo em matéria orgânica e às menores disponibilidades de N, P, K, Ca e Mg. Consequentemente, a emergência foi retardada, a altura das plantas, a produção de matéria seca e absorção de nutrientes decresceram gradualmente, desde valores máximos medidos nas plantas desenvolvidas na superfície do solo (0 - 5 cm), até valores mínimos destes parâmetros determinados nas camadas mais profundas até 40 - 60 cm.

A remoção de camadas superficiais através da erosão poderia agravar sua susceptibilidade às perdas de solo, posto que no Cambissolo a erodibilidade aumentou só levemente da superfície (0,037) para as camadas intermediárias (0,041), onde esse solo apresentou o maior valor deste fator. Nesta mesma direção, o Podzólico virtualmente dobrou o valor deste parâmetro nas camadas intermediárias e inferiores (0,040) quando comparada com a camada superficial (0,018 - 0,021).

Uma análise de regressão relacionando todas as propriedades das camadas do solo com a produção relativa das culturas, detectou a matéria orgânica como a propriedade que mostrou o maior coeficiente de correlação para os rendimentos relativos do milho ($r = 0,943$) e do feijão-de-corda ($r=0,887$) no Podzólico. No Cambissolo, o conteúdo de P ($r = 0,978$) e K ($r = 0,841$) foram os atributos mais correlacionados com os rendimentos relativos do feijão-de-corda e do milho, respectivamente.

Os dados obtidos através da erosão simulada de camadas uniformes do perfil do solo, embora de importância relativa devido a suas características artificiais de exposição de várias profundidades, indicaram claramente que a manutenção da espessura e integridade das camadas superficiais do solo está associada com alta produtividade do solo e menor vulnerabilidade destes para a erosão. Isto deve-se a melhores condições do solo e menores valores de erodibilidade nessas camadas superficiais.

Efetivamente, a erosão natural tende a reduzir a profundidade da camada superficial. Contudo, condições desfavoráveis do ambiente do subsolo relacionadas com a depleção de nutrientes, redução na matéria orgânica, maior densidade do solo e redução drástica na produtividade detectadas em ambos os solos, tendem a aumentar a magnitude das restrições relacionadas com o solo para a sustentabilidade de maiores níveis de produção e crescimento das plantas, mesmo com a combinação de atributos devido a mistura de camadas durante o cultivo.

SUMMARY

Soil conservation research have dealt, predominantly, with quantification of soil and water losses assuming that crop yields would be inversely proportional to the increase of erosion. Consequently, information on the erosion's impact on productivity and erodibility as related to exposure of layers of different soil depths to cultivation is scarce. However this information is increasingly important as the concern for preserving the productive potential of soil arise and the need for restoring productivity on degraded lands and its associated costs tend to increase.

A greenhouse experiment was conducted in order to detect the effects of simulated erosion through exposure of surface soil and subsoil layers to maize and cowpea growth at varying depths of 0 -5, 5 - 10, 10 - 20, 20 - 40 and 40 - 60 cm on an eutrophic Red Yellow Podzolic and on an eutrophic Cambisol of Ceará State, Brazil.

Chemical and physical properties of these layers as well as their erodibilities were determined and 3 kg soil samples correspondent to each depth were used in plastic bags where maize and cowpea were grown during 60 and 77 days, respectively, with three replications for each layer on both soils.

As soil depth increased, progressive reduction in soil quality and unfavorable conditions mainly related to compaction due to clay increase as well as decreases in organic matter and less availability of N, P, K, Ca and Mg, were detected in those layers below 5 cm. Consequently, emergence was delayed, and plant height, dry matter yield and nutrient absorption decreased gradually from maximum values measured on plants

grown on the surface layer (0 - 5 cm) to minimum values of these parameters determined on the deeper layers until 40 - 60 cm.

Removal of surface layers through erosion would exacerbate their susceptibility to soil losses since while the Cambisol erodibility increased only slightly from the surface (0,037) to intermediate layers (0,041) it attained the highest value of this factor. In this same direction the Podzolic virtually doubled the value of this parameter at intermediate and lower layers (0,040) as compared to topsoil layers (0,018 - 0,021).

Regression analyses relating all the layers' soil properties with crops relative yields, detected organic matter as the soil property which showed the highest correlation coefficient to maize ($r = 0,97$) and cowpea ($r = 0,89$) relative yields on the Podzolic. On the Cambisol, P content ($r = 0,98$) and K content ($r = 0,84$) were attributes more correlated to cowpea and maize relative yields, respectively.

The data obtained through simulated erosion of uniform layers of the soil profile although of relative importance due to their artificial characteristics of exposure of varying depths, clearly indicated that maintenance of topsoil thickness and integrity is associated with high soil productivity and less vulnerability of these soils to erosion due to better soil conditions and smaller erodibility values. Effectively natural erosion tends to decrease topsoil depth. However, unfavorable conditions of the subsoil environment related to nutrient depletion, organic matter decreases, higher soil density and drastic reduction in productivity detected on both soils, even with combination of attributes due to layers mixture during soil tillage, tend to increase the magnitude of soil-related constraints to sustainability of higher production levels and plant growth.

I INTRODUÇÃO

Entre as diversas maneiras pelas quais o solo agrícola pode perder a sua capacidade produtiva, a mais importante delas, segundo KOHNKE & BERTRAND (1959), é a erosão do solo, cuja principal forma nas condições de agricultura brasileira, é aquela provocada pela água das chuvas, denominada erosão hídrica.

A agricultura nordestina geralmente é feita utilizando-se áreas declivosas com plantio no sentido da pendente e sem nenhuma medida de controle à erosão. Os prejuízos que a erosão tem causado ao produtor rural vêm se manifestando através do esgotamento dos solos, queda da produtividade e degradação das características físicas, químicas e biológicas (DA SILVA et al., 1986).

Trabalhos como os de GUERRA et al. (1978), MONDARDO et al. (1978) e VIEIRA et al. (1978) mostram que as perdas por erosão se concentram principalmente no período inicial de cultivo. Para as condições do Nordeste, essas perdas podem ser bastante significativas em razão do sistema exploratório, com relevante aspecto predatório.

No Estado do Ceará, segundo SILVA et al. (1985), muitos dos seus solos já apresentam sinais evidentes de degradação e esgotamento de sua produtividade, em função das elevadas taxas de erosão a que estão submetidos. Esta situação é causa de preocupação, principalmente se considerarmos que a atividade agropastoril tem que atender à crescente demanda de alimentos motivada pelo extraordinário aumento da população.

A minimização dos efeitos negativos da erosão virá com a adoção de práticas conservacionistas adequadas. No entanto, a implementação de

programas de conservação requer informações de efeitos da erosão do solo na produtividade. Neste aspecto, pesquisas e evidências históricas mostram que a perda de solo pela erosão pode reduzir a produtividade potencial dos solos para muitas culturas agrícolas. Todavia, existem poucas informações a respeito da quantificação do impacto das progressivas perdas por erosão sobre a produtividade do solo e correspondente desenvolvimento das culturas.

Tendo em vista estas considerações, os objetivos deste trabalho foram:

- a) caracterizar as mudanças nas propriedades do solo e em sua erodibilidade em função da remoção gradual da camada arável e do subsolo de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e de um Cambissolo eutrófico;
- b) Avaliar a magnitude dos efeitos dessa simulação da erosão no desenvolvimento e rendimento de matéria seca do milho e do feijão cultivados em camadas de diferentes profundidades;
- c) Identificar as propriedades dos solos mais correlacionadas com o rendimento relativo do milho e feijão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erosão e produtividade

A perda progressiva do solo arável pela erosão constitui-se em uma ameaça à sustentabilidade da produção agrícola, por isso requer práticas conservacionistas adequadas para manter essa produção agrícola.

Os estudos referentes ao relacionamento entre a produtividade e a erosão do solo têm sido prioritariamente discutidos na literatura conservacionista internacional (DANIELS et al., 1987; NATIONAL SOIL EROSION - SOIL PRODUCTIVITY RESEARCH PLANNING COMMITTEE, 1981; RIJSBERMAN e WOLMAN, 1985). Todavia, a literatura nacional dispõe de um acervo reduzido sobre o assunto, destacando-se, no Ceará, a pesquisa pioneira de SILVA et al. (1985) e os estudos que lhe sucederam, entre os quais aqueles desenvolvidos por DEDECEK (1987), SPAROVEK et al. (1991) e BONO et al. (1993).

Produtividade do solo é sua capacidade de produzir, em seu ambiente natural, determinada planta ou seqüência de plantas sob um sistema de manejo específico (SOIL SURVEY STAFF, 1987).

Em estudos desenvolvidos em diferentes situações geográficas os cientistas concluíram que os solos tornam-se menos produtivos quando o rigor da erosão aumenta (MBAGWU et al., 1984; RHOTON, 1990; LANGDALE et al., 1979).

Dentre os métodos de pesquisa utilizados para avaliar a redução da produtividade das terras agrícolas devido à erosão do solo, enumeram-se os seguintes:

a) Remoção artificial de terra ou erosão simulada (SILVA et al., 1985; DEDECEK, 1987); b) Elaboração de modelos empíricos baseados em atributos do solo (GANTZER & McCARTY, 1984); c) Medidas feitas diretamente no campo, em áreas distintamente afetadas pela erosão (DANIELS et al., 1989); d) Ensaio simulados em casa de vegetação (MBAGWU, 1985; MALHI et al., 1994). O emprego deste último método segundo MBAGWU citado por SPAROVEK et al. (1991) tem como vantagem a possibilidade de comparação de muitos tratamentos num curto espaço de tempo, com grande controle sobre fontes de variação externas, e pouca utilização de recursos. Entretanto, a extrapolação de resultados para condições de campo é limitada

A espessura do solo é reconhecida como um importante parâmetro para determinar a qualidade e produtividade do solo. A espessura dos horizontes genéticos A e B é um importante critério na classificação e manejo de solos naturais, e representa o principal atributo em determinar o valor das terras. Em muitas regiões a espessura do solo pode influenciar a profundidade de enraizamento das plantas e a quantidade de água disponível do solo, afetando assim o desenvolvimento potencial das culturas (POWER et al., 1981).

Informações sobre estudos de remoção artificial têm sido usadas para desenvolver modelos simulados para avaliar o relacionamento da erosão do solo - produtividade (GOLLANY et al., 1992).

A remoção da camada superficial do solo artificialmente pode ser análoga a perda da camada superficial do solo pela erosão natural somente em alguns aspectos (NATIONAL SOIL EROSION - SOIL PRODUCTIVITY RESEARCH PLANNING COMMITTEE, 1981). Sobre este contexto, BLACK & SIDDOWAY (1971) citados por RIJSBERMAN & WOLMAN (1985) relatam que as reduções na produção de grãos são maiores sob erosão natural do que com remoção artificial de um

equivalente montante de solo. A razão disso seria a ação seletiva da erosão, que carrega as partículas mais finas ou mais leves e mais férteis do solo: argila e matéria orgânica. Contudo, GOLLANY et al. (1992) avaliaram que a perda abrupta de solo pela sua remoção artificial e a diferença na posição da paisagem, podem afetar imediatamente a produtividade mais que a perda de solo gradual devido à erosão ou à lenta taxa de desenvolvimento do solo.

DANIELS et al. (1987) enfatizam que em poucos estudos envolvendo a erosão do solo com a produtividade tem-se levado em consideração adequadamente os efeitos da variabilidade natural do solo em paisagens que sofreram erosão. Tal fato tem dificultado a avaliação dos efeitos da erosão do solo no rendimento das culturas, sendo necessário determinar previamente em que extensão a erosão afeta esse parâmetro (MALHI et al., 1994).

Conforme relatam TANAKA & AASE (1989), com a perda da camada superficial, mudanças sutis ocorrem nas propriedades do solo com redução no rendimento das culturas e criação de problemas de manejo. FRYE et al. (1982) advertem que os efeitos da erosão do solo na produção dependem grandemente da espessura original e qualidade da camada superficial, bem como da natureza do subsolo. POWER et al. (1975) destacam que este relacionamento é especialmente importante quando o material subjacente é um ambiente pobre para a atividade das raízes das plantas ou a espessura do perfil é limitada pela existência de camada de restrição ao desenvolvimento das raízes como o fragipã (RHOTON, 1990).

MALHI et al. (1994) examinaram o efeito da remoção artificial da camada superficial do solo no rendimento da cevada em um solo *Pachic Udic Haploboroll* e constataram que a produtividade diminuiu com o aumento da profundidade da camada superficial de solo removida, tendo atingido o nível mais baixo no tratamento com remoção da camada à

profundidade de 18 cm e sem a aplicação de fertilizante nitrogenado. O rendimento da biomassa no mesmo estudo foi de 14, 19 e 29% daquele obtido nos tratamentos com 0, 6 e 12 cm da camada superficial do solo retiradas, respectivamente.

FRYE et al. (1982) estudando o efeito da erosão moderada na produtividade de dois solos *Typic Paleudalfs*, observaram que os rendimentos de grãos de milho em solos erodidos comparados com não erodidos foram 12% e 21% menores. O maior percentual de redução no rendimento de grãos no último solo deveu-se a sua baixa fertilidade natural.

RIJSBERMAN & WOLMAN (1985) testando a aplicabilidade do Índice de produtividade (PI) como indicador do efeito potencial que a erosão tem sobre a produtividade de diferentes solos, averiguaram que o PI declinou progressivamente com a remoção artificial de maiores profundidades de solos de Ibadan e Egbeda na Nigéria.

CRAFT et al. (1992) utilizaram o Índice de Produção Potencial (PYI) para estimar os efeitos da erosão sobre a produtividade do solo, simulando a remoção de 15 e 30 cm de solo. Após a perda de 15 cm de solo, o PYI para todos os solos decresceu. O PYI decresceu ainda mais após a perda de 30 cm de solo.

LANGDALE et al. (1979) encontraram um relacionamento positivo entre as produções de grãos e de matéria seca do milho com a profundidade do solo (2 a 60 cm) acima do horizonte diagnóstico argílico (Bt1). As produções de milho observadas nos tratamentos severamente erodido, moderadamente erodido e solos aluviais tiveram como médias 2.226; 4.674 e 6.429 kg/ha, respectivamente em três estações de crescimento com amplas variações climáticas. Concluíram ainda que cada centímetro da camada superficial do solo erodido custou ao produtor 147 kg/ha/ano.

Nos trópicos, LAL (1976) relatou reduções na produção da cultura do milho de 23% após remoção de 2,5 cm de solo em um *Oxic Paleustalf* próximo a Ibadan, Nigéria.

REHM (1978) também verificou que em Cameroon, a remoção de 2,5 cm da camada superficial causou 50% de queda na produção da cultura do milho, enquanto quando 7,5 cm foram removidos, a exposição do subsolo foi completamente improdutivo.

SILVA et al. (1985), avaliando os prejuízos decorrentes da erosão simulada na produtividade de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, localizado na Região da Ibiapaba, Estado do Ceará, verificaram redução de 27,7% na produção de milho e aumento de 38% nos custos de produção dessa cultura implantada no grau de erosão severo, em relação ao grau de erosão ligeiro. Foram calculadas perdas de nutrientes equivalentes à aplicação de 517,9 kg/ha de uma mistura contendo sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio em função da remoção de apenas 0,3 cm da camada arável em outra parcela dessa classe de solo submetida a chuvas simuladas.

2.2 Erosão e modificações nas propriedades do solo

O decréscimo de rendimento em solos erodidos também tem sido explicado pela redução no teor de matéria orgânica, diminuição na disponibilidade de umidade e nutrientes para as plantas, degradação da estrutura do solo, aumento da densidade e remoção não uniforme do solo no campo (MALHI et al. (1994); BENNETT (1939)).

TANAKA & AASE (1989) evidenciaram que a remoção da camada superficial de um solo franco reduziu a concentração de carbono orgânico, o N ($\text{NO}_3 - \text{N}$) e o fósforo (P) extraível, os quais por sua vez reduziram as

produções de grãos de trigo de primavera de 7, 39 e 44% respectivamente para remoções de 6, 12 e 18 cm de solo nos tratamentos sem N ou P quando comparados com o tratamento com 0,00 cm de remoção de solo também sem N ou P.

Um declínio exponencial na produção da cultura do milho e feijão com erosão do solo acumulativa foi atribuído à perda de conteúdo de matéria orgânica e severa redução na capacidade da retenção de água disponível (LAL, 1981; LAL, 1982). Resultados similares foram obtidos para remoção artificial de solos no Hawaii (YOST et al., 1985).

MOKMA & SIETZ (1992) pesquisando um solo *Glossoboric Haphudalf* encontraram que a espessura do solum diminuiu de 135 cm para 56 cm com o aumento do grau de erosão. O conteúdo de argila, a densidade do solo, o pH e a capacidade de troca de cátions do horizonte Ap aumentaram, enquanto o carbono orgânico diminuiu com o aumento da erosão.

A matéria orgânica atua diretamente na retenção de umidade pelo solo, conforme confirmado por GROHMANN (1960) e indiretamente pela alteração do espaço poroso, segundo estudos de PETERSEN et al. (1968).

Segundo RESENDE (1985) a matéria orgânica tem um grande efeito na estruturação dos solos, ajudando sobremaneira a evitar a desagregação e o deslocamento de partículas, evitando assim uma erosão pronunciada e diminuindo muito a possibilidade de rearranjo de partículas, principalmente de silte e areia fina, nas microdepressões. Este rearranjo forma o encrostamento que favorece sobremaneira a enxurrada.

Para BAUER & BLACK (1994) a perda de produtividade associada com a depleção da matéria orgânica do solo é primeiramente uma consequência da concomitante perda de fertilidade.

FRYE et al. (1982) encontraram altos conteúdos de argila, elevadas densidades, baixo conteúdo de matéria orgânica e baixa condição de fertilidade em horizontes Ap de dois solos americanos moderadamente erodidos em relação a solos não erodidos.

RHOTON & TYLER (1990) pesquisando solos Grenada constataram que várias mudanças significativas ocorreram quando a profundidade do fragipã decresceu. Verificaram então decréscimo de matéria orgânica, silte, extração de Mn, ao passo que aumentos foram observados em Na trocável, extração de Fe, percentagem de areia e argila. Os autores ainda concluíram que quando o grau de erosão aumenta nos solos com fragipã vários problemas de manejo, relacionados com modificações em propriedades químicas e físicas de camadas aradas, podem ser esperados. Estes incluem maior susceptibilidade à erosão, redução da emergência de plântulas e vigor das plantas e menor tolerância à seca. OLSON (1977) recomenda que, se disponível, a adição de matéria orgânica, como esterco ou resíduos de cultura, provavelmente auxiliaria na redução de problemas com condições físicas do solo desfavoráveis, usualmente encontradas em subsolos expostos.

Alguns têm sugerido que a perda de produtividade acompanhada pela erosão do solo é principalmente função do declínio na capacidade de água disponível do solo (FRYE et al. 1982). Com relação a este aspecto, ALMEIDA et al. (1985) discorrem que a água é um dos fatores fundamentais da produtividade vegetal em razão das funções físicas, químicas e metabólicas que exerce no sistema solo-planta-atmosfera. Assim, a restrição da disponibilidade de água do solo pode influenciar, de maneira decisiva, o desenvolvimento das plantas, por acarretar não somente aumentos na temperatura da folha e na resistência ao transporte de nutrientes como, também, diminuição na atividade fotossintética.

✧ GOLLANY et al. (1992) constataram menor conteúdo de água disponível nas parcelas com 30 e 45 cm de solo removidos artificialmente e atribuíram o fato ao efeito aditivo do menor conteúdo de matéria orgânica, degradação da estrutura do solo da camada superficial e redução da porosidade total. BAUER & BLACK (1992) relataram que o declínio na matéria orgânica do solo não foi o fator mais importante correlacionado à queda de produtividade. Afirmam que provavelmente a grande causa da perda de produtividade pela erosão é o concomitante declínio em nutrientes e atividade biológica.

✧ Prosseguindo com as modificações observadas nas propriedades do solo como efeito da erosão, GOLLANY et al. (1991) detectaram que a remoção da camada superficial do solo reduziu a estabilidade de agregados em áreas erodidas e com superfície removida artificialmente. Isto foi primariamente relacionado com mudanças nos conteúdos de carbono orgânico e de argila do horizonte Ap. PETERSEN, (1964) citado por GOLLANY et al. (1992) referiram-se ao significativo decréscimo em matéria orgânica como uma possível causa para manutenção da densidade elevada em parcelas com remoção artificial de camadas do solo.

2.3 Erosão e nutrientes do solo

Outro grande problema ocasionado pela erosão é a perda de nutrientes. (RESCK et al., 1980). Partículas de solos erodidos carregam nutrientes a elas ligados dos campos para córregos e lagos (NATIONAL SOIL EROSION - SOIL PRODUCTIVITY RESEARCH PLANNING COMMITTEE, 1981). Sedimentos podem ser considerados os maiores poluentes das águas superficiais, bem como causadores de assoreamento em canais de drenagem e barragens (DEDECEK et al., 1986). Os

sedimentos em suspensão, transportados pelas águas de enxurradas, córregos e rios, não apenas provocam poluição química (pois carregam consigo defensivos agrícolas, herbicidas, fertilizantes e corretivos) como, também, afetam o desenvolvimento da vida aquática, em virtude da turvação das águas e conseqüente impedimento à penetração de luz (FREIRE, 1984).

Pesquisas sobre a erosão do solo, realizadas por MIDDLETON et al. (1934), mostraram que, nos casos onde as perdas por erosão eram pequenas, o material erodido continha uma percentagem mais elevada de partículas minerais finas e de matéria orgânica do que o solo original. DULEY (1926), MILLER (1926), MILLER & KRUSEKOPH (1932), NEAL (1934) e SCARSETH & CHANDLER (1938) mostraram que as perdas de elementos nutritivos, pela erosão, são maiores que as quantidades removidas pelas culturas. Estes últimos autores indicam ainda que, em experiência de adubação com superfosfato, num período de 26 anos, 32 por cento do fosfato foram utilizados pelas plantas, 8 por cento foram retidos como resíduo, e 60 por cento foram perdidos pela erosão do solo.

DEDECEK (1978) concluiu que as perdas de elementos nutritivos de um Latossolo Vermelho Escuro com diversos tipos de uso e manejo de culturas anuais seguem a mesma ordem da quantidade existente no solo, sendo as maiores perdas daqueles que estavam em maiores quantidades no solo.

As perdas de elementos nutritivos pela erosão para a cultura do algodoeiro submetida a práticas conservacionistas diversas foram estudadas por GROHMANN et al. (1956). Concluíram então, que as perdas mais elevadas de elementos necessários às plantas se processaram através do material sólido arrastado pela erosão e não pela enxurrada.

Em solos irrigados a remoção da superfície do solo em 10, 20, 30 e 41 cm de solo proporcionou decréscimo nas quantidades de N em 40,6, 47,5, 58,7 e 64,7% respectivamente, segundo ECK (1968). Correspondentes decréscimos sob limitada umidade foram de 20,0, 36,3, 53,9 e 62,4%. O fósforo, um dos nutrientes menos móveis no solo, é mais susceptível às perdas pela erosão de argila e matéria orgânica (RESCK et al., 1980).

2.4 Remoção artificial de camadas do solo e sua relação com o desenvolvimento e rendimento das culturas

MBAGWU et al. (1984) observaram que os efeitos adversos na remoção da camada superficial geralmente reduziram a altura e vigor da planta nas culturas de milho e feijão. A maior redução na altura em solos Ultisol e Alfisol foi causada pela remoção dos primeiros 5 cm da camada superficial do solo.

SPAROVEK et al. (1991) em relação a emergência das plantas de milho, detectou desuniformidade em dois sistemas de recuperação da produtividade (T1 - calagem + adubação NPKZn + esterco e T2. Calagem + adubação NPKZn), comparando-os ao tratamento testemunha (T3 - sem calagem, sem adubação e sem esterco). A emergência foi gradativamente menos vigorosa com o aumento da remoção artificial da camada superficial do solo de 0 a 15 cm. Resultados semelhantes foram obtidos em relação à altura das plantas.

Objetivando determinar os efeitos da profundidade da camada superficial nas propriedades do solo e contínua produção de milho (Zea mays L.), GOLLANY et al. (1992) constataram que a remoção da camada superficial do solo atrasou a emergência das plantas e reduziu a população de plantas. Com o decréscimo da camada superficial houve também

redução na altura da planta e área foliar. Reduções na altura da planta devido à remoção da camada superficial do solo também foram relatadas por CARTER et al., 1985.

A diferença de rendimento entre solos erodidos e não erodidos, pode ser mascarada pela utilização de modernas tecnologias, tais como cultivares melhoradas, melhores herbicidas e utilização de quantidades crescentes de fertilizantes (KRAUSS & ALLMARAS, 1982; SWANSON e HARSHBARGER, 1964; LANGDALE e SHRADER, 1982; NATIONAL SOIL EROSION - SOIL PRODUCTIVITY RESEARCH PLANNING COMMITTEE, 1981; MALHI et al., 1994).

As dificuldades encontradas em restaurar a produtividade desses subsolos expostos depende do clima, tipo de solo, da cultura e das práticas de manejo (TANAKA & AASE, 1989; OLSON, 1977).

Remoções de 30 a 45 cm da camada superficial do solo determinadas por OLSON (1977), reduziram significativamente as produções de milho, embora altas doses de nitrogênio e zinco compensaram um pouco as perdas na produção.

ENGELSTAD & SHRADER (1961) concluíram que o fertilizante nitrogenado pode substituir a superfície do solo na produção de milho em solos permeáveis. O grau dessa substituição parece depender dos fatores climáticos favoráveis. Na ausência de fertilizante nitrogenado a produção de milho é fortemente dependente da espessura da superfície do solo.

BATCHELDER & JONES (1972) removeram artificialmente a camada superficial de um solo *Typic Hapludult* em Virgínia, expondo um subsolo com mais de 50% de conteúdo de argila. Sem irrigação, rendimentos de grãos de milho foram drasticamente reduzidos com o tratamento. Uma vez que a baixa fertilidade foi corrigida, o uso de irrigação suplementar restaurou a capacidade produtiva quase igualando à

do solo original. Eles concluíram que a água do solo foi o fator de maior limitação ao rendimento depois que a fertilidade do solo foi restaurada.

MBAGWU et al. (1984) investigando efeitos da remoção da camada superficial em rendimentos de grãos de milho (*Zea mays* L.) e feijão de corda (*Vigna unguiculata* L.) e suas respostas às doses de N e P, concluíram que o declínio na produtividade foi mais severo no Ultisol que no Alfisol e que nenhuma combinação de fertilizantes usada nem a aplicação de calcário dolomítico foram capazes de compensar completamente a perda da camada superficial no solo Ultisol. Os autores observaram ainda que o efeito da remoção da camada superficial foi menos drástico no feijão de corda do que no rendimento do milho. A melhor performance do feijão de corda foi relativamente explicada pelo fato de que as nodulações não foram significativamente afetadas pela remoção do solo.

Estudos conduzidos em solo Gardena por CARLSON et al. (1961) constataram que onde a superfície do solo foi removida, o elemento em maior deficiência foi o N, seguido pelo P e pelo Zn em cultura de milho. Verificou então, que aplicações de N e P aumentaram fracamente as produções na área não perturbada. Foi necessário aplicar N, P, Zn e esterco para conseguir produções no subsolo equivalentes àquelas obtidas na superfície do solo.

MASSE & WAGONNER (1985) compararam experiências com fertilizantes em 32 fazendas em que metade estavam em locais erodidos e metade em locais não erodidos muito próximos no sudoeste de Idaho. Os locais não erodidos responderam mais ao fertilizante nitrogenado, parcialmente porque eles continham mais água armazenada disponível. Mesmo com água armazenada equivalente o aumento do rendimento para N foi maior em locais não erodidos.

+ ECK (1987) relatou que perdas de rendimento médio de 23 anos de parcelas com camadas removidas artificialmente foram só parcialmente restauradas por fertilizantes nitrogenados e fosfatados em Bushland, Tx.

Parcelas com 20 cm removidas artificialmente e fertilizadas com o dobro das doses de recomendação produziram, ainda assim, menos que as parcelas controle em Manitoba, Canadá (IVES et al., 1987). DEDECEK (1987), trabalhando em Latossolo Vermelho-Escuro álico textura argilosa fase cerrado (*Haplustox*), observou que à medida que aumenta a espessura da camada arável perdida diminui o efeito da adubação na produtividade do solo, tendendo a uma estabilização do efeito à medida que se aproxima dos 20 cm de corte do solo, porque esta é a profundidade a que normalmente são incorporados os adubos e corretivos.

TANAKA & AASE (1989) concluem que em muitos estágios o fracasso em restaurar os rendimentos não é devido a falta de aplicação de fertilizantes comerciais contendo N e P, mas às condições físicas e microbiológicas do solo associadas com a camada superficial do solo.

2.5 Erodibilidade e propriedades do solo

A erosão acelerada ou simplesmente erosão, resultante da interferência do homem no processo de modificação da crosta terrestre, é sem dúvida, a principal causa do declínio da produtividade dos solos agricultáveis. Todavia, sob as mesmas condições, diferentes tipos de solo podem comportar-se de modo diverso em relação à erosão hídrica. As propriedades intrínsecas de cada solo determinam graus distintos de susceptibilidade à erosão.

Segundo SUAREZ DE CASTRO (1980), a obtenção de um índice que possibilite classificar os solos em grandes grupos similares de

resistência natural à erosão, constitui um dos fatores para auxiliar o planejamento conservacionista e conseqüentemente manter a produtividade em níveis satisfatórios. Neste contexto, a determinação do fator erodibilidade dos solos (K) da Equação Universal de Perdas de solo, juntamente com o fator R (erosividade) é uma informação importante na previsão das perdas por erosão (DEDECEK, 1974).

HUDSON (1981), definiu a erodibilidade (K) do solo como sua susceptibilidade à erosão. Logo, um solo com erodibilidade alta sofreria maior erosão que outro com baixa erodibilidade sob as mesmas condições ambientais. BERTONI et al. (1975) destacam que o significado de erodibilidade do solo é diferente de erosão do solo. A intensidade de erosão de uma área qualquer pode ser influenciada mais pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo, enquanto a erodibilidade é um fator intrínseco de cada solo. Em outras palavras a erodibilidade do solo é a medida do efeito total de uma combinação particular das propriedades do solo. As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água podem ser agrupadas em duas classes:

- as que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; e
- as que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escorrimento.

A textura, representada pela proporção dos teores de areia, silte e argila, influencia sobremaneira a erodibilidade do solo, sendo que há uma tendência de a erodibilidade aumentar quando os teores de areia fina e silte são elevados. Por outro lado, teores elevados de argila e matéria orgânica geralmente, mas não necessariamente, diminuem a erodibilidade (WISCHMEIER et al., 1971).

⌘ A um aumento no teor de silte é atribuído também maior facilidade de encrostamento dos solos, conforme considerado por LEMOS & LUTZ (1957). Tal alteração à superfície do solo constitui-se em passo importante dentro do contexto da erodibilidade, por diminuir a infiltração de água do solo (LIMA, 1987).

⌘ A estrutura também tem um papel fundamental na erodibilidade do solo, influenciando a velocidade de infiltração, a resistência à dispersão, deslocamento por salpico, abrasão, forças de transporte e escoamento superficial (SUAREZ de CASTRO, 1980).

⌘ AYRES (1960) afirma que o tipo e a classe de estrutura do solo são importantes na predição de sua erodibilidade, sendo que estruturas maciça, laminar ou em blocos são mais favoráveis à erosão que a do tipo granular. Já RESENDE (1985) afirma que na estrutura granular, por esta apresentar o mínimo de área exposta por unidade de volume, devido aos grânulos se aproximarem do formato de esfera, deve haver o mínimo de coerência entre os mesmos. Se estes forem pequenos, podem ser facilmente transportáveis pela água.

⌘ A matéria orgânica tem efeito na estruturação dos solos e formação dos agregados. Há normalmente, um teor substancialmente maior em matéria orgânica nos primeiros centímetros do solo, em relação aos centímetros seguintes. A matéria orgânica da superfície do solo ajuda sobremaneira a evitar a desagregação e o deslocamento de partículas, evitando assim uma erosão pronunciada (RESENDE, 1985). WISCHMEIER et al. (1971) relatam que a erodibilidade do solo tende a diminuir apreciavelmente com o aumento do teor de matéria orgânica de 0 a 4%.

TROEH et al. citados por LIMA et al. (1992) destacam ainda a influência da mineralogia da fração argila sobre a agregação, afetando a erodibilidade. Os solos tropicais, os quais são geralmente dominados

mineralogicamente por argilas do tipo 1:1, tendem a ser melhor agregados do que os solos com elevado teor de argilas do tipo 2:1.

Os mesmos autores ainda ressaltam a importância do complexo de cátions trocáveis do solo na agregação das partículas, onde o H^+ e os cátions di ou trivalentes favorecem a floculação.

O valor quantitativo do fator erodibilidade do solo (K) pode ser avaliado através de dois métodos: direto e indireto. O primeiro efetuado experimentalmente em parcelas padrão sob chuvas naturais ou simuladas é oneroso e requer muito tempo para aquisição de um valor representativo. WISCHMEIER et al. (1971) propuseram um método em que a erodibilidade é estimada indiretamente, através de uma equação, onde os elementos foram combinados em um nomograma. Todavia, alguns autores têm demonstrado que sua validade é limitada em condições de solos tropicais (MARTINS FILHO & SILVA, 1985; LAGO & MARGOLIS, 1985).

2.6 Erodibilidade de Podzólicos e Cambissolos

LAGO & MARGOLIS (1985), comparando valores de erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, em Serra Talhada, alto sertão de Pernambuco, encontraram 0,156; 0,0154 e 0,022 (Sistema Internacional - SI) respectivamente pelo método nomográfico, da chuva natural e simulador de chuvas. Concluíram então que o valor médio do método nomográfico superestima em 10 vezes, aproximadamente o seu valor real. Esse fato corrobora as ressalvas feitas por MANNERING (1975) sobre a validade desse método para as condições brasileiras, pois o seu desenvolvimento foi realizado em solos que possuíam, na sua maioria,

teores de silte acima de 50%, característica esta incomum aos solos brasileiros.

OLIVEIRA & BAHIA (1984), determinaram o fator de erodibilidade (K) através de nomograma adaptado ao Sistema Internacional de Unidades de seis solos ocorrentes no município de Lavras - MG. Considerando o horizonte superficial dos solos estudados, os Latossolos apresentaram-se como os menos susceptíveis à erosão, com valores do fator K entre 0,002 e 0,004. O Cambissolo destacou-se como o mais susceptível à erosão, com um valor de erodibilidade igual a 0,041. Numa classificação intermediária, situaram-se o Podzólico Vermelho-Amarelo e a Terra Roxa Estruturada similar, com valores de 0,016 e 0,018, respectivamente. Com referência ao elevado valor de erodibilidade do horizonte superficial do Cambissolo, os referidos autores evidenciaram que altos teores de silte + areia muito fina (54,34%), baixa percentagem de argila e sua lenta permeabilidade são os fatores que mais contribuem para que o valor de K seja superior ao dos demais solos. Com relação às médias de erodibilidade dos perfis, houve diferenças estatísticas entre horizontes genéticos, mostrando que a quantidade de partículas passível de ser desagregada e transportada pelo deflúvio cresce com a profundidade, caso ocorra remoção dos horizontes subjacentes.

LEITE et al. (1982) estudando solos do município de São Mamede, PB obtiveram para o Podzólico um grau de erodibilidade correspondente a 0,26 pelo método nomográfico de WISCHMEIER (1971). Segundo os autores, o valor alto da erodibilidade reside, apesar de sua alta infiltrabilidade, na baixa percentagem de matéria orgânica, um valor relativamente alto de silte mais areia muito fina e uma estabilidade de agregados em água de apenas 11%. Neste aspecto, ANGULO et al. (1984) compararam propriedades de dez solos brasileiros com valores de suas erodibilidades estimadas por métodos diretos e constataram que a

agregação do solo, determinada como estabilidade dos agregados em água e resistência ao impacto da gota, foi a característica que melhor se correlacionou com a erodibilidade do solo.

Utilizando o método do nomograma para determinar os valores de K de solos do Estado da Paraíba, DA SILVA et al. (1981) obtiveram para os Podzólicos valores entre 0,003 e 0,023 e para os Cambissolos 0,008 a 0,014 no Sistema Internacional.

MARGOLIS & CAMPOS FILHO (1981) encontraram o valor de K igual a 0,010 (SI) para um Podzólico Vermelho-Amarelo de Pernambuco submetido a chuvas naturais.

CARVALHO et al. (1989) estimaram o fator K igual a 0,023 (SI) para um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, textura argilosa, muito argilosa, situado em Mococa (SP), com base em correlação entre o Índice EI_{30} e perdas de solo.

No Ceará, OLIVEIRA & SILVA (1992) obtiveram para um Podzólico Vermelho Amarelo sob chuvas simuladas valor de K igual a 0,018 (SI).

SILVA (1994) em seu trabalho sobre a erodibilidade dos solos do Ceará utilizou para o cálculo do fator K do horizonte A dos perfis de 97 unidades de mapeamento do Estado o método de ROMKENS et al. (1987), onde constatou forte evidência de ser um método válido para prever a erodibilidade, pois seus resultados não mostraram diferenças estatísticas significativas daqueles obtidos sob condições de chuvas naturais. Para as classes de solo em estudo e utilizando a metodologia anteriormente citada, o autor obteve os seguintes valores médios de K para Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico 0,026 (SI) e para o Cambissolo 0,042 (SI). Os resultados então obtidos permitiram o enquadramento dos solos do Ceará em agrupamentos interpretativos.

Segundo a classificação de FOSTER et al. (1981), o Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico estaria na faixa de baixa a moderada erodibilidade, enquanto o Cambissolo atingiu valores classificados como de alta erodibilidade, evidenciando baixa resistência à erosão.

3.1 Localização da área experimental

O experimento, base de dados pedológicas, foi desenvolvido em uma de vegetação do Departamento de Fisiologia Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará - UFC, em Fortaleza no período de 14/09 a 30/11/84.

3.2 Área

Para a condução deste trabalho foram escolhidas duas unidades representativas de solos do Ceará. Uma das unidades corresponde ao Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, eutrófico, abrupto, A moderado, textura média e média (PE) de acordo com critérios adotados no Levantamento Exploratório e Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará (BRASIL, 1973) e como "Oxisol Duplex A", segundo SOIL SURVEY STAFF (1975).

A outra unidade referida é o Cambissolo Eutrófico Tb profundo A moderado textura média e argilosa caracterizada fase catínica hiperextensa relevo plano, suberção estéril (Cv), (Projeto Jaguaribe Aguaré, 1987) segundo a SOIL SURVEY STAFF (1975), este solo é classificado como "Typic Camborthia".

O solo Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, no termo de área, é a classe de maior expansão geográfica no Ceará, ocupando 11.715,57 km², correspondendo a 24,5% da área do Estado, estando distribuído por todas as zonas fisiográficas, sendo os maiores tipos

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento, base deste trabalho, foi desenvolvido em casa de vegetação do Departamento de Ciências do Solo, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará - UFC, em Fortaleza no período de 14/09 a 30/11/94.

3.2 Solos

Para a consecução deste trabalho foram escolhidas duas unidades representativas de solos do Ceará. Uma das unidades corresponde ao Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente eutrófico, abrupto, A moderado, textura arenosa / média (PE) de acordo com critérios adotados no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará (BRASIL, 1973) e como "*Oxic Haplustalf*", segundo SOIL SURVEY STAFF (1975).

A outra unidade referida é o Cambissolo Eutrófico Tb profundo A moderado textura média a argilosa cascalhenta fase caatinga hiperxerófila relevo plano, substrato calcário (Ce), (Projeto Jaguaribe Apodi, 1987). Segundo a SOIL SURVEY STAFF (1975), este solo é classificado como "*Typic Camborthid*".

O solo Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente eutrófico, em termos de área é a classe de maior expansão geográfica no Ceará, ocupando 32.728,53 km², correspondendo a 21,72% da área do Estado, estando distribuído por todas as zonas fisiográficas, sob os diversos tipos

de clima, material originário, relevo e vegetação. Esta classe compreende solos com B textural, não hidromórficos, com argila de atividade baixa, média a alta saturação de bases (V%), baixa saturação com alumínio, menor acidez, encerrando quantidade significativa de minerais primários facilmente decomponíveis, sendo por conseguinte, solos de média a alta fertilidade natural. Apresentam perfis bem diferenciados, comumente profundos, ocorrendo em áreas de relevo plano a montanhoso, sendo de modo geral solos com elevado potencial agrícola (BRASIL, 1973).

O Cambissolo eutrófico ocupa uma área de 1.530 km², correspondendo aproximadamente a 1,01% da área do Estado, estando unicamente distribuído pela zona fisiográfica do Sertão do Baixo Jaguaribe no topo plano da Cuesta do Apodi. Compreendem solos minerais com horizonte B incipiente ou câmbico, com seqüência de horizontes A, (B) e C, com profundidade de A + (B) compreendida entre 50 e 135 cm. São porosos e bem permeáveis, bem a moderadamente drenados, praticamente neutros a moderadamente alcalinos, com alumínio trocável (Al⁺⁺⁺) ausente, alta soma de bases trocáveis (S), alta saturação de bases. Embora apresentem boas condições físicas e químicas e ocorram em áreas de relevo plano, estes solos são pouco cultivados em virtude das condições climáticas vigentes, com regime de chuvas concentradas em um curto período e com longo período seco (BRASIL, 1973). Atualmente, essa limitação vem sendo superada através de irrigação por aspersão em um área de cerca de 1750 ha.

A descrição dos perfis e resultados das análises físicas e químicas encontram-se, nos APÊNDICES 1 e 2. A FIGURA 1 mostra os solos do Estado do Ceará, destacando a distribuição espacial do Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente eutrófico e Cambissolo eutrófico em associações com outras unidades. As unidades cartográficas caracterizadas por PE e Ce identificam a predominância destes solos nas associações. Nas demais associações (PV, NC, Re, BV, TRe, Red, PL) o Podzólico ocorre como componente de menor expressão geográfica.

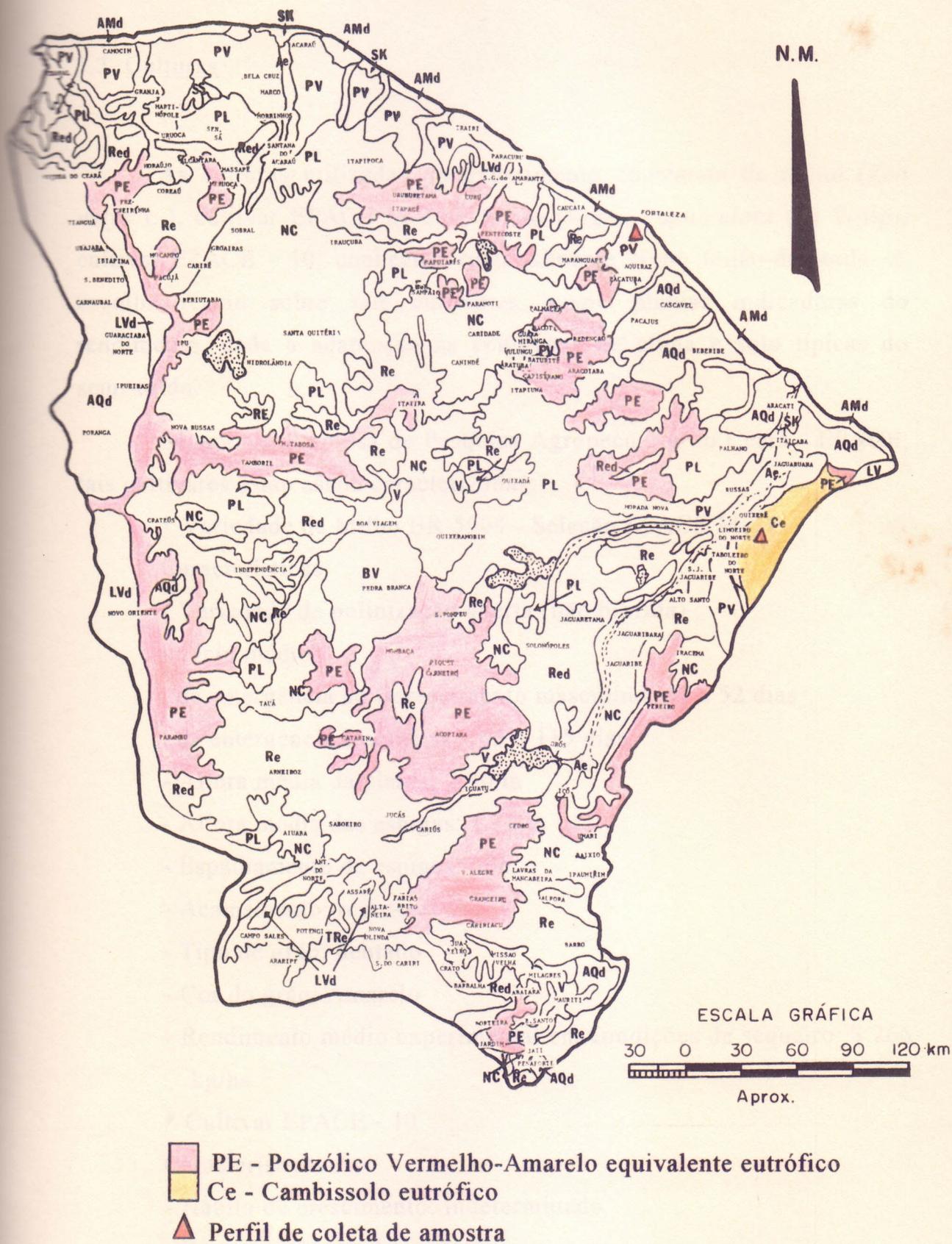


FIGURA 1 Solos do Estado do Ceará com destaque para a distribuição espacial do Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e Cambissolo eutrófico em associações com outras unidades.

3.3 Culturas

As culturas utilizadas no experimento constaram de milho (*Zea mays* L.), cultivar EPACE M-21 e feijão (*Vigna unguiculata* (L) Wolp), cultivar EPACE - 10, conhecida regionalmente como feijão-de-corda. A escolha recaiu sobre tais cultivares, como plantas indicadoras do rendimento, dada a adaptação às condições de clima e solo típicas do semi-árido.

Segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará - EPACE, tais cultivares estão assim caracterizadas:

* Variedade de Milho BR 5504 - Seleção EPACE M-21.

Características:

- Variedade de polinização aberta (não híbrida)
- Ciclo médio:
 - . da emergência ao florescimento masculino, 47 a 52 dias
 - . da emergência à colheita, 105 a 115 dias
- Altura média da planta: 2,30 m
- Altura média das espigas: 1,30 m
- Espalhamento de espigas: bom
- Acamamento: resistente
- Tipo de grão: dentado
- Cor do grão: Amarelo
- Rendimento médio experimental em condições de sequeiro: 3.266 kg/ha.

* Cultivar EPACE - 10

Características:

- Hábito de crescimento: indeterminado
- Porte: semi-ramador
- Ciclo: 65 a 75 dias
- Cor da flor: violeta
- Comprimento da vagem: 21 cm

- Nº de grãos por vagem: 15
- Cor da semente: Marrom
- Peso de cem sementes: 20 gramas
- Produtividade (sem adubação): 1.000 kg/ha.

3.4 Delineamento experimental e condução do experimento

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5 (2 solos e 5 profundidades), com 3 repetições, totalizando 20 tratamentos (10 do milho e 10 do feijão), resultantes da combinação dos fatores e dos níveis. O modelo fatorial cruzado 2 x 5 x 4 foi empregado para análise dos parâmetros altura e emergência das plantas, em função das determinações realizadas em quatro épocas distintas.

As amostras de todas as camadas dos dois solos foram coletadas em trincheiras abertas em Fortaleza, no Campus do Pici da UFC, para o Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e em Limoeiro do Norte para o Cambissolo eutrófico. Cinco amostras foram coletadas em cada solo correspondendo às profundidades de 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, visando-se simular cinco níveis de erosão através da exposição de camadas gradativamente removidas artificialmente. Em seguida, as amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas por peneira de 2,0 mm de diâmetro, pesadas e acondicionadas em sacos de polietileno pretos com capacidade para 3,0 kg, nos quais foram desenvolvidas as duas culturas em casa de vegetação durante 60 e 77 dias, para o milho e feijão, respectivamente. Cada unidade experimental constituiu-se de um saco de polietileno.

O plantio foi executado em 14/09/94 após 24 horas de saturação dos sacos com água destilada. Não houve correção do solo nem aplicação

de fertilizantes. Utilizou-se 4 sementes por saco de milho e 4 sementes por saco de feijão, previamente selecionadas pelo aspecto e tamanho.

As sementes de milho, cultivar EPACE M-21, eram provenientes da safra de 1994, apresentando no teste de germinação 93% de plântulas normais. De modo semelhante, as sementes de feijão, cultivar EPACE -10, originárias da safra de 1994, evidenciaram no teste de germinação 88% de plântulas normais.

A partir de 17/09/94 houve início a emergência das plantas das duas culturas, tendo-se iniciado o desbaste 11 dias após a semeadura, deixando-se uma planta por saco. O critério para o desbaste foi a eliminação das plantas de menor desenvolvimento.

Durante todo o ciclo das culturas, a irrigação foi efetuada com água destilada. O controle da quantidade a aplicar iniciou-se oito dias após a emergência das plantas, baseando-se no método da Evapotranspiração de Referência - E_{To} de PENMAN-MONTEITH. Para obter-se maior eficiência no controle da irrigação, instalou-se também um tensiômetro, adotando-se como potencial matricial crítico (Ψ_m) para as culturas de milho e feijão, 0,45 atm, que corresponde a uma altura da coluna de mercúrio (Hg) de 37 cm. Cada recipiente recebeu 4.123,2 e 5.077,9 ml de água durante 60 e 77 dias, para o milho e feijão respectivamente.

3.5 Parâmetros Avaliados e Métodos Analíticos:

3.5.1 No solo

Análises físicas e químicas

As amostras de solo coletadas nas diferentes profundidades antes do cultivo foram caracterizadas física e quimicamente (APÊNDICE 1). Para tanto, foram efetuadas as seguintes determinações: Análise granulométrica pelo método

da pipeta; umidade a 1/3 e 15 atm utilizando-se extratores de placa porosa; densidade do solo pelo método da proveta; densidade da partícula pelo método do balão volumétrico; porosidade total calculada pela fórmula ($Pt = 1 - \frac{ds}{dp}$); pH determinado em água na relação 1:2,5 potenciométricamente; teor de carbono orgânico determinado volumetricamente pelo bicromato de potássio e titulado com sulfato ferroso amoniacal; a matéria orgânica foi obtida multiplicando-se o resultado do carbono orgânico pelo fator 1,724, admitindo-se que na composição média do húmus o carbono participa com 58%; o nitrogênio total foi definido pelo método KJELDAHL por destilação a vapor; o fósforo assimilável foi quantificado por colorimetria pelo ácido ascórbico, utilizando como solução extratora o HCl 0,05N e o H₂SO₄ 0,025N; os cátions trocáveis foram extraídos pelo método do acetato de amônio a pH 7,0, sendo o sódio (Na⁺) e o potássio (K⁺) determinados pelo fotômetro de chama e o cálcio (Ca⁺⁺) + magnésio (Mg⁺⁺) pelo método complexométrico e titulado com EDTA, estimando-se o magnésio por diferença; o teor de alumínio (Al⁺⁺⁺) e acidez extraível (H⁺ + Al⁺⁺⁺) foram determinados pelo método volumétrico e titulação pelo hidróxido de sódio (NaOH) 0,05 N; a soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (T) e saturação de bases (V%) foram calculadas pelas seguintes expressões respectivamente:

$$S = Na^+ + K^+ + Ca^{++} + Mg^{++}; T = S + (H^+ + Al^{+++});$$

$$V = \frac{S}{T} \times 100; \text{ a percentagem de sódio trocável (PST) e saturação por}$$

alumínio (m%) determinadas pelas fórmulas:

$$PST = \frac{Na^+}{T} \times 100; m = \frac{Al^{3+}}{S + Al^{3+}} \times 100; \text{ a condutividade elétrica (CE) foi}$$

medida no extrato de saturação. Os métodos analíticos seguiram os procedimentos descritos pelo Manual de Métodos de Análise de Solo, EMBRAPA (1979).

Determinação da erodibilidade

Os índices de erodibilidade, fator K para os dois solos foram calculados em cada camada através da equação de ROMKENS et al. (1987), com base na média geométrica do diâmetro das partículas primárias, e expressos em unidades do SI ($\frac{t \times ha \times mm}{MJ \times ha \times h}$).

3.5.2 Na planta

No sentido de avaliar o desenvolvimento das culturas, sua produção de matéria seca da parte aérea, seu rendimento relativo e extração de nutrientes em função das profundidades das camadas dos solos em estudo, em cada unidade experimental, foram realizadas as seguintes determinações:

- a) Emergência de plântulas: determinada no período de 3 a 11 dias após o plantio;
- b) Altura das plantas: medida durante o decorrer do desenvolvimento das culturas a intervalos de 15 dias após o plantio;
- c) Diâmetro do caule do milho: medido 60 dias após o plantio na região do colo;
- d) Produção de matéria seca da parte aérea: obtida após secagem em estufa de ventilação forçada, a 65°C, até peso constante;
- e) Extração de nutrientes pelas plantas:

O material vegetal seco da parte aérea foi moído em micromoinho e em seguida passado em grau de porcelana. Foram então determinados os teores dos macronutrientes: N, P, K, Ca e Mg. A preparação do extrato obedeceu a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1985), utilizando-se uma única digestão por H₂O₂ e H₂SO₄ com mistura de digestão para determinar os cinco macroelementos. Após a decantação foram retiradas alíquotas do extrato para as várias determinações. O potássio (K⁺) foi determinado por fotometria de chama

após diluição do extrato, ajustando-se a sensibilidade do aparelho com os padrões adequados. Para a análise do N total foi empregado o método semi-micro-Kjeldahl, após adição de NaOH, recebendo-se o destilado em indicador ácido bórico e titulando-se com H₂SO₄ diluído. O fósforo total foi quantificado por colorimetria do metavanadato e o cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção (MALAVOLTA et al., 1989).

A quantidade extraída (QE) dos macronutrientes em mg/planta foi obtida pelo produto: matéria seca (MS) da parte aérea (g) e concentração do nutriente CN (%).

$$QE \text{ (mg/planta)} = MS \times CN \times 10$$

f) Rendimento relativo (R%): obtido dividindo-se a média das 3 repetições dos rendimentos de cada planta, em cada camada pelo maior rendimento obtido, que ocorreu no Cambissolo (Ce) na camada de 0-5 cm;

g) Identificação das propriedades dos solos de maior correlação com o rendimento relativo das culturas.

A identificação dos atributos do solo que tiveram maior influência sobre o rendimento relativo (R%) do milho e feijão foi realizada mediante análise de regressão linear múltipla (método STEPWISE) tendo como variável dependente, o rendimento relativo e como variáveis independentes as propriedades químicas dos solos e a matéria orgânica.

3.6 Análise estatística dos dados experimentais

A análise foi realizada através do pacote estatístico SPSS/PC⁺. Para tanto, efetuou-se o teste F na análise de variância, utilizando-se o teste de Tukey para comparações "a posteriori" ao nível de significância de 5%, a fim de identificar diferenças significativas entre as médias do rendimento relativo dos solos e das camadas, bem como no desenvolvimento das culturas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mudanças nas propriedades do solo em função da profundidade de remoção da camada arável e do subsolo

Mudanças significativas podem ocorrer nas propriedades dos solos quando camadas da superfície e subsuperfície são expostas pela erosão simulada a diferentes profundidades. O QUADRO 01 mostra essas modificações nas propriedades físicas e químicas dos solos estudados.

O Cambissolo eutrófico e o Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico expressaram uma redução de 85,5% e 81,1% respectivamente no teor de matéria orgânica, quando a profundidade de remoção da camada superficial aumentou de 0-5 cm para 40-60 cm. Estes resultados estão de conformidade com os trabalhos desenvolvidos por TANAKA & AASE (1989); LAL (1981); LAL (1982); YOST et al. (1985); MOKMA & SIETZ (1992); BAUER & BLACK (1994); FRYE et al. (1982). Em oposição, para a mesma profundidade, houve aumento no conteúdo de argila em percentuais correspondentes a 138% e 150%. O considerável aumento do teor de argila do Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (150%) evidencia o seu caráter abrupco (BRASIL, 1973). Tendências similares quanto ao incremento de argila em profundidade foram detectadas por FRYE et al. (1982); RHOTON & TYLER (1990); GOLLANY et al. (1991). Essa característica de diminuição da matéria orgânica e aumento do teor de argila com a profundidade afeta a utilização do solo, promovendo problemas de manejo tais como: maior susceptibilidade à erosão, redução da emergência das plantas, diminuição nas taxas de germinação e maior gasto de energia para os trabalhos de preparo do solo. A explicação reside no fato de que a matéria orgânica tem um grande efeito na estruturação dos solos, ajudando sobremaneira a evitar a

QUADRO 01 Características físicas e químicas dos solos estudados em função do aumento de profundidade de remoção das camadas.

Profun- didade	Areia Grossa	Areia fina	Silte	Argila	M.O.	V	m	Água útil	N	P	K	Ca	Mg	S	T	pH em H ₂ O	Densidade do solo	Densidade da partícula	Porosidade Total
cm	%				ppm					meq/100g			g/cm ³		%				
Cambissolo eutrófico																			
0-5	40	9	30	21	3,10	94	0	5,8	0,08	7	1,32	12,0	1,8	15,2	16,2	7,5	1,27	2,64	52
5-10	25	12	42	21	1,52	94	0	6,2	0,05	2	1,14	9,4	1,6	12,2	12,9	7,6	1,29	2,70	52
10-20	20	8	28	44	1,02	92	0	6,7	0,04	1	1,14	7,5	1,9	10,6	11,5	7,4	1,28	2,73	53
20-40	20	8	29	43	0,84	91	0	7,1	0,03	1	0,98	5,8	1,8	8,7	9,5	6,7	1,33	2,70	51
40-60	16	8	26	50	0,45	81	0	7,1	0,02	1	0,70	4,0	2,4	7,2	8,9	5,6	1,30	2,74	52
Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico																			
0-5	48	29	9	14	1,64	50	9	4,6	0,05	7	0,19	1,0	0,8	2,04	4,04	5,2	1,38	2,68	48
5-10	51	29	10	10	1,25	57	8	4,1	0,04	8	0,13	1,2	0,8	2,17	3,77	5,2	1,48	2,71	45
10-20	36	29	10	25	0,74	49	11	4,7	0,03	2	0,12	0,8	0,6	1,56	3,16	5,0	1,45	2,69	46
20-40	36	25	8	31	0,77	47	20	6,2	0,03	2	0,08	1,0	0,5	1,62	3,42	4,9	1,45	2,72	47
40-60	31	21	13	35	0,31	61	9	7,3	0,02	1	0,07	1,1	0,7	1,91	3,11	5,4	1,45	2,65	45

desagregação e o deslocamento de partículas e diminuindo a possibilidade de rearranjo de partículas (RESENDE, 1985). Dessa forma, o decréscimo no teor de matéria orgânica degrada a estrutura do solo, tendendo a um aumento de sua erodibilidade, não obstante o incremento da percentagem de argila.

Os teores de areia grossa, areia fina e silte apresentaram tendências decrescentes para o Cambissolo eutrófico. Para o Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, apenas o silte demonstrou ligeiro acréscimo com o aumento da profundidade de remoção.

O aumento da densidade do solo detectado nas camadas subjacentes, evidencia que os solos apresentam-se mais compactos quando a camada superficial é removida. Valores elevados de densidade do solo com a remoção artificial têm sido relatados em outros estudos (FRYE et al., 1982; MALHI et al., 1994). Neste aspecto, PETERSEN citado por GOLLANY et al., 1992 e PETERSEN (1968) referem-se à manutenção da densidade elevada em parcelas de remoção artificial como consequência da redução da matéria orgânica, que indiretamente afeta o espaço poroso. Observando-se a porosidade total dos solos estudados verifica-se que o Cambissolo apresenta comparativamente maior volume de poros que o Podzólico em todas as camadas analisadas. Considera-se então que o maior teor de matéria orgânica contribuiu para formar agregados que aumentam a porosidade, além das características de baixa densidade desse material. Segundo MALHI et al. (1994) a compactação reduz a penetração das raízes e a aeração e pode também reduzir a produtividade das culturas. A influência da matéria orgânica na densidade do solo pode ser corroborada comparando-se os dois solos, observando-se que na camada superficial (0-5 cm) do Cambissolo, onde o teor de matéria orgânica é praticamente o dobro do Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, o valor da densidade do solo para o primeiro é 1,27 e para o último 1,38.

A capacidade de retenção de água disponível (diferença da umidade a 1/3 e 15 atm) avaliada desde a superfície (0-5 cm) até 40-60 cm de profundidade,

R598151



apresentou acréscimo nos dois solos, correspondentes a 22,4% no Ce e 58,7% no PE. Este resultado contraria os trabalhos de FRYE et al. (1982) que considerou o declínio na capacidade de água disponível o principal efeito da erosão do solo limitando o rendimento das culturas e de GOLLANY et al. (1992) que constatou menor conteúdo de água disponível nas parcelas com 30 e 45 cm de solo removidos, atribuindo o fato ao efeito do menor conteúdo de matéria orgânica, degradação da estrutura do solo da camada superficial e redução da porosidade total. No entanto, os resultados acima encontram respaldo no trabalho de BAUER & BLACK (1992) que relataram que a redução no conteúdo de matéria orgânica do solo associada com a perda de produtividade é primeiramente uma consequência do concomitante declínio em nutrientes e atividade biológica. No entanto, esse aumento de água útil com a profundidade está coerente com o gradativo aumento do teor de argila à medida que as camadas tornam-se mais profundas. A alta superfície específica dessas partículas e sua alta capacidade de retenção de água são propriedades inerentes à sua natureza coloidal.

Por outro lado, deve reconhecer-se que em condições naturais de erosão e mecanização desse solo, a mistura dessas camadas com frações mais grossas de areia ou a compactação poderia resultar em redução do teor de água útil, mecanismos que o caráter artificial de remoção de camadas, empregado no presente estudo não é capaz de detectar.

A erosão simulada também contribui para a redução da fertilidade do solo pela remoção da camada arável e a conseqüente exposição do subsolo, onde geralmente, a disponibilidade de nutrientes é menor. O Cambissolo eutrófico considerado um solo de elevado potencial agrícola com alta fertilidade natural apresentou decréscimos nos teores de N, P, K Ca e Mg à medida que a profundidade de remoção da camada superficial aumentou. O N na camada de 40-60 cm caiu para menos da metade do conteúdo deste elemento presente na camada de 0-5 cm. Segundo MALHI et al. (1994) a redução de N ocorre não apenas pela retirada do N orgânico e inorgânico, mas também porque reduz o

potencial de mineralização do N que permanece no solo. Do mesmo modo, o P disponível na camada mais profunda (40-60 cm) representou 14,3% do contido na camada de 0-5 cm. Vale ressaltar a importância da matéria orgânica como reserva química, visto que seu comportamento no solo apresenta a mesma tendência decrescente dos nutrientes, sendo considerada fonte primária de N disponível do solo, contendo em torno de 65% do P total do solo e provendo significativas quantidades de S e outros nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (BAUER & BLACK, 1994). LANGDALE & SHRADER citados por DEDECEK (1987) afirmam que quase todo o N disponível para as plantas está na forma orgânica, bem como cerca de 50% do P disponível. Isto é particularmente importante se considerarmos que o P, um dos nutrientes menos móveis no solo, é mais susceptível às perdas pela erosão de argila e matéria orgânica (RESCK et al. 1980). Já o K encontra-se na camada de 40 - 60 cm em pouco mais da metade (53%) em relação à camada superficial (0 - 5 cm).

O Ca foi o elemento presente em maior quantidade em todas as profundidades, quando comparado aos demais macronutrientes, provavelmente em função do material de origem do aludido solo (calcário Jandaíra do período cretáceo), explicando também os valores de pH levemente alcalinos nas camadas superficiais (0 - 5; 5 - 10; 10 - 20 cm). O Mg apresentou teores praticamente uniformes ao longo das profundidades examinadas. Por outro lado, os elevados valores de saturação de bases verificados justificam o caráter eutrófico deste solo, embora com redução de 14% observada na camada mais profunda (40 - 60 cm). A capacidade de troca de cátions e a soma de bases também apresentaram tendências decrescentes com o aumento da profundidade de remoção.

A erosão simulada também causou uma degradação similar nas propriedades químicas do Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (QUADRO 1). Verificou-se redução nos teores de N, P e K, em profundidade, em percentuais correspondentes a 60, 86 e 63% respectivamente, em relação aos teores

encontrados na camada de 0 - 5 cm. Com referência ao N, correspondentes decréscimos sob limitada umidade foram constatados por ECK (1968). A maior redução observada para o P (86%), pode possivelmente explicar a expressão de sintomas de deficiência deste nutriente, generalizada em todos os tratamentos do milho, observados quando da condução do experimento. Os resultados do presente estudo concordam com numerosas investigações que têm mostrado que o P aparentemente é o mais deficiente nutriente em solos erodidos (ECK, 1968; ECK & FORD, 1962; ENGELSTAD, 1961). Reforço a esta constatação foi obtido em experiências de adubação com superfosfato, onde verificaram que 32% do fosfato foi utilizado pelas plantas, 8% foi retido como resíduo e 60% foi perdido pela erosão do solo (DULEY, 1926; MILLER, 1926; MILLER & KRUSEKOPH, 1932; NEAL, 1934; SCARSETH & CHANDLEU, 1938). O Ca e o Mg não expressaram grandes variações com a remoção das camadas e do mesmo modo, a capacidade de troca de cátions, a soma de bases e a saturação de bases. Deve-se considerar, ainda com relação a esse solo, a saturação por alumínio (m%) que na camada de 20 - 40 cm atingiu 20%, aumentando o risco de toxidez de Al trocável e expondo um subsolo moderadamente ácido (pH H₂O - 4,9). Referências a este aspecto foram realizadas em trabalhos de POWER et al. (1975), FRYE et al. (1982) e SILVA et al. (1985).

Do ponto de vista da produtividade do solo, as mudanças nas propriedades acima, ocasionadas pela remoção das camadas superficiais do solo no Cambissolo eutrófico e Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico podem ser consideradas negativas. RHOTON & TYLER (1990) enfatizam que em termos práticos, muitas das mudanças em propriedades químicas criam relativamente menos problemas de manejo, porque o nível de produtividade pode ser mantido por adubações e correções. Em termos econômicos, entretanto, a conclusão desses autores, além de demasiadamente simplista, é muito perigosa, particularmente em uma agricultura descapitalizada de países do terceiro mundo. Considerando a tendência crescente dos preços desses insumos, face à gradativa

escassez de petróleo a partir da próxima década, a substituição da produtividade perdida por erosão através do crescente uso de adubos químicos poderá levar a agricultura no Ceará a um desastre sem precedentes, inclusive no que concerne à poluição de suas águas superficiais e subterrâneas. Por outro lado, SILVA et al. (1995) demonstraram claramente que no Podzólico em estudo o uso da fórmula de adubação química 60 - 40 - 30 não foi suficiente para restaurar a produtividade do solo, apresentando erosão apenas moderada ao nível daquele onde a erosão era da classe não aparente, reforçando portanto a premissa acima referida. Resultados idênticos foram também relatados por OLSON (1977) e MBAGWU et al. (1984). Contudo, o declínio em propriedades físicas é um problema tão agudo quanto o das propriedades químicas aqui referido.

4.2. Erodibilidade dos solos em função do aumento da profundidade das camadas removidas por erosão simulada

Os valores obtidos dos índices de erodibilidade das diferentes camadas analisadas nos dois solos em estudo, encontram-se na FIGURA 2. Observa-se que as camadas do solo Ce apresentam maiores valores de erodibilidade, comparativamente às do PE, exceto na camada de 40 - 60 cm.

Os elevados valores de erodibilidade obtidos no perfil do Ce refletem os altos teores de silte + areia fina. Como a erodibilidade resulta de uma combinação particular das propriedades do solo, o teor de silte + areia fina tem uma relação direta, contribuindo para elevar o seu valor (WISCHMEIER et al., 1971). Tal fato é devido à baixa coesão dessas partículas, que facilita o seu destacamento combinado com a facilidade no transporte, decorrente de sua pequena massa (LAGO & MARGOLIS, 1981). Neste sentido, a elevada erodibilidade (0,042) constatada por SILVA (1994) em Cambissolos eutróficos utilizados nesta pesquisa, pode ser explicada por altos teores de silte + areia fina,

que na camada de 5-10 cm atingiu o patamar de 54%. OLIVEIRA & BAHIA (1984) encontraram resultados similares (0,041) para a mesma classe de solo ocorrente no município de Lavras - MG. Ainda com relação a este solo, vale ressaltar que os maiores teores de silte encontrados nas camadas de 0-5 cm (30%) e 5-10 cm (42%) contribuem provavelmente para maior facilidade de encrostamento do solo, conforme considerado por LEMOS & LUTZ (1957), levando conseqüentemente à diminuição da infiltração da água do solo (LIMA, 1987).

Porém, é necessário salientar que a atuação das propriedades analisadas não ocorre isoladamente mas, sim, em interações, por vezes muito complexas.

Contudo, no Ce a erodibilidade aumentou somente ligeiramente da superfície (0,037) pra as camadas intermediárias (0,041), onde foi atingido o valor máximo deste fator. Sendo assim, para o Cambissolo os riscos de erosão aparentemente seriam pequenos face à sua ocorrência em declividades de 0 a 3%, mas no conjunto as outras características são altamente favoráveis a esse processo: teores de silte elevados, grande tendência ao encrostamento (RESENDE, 1985). Por outro lado, declividades baixas nem sempre estão associadas a pequenas taxas de erosão, posto que em função de valores altos de erodibilidade e de erosividade, aliados à ausência de práticas conservacionistas, SILVA (1994) detectou em parcelas sem cobertura vegetal perdas de até 129,8 t/ha/ano no Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico em estudo, nessa mesma classe de declive (0-3%).

O PE virtualmente dobrou o valor deste parâmetro nas camadas intermediárias e inferiores (0,040), quando comparado com a camada superficial (0,018-0,021). Essa acentuada variação do fator K entre as diferentes camadas é compatível com os resultados de MORESCO & GRAY (1977) citados por OLIVEIRA & BAHIA (1984). Os menores valores de silte desse solo, quando comparados aos determinados no Cambissolo estão coerentes entretanto com os valores médios do fator K (0,026) determinados por SILVA (1994). Observou-se

também que em função desse parâmetro os maiores valores de K para o Cambissolo em relação ao Podzólico corroboram com os resultados obtidos por OLIVEIRA & BAHIA (1984). Diante do exposto, constata-se que os Cambissolos merecem cuidado, pois são muito susceptíveis à erosão, correndo-se o risco de degradá-los, particularmente no que concerne à sua estrutura, caso não se apliquem práticas adequadas de conservação do solo e de manejo adequado da água na irrigação por aspersão a que vêm sendo submetidos. Nesse caso, a mecanização pesada e dotações de rega superdimensionadas põem em risco a sustentabilidade da agricultura nesses solos.

A tendência crescente do valor da erodibilidade com a profundidade, verificada no presente estudo nos dois solos, demonstra conforme OLIVEIRA & BAHIA (1984), que a quantidade de partículas passível de ser desagregada e transportada pelo deflúvio cresce com a profundidade, permitindo antecipar o que ocorrerá em termos de perdas de solo no caso de remoção das camadas superficiais.

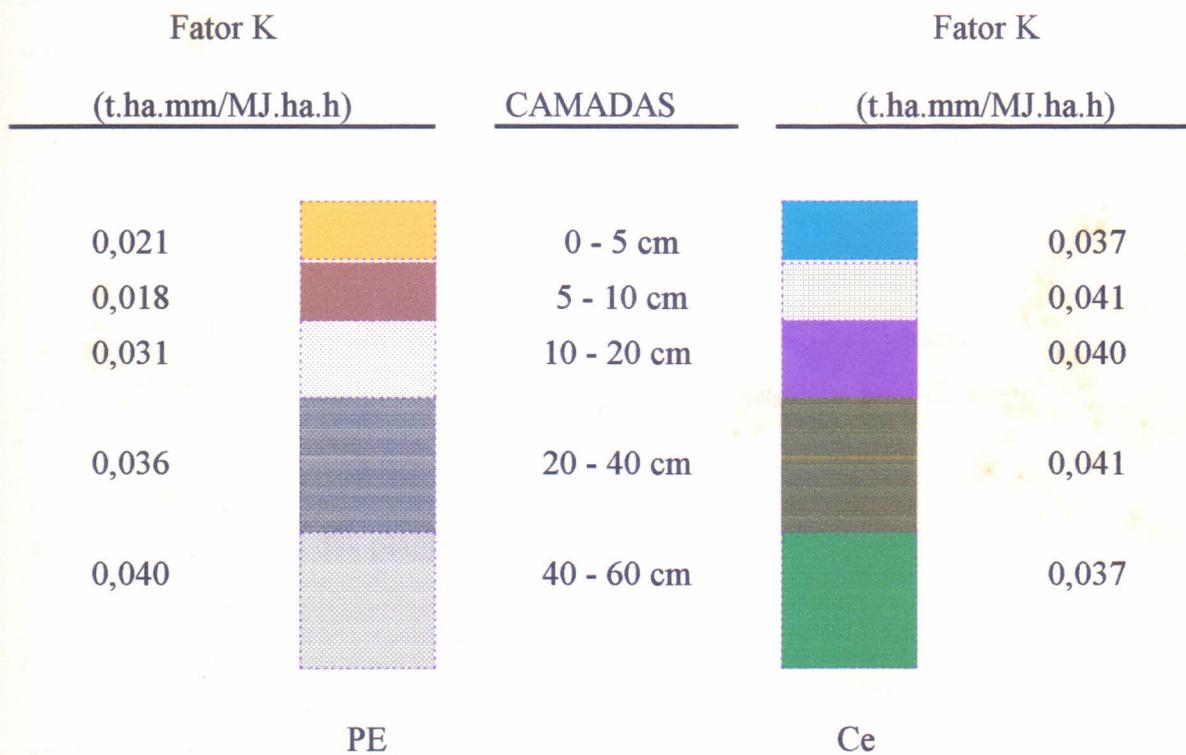


FIGURA 2 Valores de erodibilidade do Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce) nas diferentes camadas analisadas.

4.3 Impacto da exposição e cultivo em camadas do solo removidas artificialmente

A remoção das camadas superficiais do solo pela erosão simulada promoveu modificações nas propriedades químicas e físicas dos solos, afetando assim o desenvolvimento das culturas.

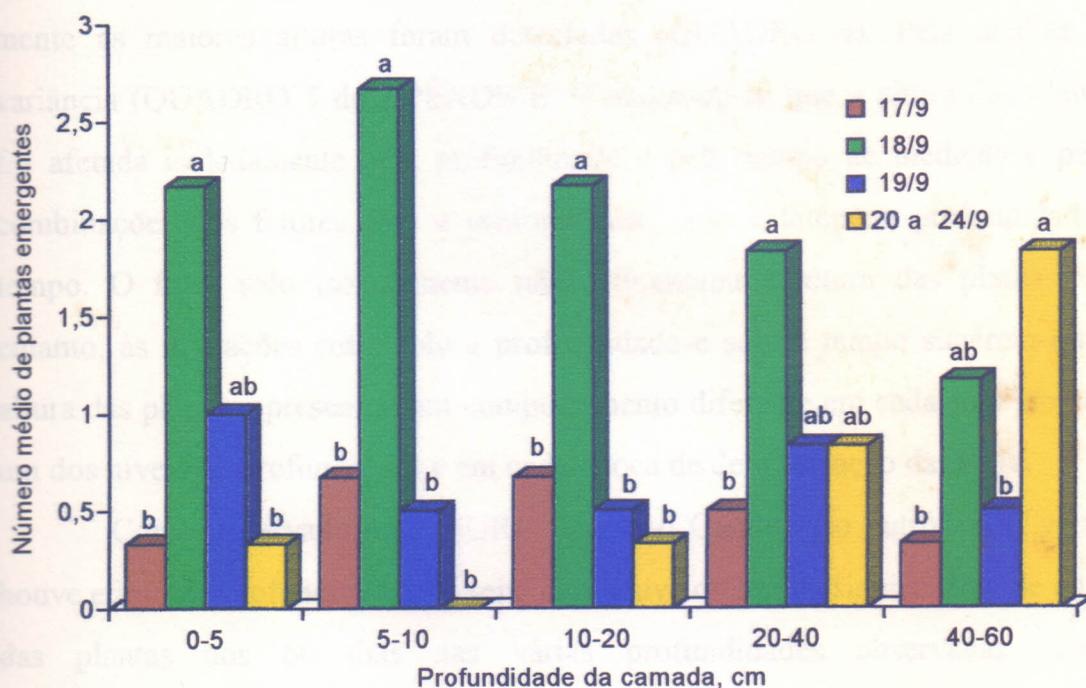
4.3.1 Milho

Alterações foram observadas no período de emergência das plantas, altura das plantas, diâmetro do caule e produção de matéria seca da parte aérea.

4.3.1.1 Emergência das plantas

Foi observado que a maior emergência de plantas ocorreu no 4º dia após a semeadura (18/09/94) para as profundidades 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm.. Para a profundidade de 40 - 60 cm, houve maior requerimento de tempo, ocorrendo maior emergência a partir do 6º dia após a semeadura - 20/09/94 a 24/09/94 (QUADRO 2 do APÊNDICE 3). Atraso na emergência de plantas de milho (*Zea mays* L.). devido a remoção da camada superficial do solo tem sido previamente relatado (OLSON, 1977; GOLLANY et al., 1992; SPAROVEK et al., 1991). A influência do tempo em cada profundidade é melhor avaliada na FIGURA 03. É importante salientar que a apresentação do parâmetro emergência das plantas em uma única figura decorre da não existência de diferença significativa entre os solos.

A análise de variância do número de plantas emergentes (QUADRO 3 do APÊNDICE 3) indicou que este parâmetro foi afetado pelo tempo e interação entre tempo e profundidade, indicando que o número de plantas emergentes em cada tempo é influenciado pela profundidade do solo.



NOTA: Barras com mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

FIGURA 3 Número médio de plantas de milho emergentes em função do tempo e da profundidade das camadas dos solos PE e Ce.

4.3.1.2 Altura das plantas

A exposição de camadas mais profundas ao cultivo em ambos os solos geralmente reduziu a altura das plantas quando comparada às determinadas na camada superficial (0-5 cm), onde o melhor desenvolvimento e, conseqüentemente as maiores alturas foram detectadas (QUADRO 4). Pela análise de variância (QUADRO 5 do APÊNDICE 3) observou-se que a altura das plantas foi afetada isoladamente pela profundidade e pelo tempo de medição e pelas combinações dos fatores solo e profundidade, solo e tempo e profundidade e tempo. O fator solo isoladamente não influenciou a altura das plantas. No entanto, as interações entre solo e profundidade e solo e tempo sugerem que a altura das plantas apresentou um comportamento diferente em cada solo em cada um dos níveis de profundidade e em cada época de determinação da altura.

Como observado na FIGURA 4 para o Cambissolo eutrófico (Ce) não houve efeito de profundidade, ou seja, não houve diferença significativa de altura das plantas aos 60 dias nas várias profundidades observadas. Todas comportaram-se igualmente ao nível de 5%. No que diz respeito ao Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE), houve diferença significativa entre as duas camadas superficiais e as três últimas camadas mais profundas. Essas porém não diferiram entre si.

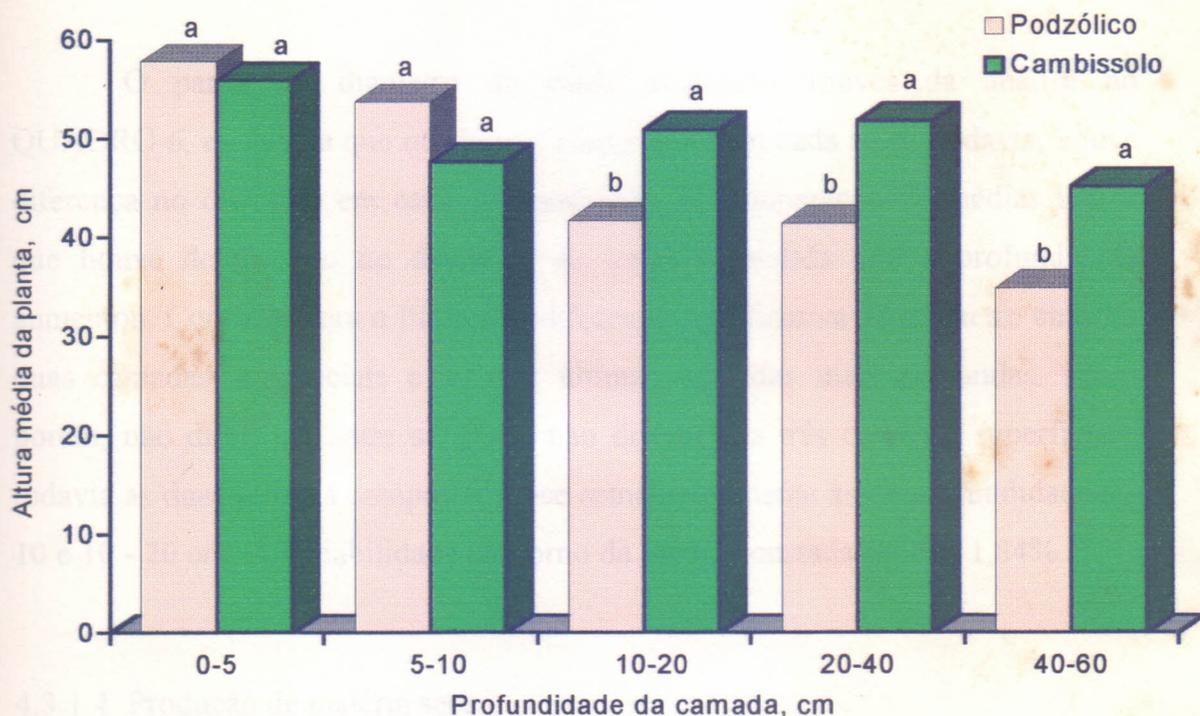
A interação profundidade e tempo nos permite concluir que para as várias profundidades avaliadas o maior valor médio da altura corresponde ao determinado em 13/11/94 exatamente na época de corte. Para as várias datas de determinações de altura esta apresentou maior valor na camada mais superficial (0 - 5 cm), como se pode observar no QUADRO 4.

Vale enfatizar que reduções na altura das plantas em parcelas removidas artificialmente também foram observadas em outros trabalhos (CARTER et al., 1985; GOLLANY et al., 1992 e SPAROVEK et al., 1991), com técnicas semelhantes às do presente estudo.

QUADRO 4 Altura média⁽¹⁾ de plantas de milho em função do tempo (T), diferentes profundidades de cultivo (P) em solo(s) Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).

Profundidade das Camadas	solo	Data da determinação da altura			
		29/09	14/10	29/10	13/11
		cm			
0 - 5	PE	36,17Aa	51,33Aa	56,17Aa	57,83Aa
	Ce	24,50Ba	43,73Aa	51,83Aa	55,93Aa
5 - 10	PE	34,33Aa	44,83Aa	52,00Aa	53,73Aa
	Ce	25,47Aa	34,53Ba	41,33Bab	47,67Aa
10 - 20	PE	27,67Aa	34,83Aab	37,93Ab	41,70Bb
	Ce	24,50Aa	35,97Aa	43,67Aab	50,90Aa
20 - 40	PE	26,83Aa	32,93Abc	38,43Ab	41,47Bb
	Ce	25,27Aa	37,83Aa	43,83Ab	51,83Aa
40 - 60	PE	11,83Ab	26,40Abc	31,53Bb	34,93Bb
	Ce	19,50Aa	34,83Aa	41,33Aab	45,13Aa

(1) Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na vertical (entre solos) e minúsculas na vertical (entre profundidades de um mesmo solo), não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

**NOTA**

Barras com mesmas letras, para cada solo, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

FIGURA 04 Altura média de plantas de milho aos 60 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).

4.3.1.3 Diâmetro do caule

O parâmetro diâmetro do caule analisado através da análise no QUADRO 6, evidencia que não houve efeito deste em cada solo. Todavia, houve diferença no diâmetro em cada profundidade. A comparação de médias indica que houve decréscimo no diâmetro do caule à medida que a profundidade aumentou. Contudo, para o PE houve diferença significativa do diâmetro entre as duas camadas superficiais e as três últimas camadas mais profundas. Essas porém, não diferiram entre si. O Ce não diferiu nas três camadas superficiais, todavia as duas últimas comportaram-se semelhantemente às de profundidade 5 - 10 e 10 - 20 cm. A variabilidade em torno da média constada foi de 11,84%.

4.3.1.4 Produção de matéria seca

A análise da produção de matéria seca da parte aérea (QUADRO 7) demonstra que houve efeito de solo e profundidade, com variabilidade de 20,31%. Considerando-se os solos, constata-se que a matéria seca produzida no solo PE é inferior a produzida no Ce em quase todas as profundidades, embora diferença significativa entre os mesmos tenha ocorrido apenas nas três últimas camadas mais profundas. As médias de produção de matéria seca influenciadas pela profundidade comparadas pelo teste de Tukey demonstram que as mesmas diminuíram com o aumento da profundidade da camada superficial do solo removida e atingiu o nível mais baixo com remoção da camada à profundidade de 40 a 60 cm. O rendimento médio da produção de matéria seca nesta camada foi 27, 35, 64 e 70% daquele obtido nas profundidades: 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20-40 respectivamente para o PE e 47, 79, 80 e 82% para o Ce. Estes resultados estão de conformidade com os apresentados por LAL (1976), REHM (1978) e LANGDALE et al. (1979) para a cultura do milho e MALHI et al. (1994) para a cultura da cevada.

QUADRO 6 Diâmetro médio do caule de plantas de milho aos 60 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce)⁽¹⁾.

Solo	Profundidade das camadas				
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
	cm				
PE	2,13Aa	2,03Aa	1,63Ab	1,63Ab	1,33Ab
Ce	2,10Aa	1,73Aab	1,70Aab	1,37Ab	1,47Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na vertical (entre solos) e minúsculas na horizontal (entre profundidades) não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

QUADRO 7 Produção de matéria seca da cultura do milho aos 60 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce)⁽¹⁾.

Solo	Profundidade das camadas				
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
	g/planta				
PE	8,23Aa	6,44Aa	3,46Bb	3,17Bb	2,23Bb
Ce	9,14Aa	5,41Ab	5,33Ab	5,21Ab	4,27Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na vertical (entre solos) e minúsculas na horizontal (entre profundidades) não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

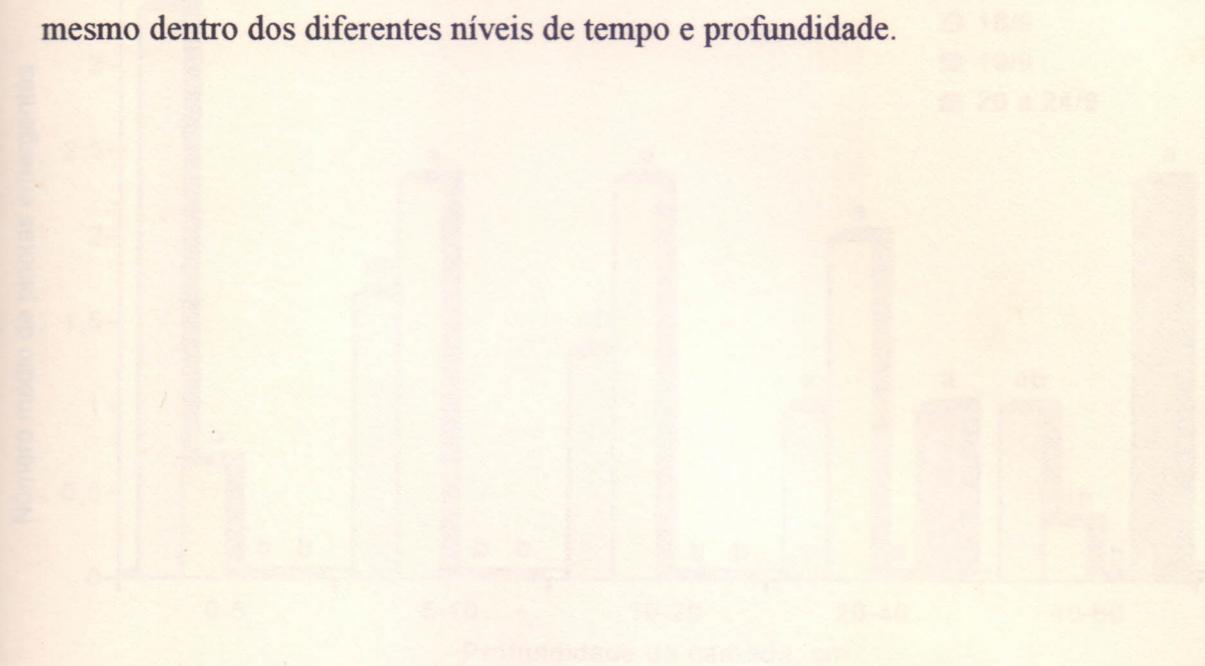
4.3.2 Feijão

O desenvolvimento da cultura do feijão foi afetado pela profundidade de remoção da camada superficial do solo, sendo avaliado pelos parâmetros: emergência das plantas, altura da planta e produção de matéria seca da parte aérea.

4.3.2.1 Emergência das plantas

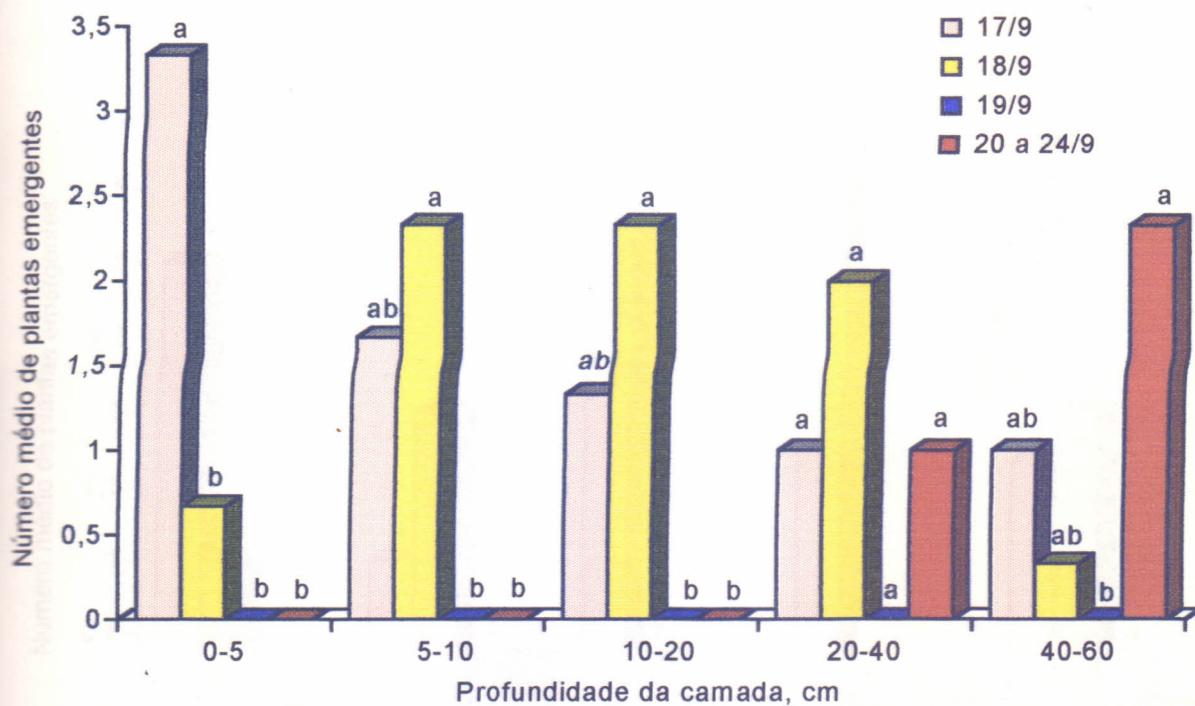
Comparando-se os valores médios da emergência pelo teste de Tukey ao nível de 5% constata-se no solo Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico um atraso na emergência à medida que a profundidade de remoção da camada superficial aumenta, conforme evidenciado por GOLLANY et al. (1992). Assim, para a camada mais profunda 40 - 60 cm a maior emergência ocorreu em 20/09 a 24/9, enquanto nas profundidades 5 - 10 cm, 10 - 20 cm e 20 - 40 cm no quarto dia após a semeadura 18/9 e na camada mais superficial 0 - 5 cm a maior emergência deu-se no terceiro dia após a semeadura 17/9 com significativa diferença estatística em relação aos demais tempos (QUADRO 8 do APÊNDICE 3). A explicação para tal fato possivelmente reside, de acordo com RHOTON & TYLER (1990), nas mudanças nos maiores conteúdos de argila e menores de matéria orgânica com a profundidade, contribuindo para aumentar a superfície de selamento e runoff e formando crostas resistentes e dessa forma dificultando a emergência. Com o Cambissolo eutrófico o atraso não foi tão pronunciado para a profundidade de 40 - 60 cm, ocorrendo maior emergência no quarto dia após a semeadura 18/9, embora não houvesse diferença estatística com os demais tempos. As FIGURAS 5 e 6 possibilitam melhor visualização das interpretações citadas.

A análise de variância do total de plantas emergentes (QUADRO 9 do APÊNDICE 3) demonstrou efeito isolado do fator tempo e combinação dos efeitos de solo e tempo e interação tripla entre solos, tempos e profundidades, permitindo avaliar se o comportamento dos solos diante da emergência é ou não o mesmo dentro dos diferentes níveis de tempo e profundidade.



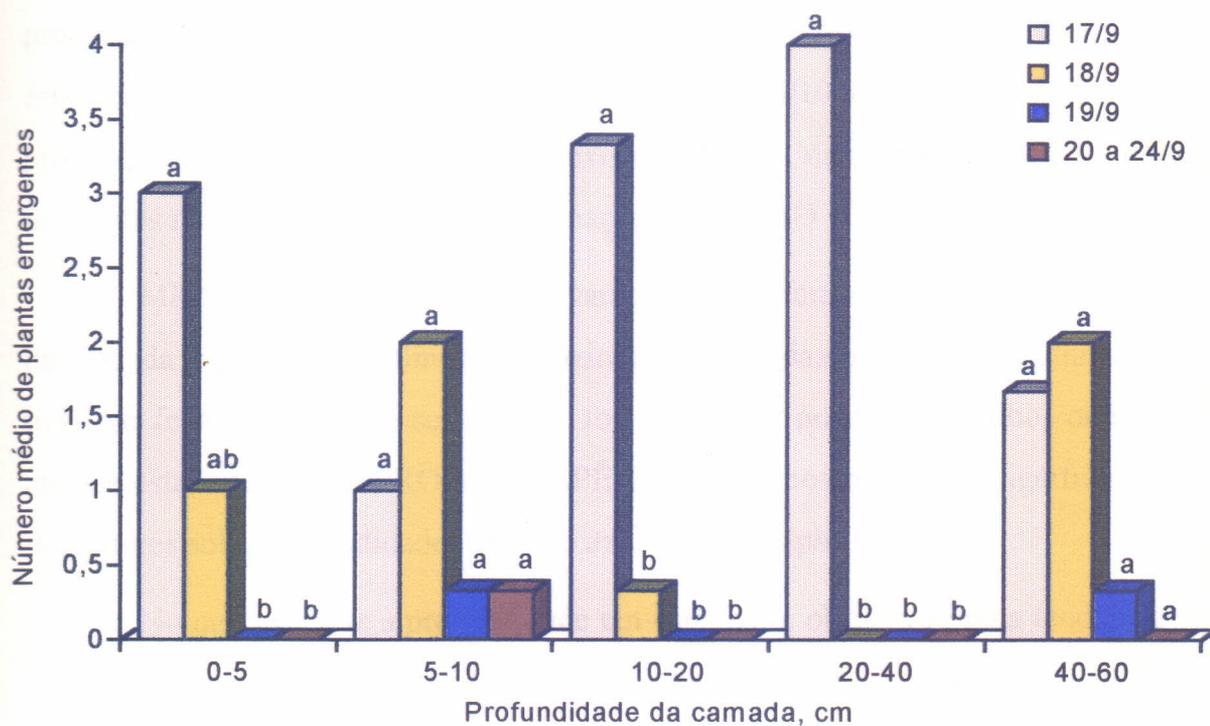
NOTA — Barras com mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

FIGURA 1 — Número médio de plantas de feijão emergentes em função do tempo e da profundidade das camadas do Podzólico.



NOTA Barras com mesmas letras, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

FIGURA 5 Número médio de plantas de feijão emergentes em função do tempo e da profundidade das camadas do Podzólico.

**NOTA**

Barras com mesmas letras, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

FIGURA 06 Número de plantas de feijão emergentes em função do tempo e da profundidade das camadas do Cambissolo.

4.3.2.2 Altura das plantas

Comparando-se os solos em cada profundidade pelo teste de Tukey, constata-se que o PE supera o Ce em todas as datas de determinação apenas na profundidade de 5 - 10 cm. Na camada superficial (0 - 5 cm) o PE difere estatisticamente nas determinações efetuadas em 14/10 e 29/10. Nas demais profundidades, de maneira geral, não existe diferença na altura das plantas nos dois solos nas várias épocas de determinação (QUADRO 10).

MBAGWU et al. (1984) observaram que os efeitos adversos na remoção da camada superficial geralmente reduziram a altura das plantas nas culturas de milho e feijão. Resultado semelhante foi obtido no presente trabalho, onde a análise estatística (QUADRO 11 do APÊNDICE 3) mostrou efeito significativo dos fatores solo, profundidade, tempo e da interação tripla.

No que se refere à profundidade em cada solo, observa-se uma tendência geral de redução na altura da planta com o incremento da profundidade. Aos 77 dias de cultivo (FIGURA 7) constata-se diferença entre os solos apenas nas camadas de 5 - 10 cm e 20 - 40 cm.

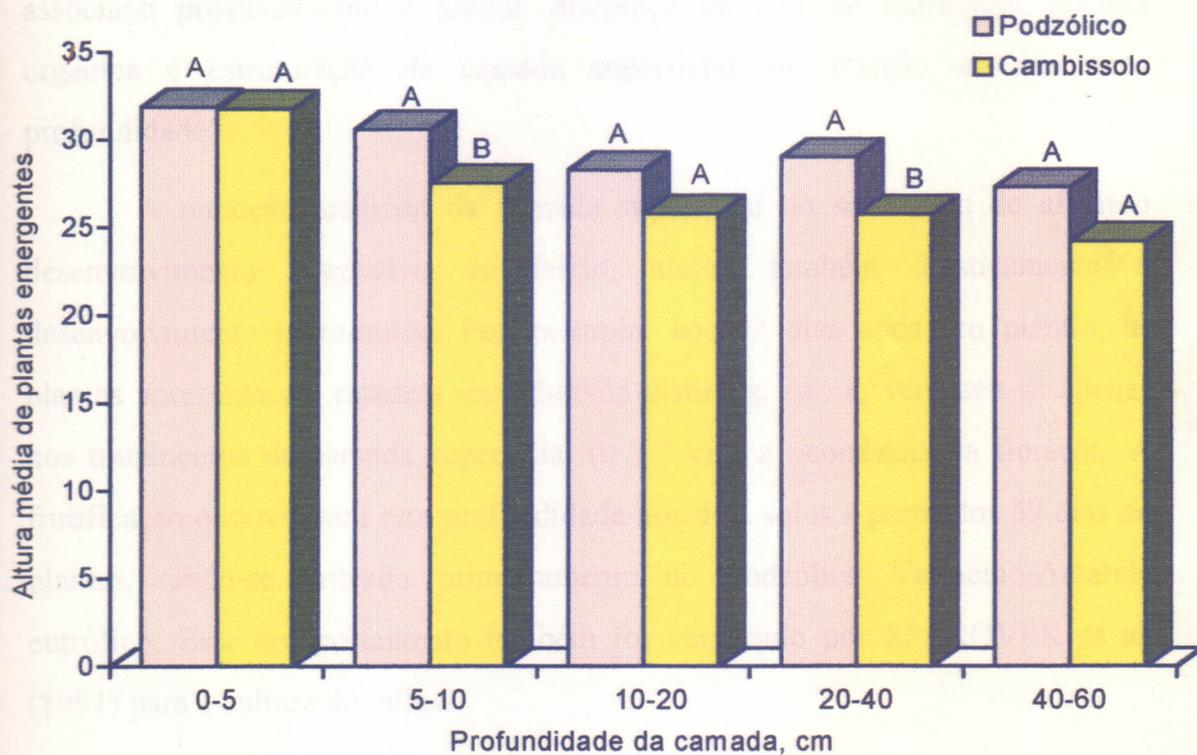
4.3.2.3 Produção de matéria seca

O resultado da análise da produção de matéria seca da parte aérea da cultura do feijão encontra-se no (QUADRO 12). A variabilidade observada para este parâmetro foi de 18,33%. O teste de Tukey realizado para comparar os solos em cada profundidade permite concluir que o Cambissolo supera o Podzólico na camada mais superficial 0 - 5 cm, enquanto este nas profundidades de 5 - 10 cm e 20 - 40 cm, não havendo diferença significativa nas profundidades 10 - 20 cm e 40 - 60 cm. Avaliando-se a profundidade em cada solo constata-se que a maior quantidade de matéria seca foi obtida nas duas primeiras camadas mais

QUADRO 10 Altura média⁽¹⁾ de plantas de feijão em função do tempo (T), diferentes profundidades de cultivo (P) em solo(s) Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).

Profundidade das Camadas		Data da determinação da altura				
		Solo	29/09	14/10	29/10	13/11
		cm				
0 - 5	PE	18,67Aa	29,50Aa	31,0Aa	31,70Aa	31,87Aa
	Ce	16,67Aa	24,27Ba	27,13Ba	31,23Aa	31,77Aa
5 - 10	PE	19,17Aa	27,17Aab	28,77Aa	30,00Aab	30,60Aab
	Ce	15,00Ba	22,80Ba	23,23Bab	25,33Bb	27,53Bab
10 - 20	PE	15,67Aab	22,90Abc	24,07Ab	27,30Abc	28,27Aab
	Ce	15,17Aa	23,83Aa	23,07Aab	26,47Ab	25,8Ab
20 - 40	PE	13,83Ab	22,1Ac	24,27Ab	27,20Abc	29,00Aab
	Ce	13,67Aa	22,57Aa	23,40Aab	25,23Ab	25,77Bb
40 - 60	PE	9,33Bc	20,97Ac	21,97Ab	25,43Ac	27,27Ab
	Ce	13,17Aa	21,97Aa	22,23Ab	22,83Ab	24,23Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na vertical (entre solos) e minúsculas na vertical (entre profundidades de um mesmo solo), não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.



NOTA Barras com mesmas letras, para cada solo, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

FIGURA 7 Altura média de plantas de feijão aos 77 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce).

superficiais 0 - 5 cm e 5 - 10 cm para o Podzólico, enquanto no Cambissolo foi significativamente maior apenas na camada superficial 0 - 5 cm, havendo uma estabilização num patamar mais abaixo após 5 cm de remoção. Tal fato está associado provavelmente à grande diferença no teor de nutrientes, matéria orgânica e estruturação da camada superficial em relação às de maior profundidade.

A remoção artificial da camada superficial do solo além de afetar o desenvolvimento vegetativo do feijão, afetou também drasticamente o desenvolvimento reprodutivo. Por exemplo, aos 52 dias após seu plantio, as plantas apresentaram estádios reprodutivos distintos, isto é, verificou-se apenas nos tratamentos da camada superficial (0 - 5 cm) a ocorrência da floração. A frutificação ocorreu para esta profundidade nos dois solos a partir dos 59 dias do plantio, tendo-se iniciado primeiramente no Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico. Esse comportamento também foi verificado por SPAROVEK et al. (1991) para a cultura do milho.

QUADRO 12 Produção de matéria seca da cultura do feijão aos 77 dias em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades de Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PE) e Cambissolo eutrófico (Ce)⁽¹⁾.

Solo	Profundidade das camadas				
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
	g/planta				
PE	8,31Ba	6,86Aa	3,43Ab	4,37Ab	3,56Ab
Ce	13,12Aa	3,92Bb	2,46Ab	2,40Bb	2,59Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na vertical (entre solos) e minúsculas na horizontal (entre camadas) não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

4.4 Efeito da exposição e cultivo em camadas de solo removidas artificialmente na extração de nutrientes pelas culturas

4.4.1 Milho

Os resultados médios das quantidades extraídas dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) contidos na palha do milho estão apresentados no QUADRO 13. Contudo, deve-se destacar que interpretações mais consistentes poderiam ter sido obtidas com a análise de grãos e raízes, de tal forma a poder-se estabelecer a quantidade total de nutrientes extraídos. Mesmo diante de tais limitações, serão comentados alguns aspectos importantes.

4.4.1.1 Nitrogênio

A análise de variância do N total extraído na matéria seca da parte aérea do milho (QUADRO 14) revelou diferença significativa da profundidade, bem como da interação solo e profundidade. A comparação de médias efetuada pelo teste de Tukey ao nível de 5% (QUADRO 13) demonstra que a maior extração de N para os dois solos ocorreu na camada mais superficial (0 - 5 cm), como era esperado. No entanto, diferença estatística ocorreu apenas para o Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico nas profundidades 0 - 5 cm e 5 - 10 cm. As demais profundidades apresentaram valores aproximados não diferenciando-se entre elas. Observa-se de modo geral a tendência decrescente na quantidade extraída de N com a profundidade, o que é condizente com o volume de matéria seca produzido. Neste aspecto, as maiores reduções na quantidade de N foram evidenciadas no PE com 78% em relação a camada superficial, enquanto o Ce, registrou 43%. Este fato corrobora a afirmativa de CRAFT et al. (1992) ao se referirem que o potencial para absorção de nutrientes e água depende então do nível de fertilidade do solo e da água disponível para a planta.

QUADRO 13 Valores médios de quantidade extraída de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea da cultura do milho em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades dos solos estudados ⁽¹⁾.

Macronutrientes	Solo	Profundidade, cm				
		0-5	5-10	10-20	20-40	40-60
		mg/planta				
N	PE	11,58Aa	7,72Ab	4,76Bc	4,33Bc	2,54Bc
	Ce	8,87Ba	6,59Aab	7,06Aab	6,58Aab	5,10Ab
P	PE	10,99Aa	8,21Aa	3,97Ab	3,83Bb	2,94Ab
	Ce	13,20Aa	6,80Ab	6,26Ab	6,36 Ab	4,12Ab
K	PE	107,14Ba	77,67Ba	76,58Ba	34,60Ba	31,88Ba
	Ce	274,60Aa	162,85Ab	164,05Ab	176,12Ab	114,96Ab
Ca	PE	18,31Ba	13,19Aa	9,64Ba	12,44Ba	9,28Aa
	Ce	24,97Aa	18,35Aab	29,98Aa	22,44Aab	15,22Ab
Mg	PE	30,42Aa	23,72Ab	13,51Ac	15,61Ac	10,11Ac
	Ce	14,99Ba	9,51Ba	12,44Aa	10,77Ba	11,64Aa

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na vertical (entre solos) e minúsculas na horizontal (entre profundidades), não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

QUADRO 14 Análise de Variância da quantidade extraída de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) da parte aérea da cultura do milho.

Fontes de Variação	GL	Macronutrientes ⁽¹⁾				
		N	P	K	Ca	Mg
Solo	1	2,192n.s.	7,311*	99,682**	50,142**	68,241**
Profundidade	4	23,460**	35,329**	11,544**	5,73**	25,356**
Solo x Profundidade	4	5,989**	2,091n.s.	2,383n.s.	4,256*	17,340**
Resíduo	20					
Total	29					
C.V.(%)		18,6	20,7	25,4	21,4	14,8

⁽¹⁾ Níveis de significância calculados pelo teste F para os macronutrientes : n.s.: não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade.

4.4.1.2 Fósforo

Com relação ao P, houve isoladamente comportamento diferenciado dos solos e profundidades. A quantidade de P extraída no Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico é significativamente menor que a do Cambissolo eutrófico, demonstrando a elevada fertilidade natural do último. No que diz respeito à profundidade, as maiores extrações correspondem às camadas mais superficiais, constatando-se pelo teste de Tukey diferença significativa nas profundidades 0 - 5 cm e 5 - 10 cm.

4.4.1.3 Potássio

O Potássio na palha apresentou tendência similar ao fósforo, embora sua quantidade tenha sido muito superior tanto no PE como no Ce. A quantidade extraída de K foi significativamente maior no Cambissolo. Quando comparadas as quantidades médias em cada profundidade verifica-se que a profundidade 0 - 5 cm foi a única que diferiu estatisticamente ao nível de 5%, embora a trajetória descendente tenha sido mantida com o aumento da profundidade. As maiores extrações de K observadas para a cultura do milho estão coerentes com MALAVOLTA (1976), que destaca a predominância do K na palha ou nos restos, enquanto as quantidades de N e P são sempre maiores nos grãos para os cereais.

4.4.1.4 Cálcio e magnésio

As quantidades de Ca e Mg foram influenciadas pelos solos, profundidades e interação solo e profundidade. Em geral, a quantidade de cálcio extraída pela palha foi menor no Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico do que a encontrada no Cambissolo eutrófico. Todavia, não houve diferença significativa na quantidade de cálcio em cada profundidade, enquanto no Cambissolo as maiores quantidades foram encontradas nas profundidades de 10 - 20 cm, 0 - 5 cm e 20 - 40 cm, sem que no entanto diferissem entre si.

Referindo-nos ao magnésio, observa-se que a distribuição da quantidade extraída mostrou-se menos dispersa em relação aos demais nutrientes, com o coeficiente de variação de aproximadamente 14,77%. Comparando os solos em cada profundidade constata-se que a quantidade extraída de Mg foi maior no Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, o que deveu-se possivelmente a alta relação Ca/ Mg verificada no Cambissolo, além da competição exercida pelo potássio. Em relação à profundidade, houve diferença significativa para o Podzólico apenas nas profundidades 0 - 5 e 5 - 10 cm, enquanto para o Cambissolo não houve em nenhuma profundidade. Os maiores valores médios de extração para Ca e Mg estão de conformidade com MALAVOLTA (1976) que relata que após o K as maiores exigências são de Ca e Mg e finalmente as de P e S.

4.4.2 Feijão

O QUADRO 15 exhibe os valores médios das quantidades extraídas dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) pela parte aérea das plantas de feijão.

4.4.2.1 Nitrogênio

As quantidades de N removidas, segundo o QUADRO 16, evidenciam efeito significativo de solo, profundidade e interação solo e profundidade. Avaliando-se o comportamento isolado dos solos verifica-se que a quantidade de N extraída é significativamente maior no Podzólico (24,45 mg/planta) que no Cambissolo (19,56 mg/planta) com diferenças estatísticas nas profundidades 5 - 10 cm e 40 - 60 cm.

A comparação de médias realizada para solo em cada profundidade pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (QUADRO 15) destaca que houve diferença para o Cambissolo apenas na camada superficial 0 - 5 cm, enquanto as demais não distinguiram-se entre si. No Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico a extração de N foi similar nas profundidades 0 - 5 cm e 5 - 10 cm, não distinguiu-se nas de 5 - 10 cm, 40 - 60 cm e 20 - 40 cm, bem como nas de 20 - 40 cm e 10 - 20 cm. Todavia, a tendência decrescente na quantidade extraída de N com a profundidade é comum aos dois solos. No que concerne a nutrição vegetal, o N é considerado o mais importante dos macronutrientes.

QUADRO 15 Valores médios de quantidade extraída de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea da cultura do feijão em função do cultivo em camadas de diferentes profundidades dos solos estudados ⁽¹⁾.

Macronutrientes	Solo	Profundidade, cm				
		0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
		mg/planta				
N	PE	35,00Aa	29,31Aab	16,11Ac	18,85Abc	22,98Ab
	Ce	42,20Aa	19,11Bb	11,87Ab	11,32Ab	13,32Bb
P	PE	8,91Ba	7,70Aa	3,51Ab	4,03Ab	3,52Ab
	Ce	17,95Aa	4,30Bb	2,36Ab	2,47 Bb	2,66Ab
K	PE	66,39Ba	59,51Ba	44,57Aa	49,97Aa	52,85Aa
	Ce	190,81Aa	89,94Ab	52,56Ab	55,44Ab	63,92Ab
Ca	PE	72,48Ba	57,76Aa	24,13Ab	35,97Ab	28,35Ab
	Ce	108,39Aa	40,65Bb	18,97Ac	19,95Bc	18,13Ac
Mg	PE	26,37Aa	25,57Aa	13,91Ab	18,94Ab	14,53Ab
	Ce	20,36Ba	12,54Bb	7,16Bb	9,55Bb	10,43Ab

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na vertical (entre solos) e minúsculas na horizontal (entre profundidades), não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

QUADRO 16 Análise de Variância da quantidade extraída de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) da parte aérea da cultura do feijão.

Fontes de Variação	GL	Macronutrientes ⁽¹⁾				
		N	P	K	Ca	Mg
Solo	1	7,055*	1,594n.s.	39,303**	1,162n.s.	64,893**
Profundidade	4	25,273**	149,07**	26,362**	123,16**	22,917**
Solo x Profundidade	4	3,100*	44,912**	15,553**	17,742**	2,517n.s.
Resíduo	20					
Total	29					
C.V.(%)		22,2	15,66	21,6	15,1	16,75

⁽¹⁾ Níveis de significância calculados pelo teste F para os macronutrientes : n.s.: não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade.

4.4.2.2 Fósforo

No que se refere ao P, constata-se pela análise de variância (QUADRO 16) efeito isolado de profundidade e combinação dos efeitos de solo e profundidade. Observando-se a profundidade em cada solo (QUADRO 15) comprova-se que as maiores extrações de P ocorrem nas camadas mais superficiais, havendo diferença estatística para o Cambissolo apenas na profundidade de 0 - 5 cm, enquanto no Podzólico as profundidades 0 - 5 cm e 5 - 10 cm diferenciam-se das demais, as quais comportam-se semelhantemente. Considerando os solos em cada profundidade, o Cambissolo sobressai-se a apenas na profundidade 0 - 5 cm; o PE nas profundidades 5 - 10 cm e 20 - 40 cm, não diferenciando-se nas profundidades 10 - 20 cm e 40 - 60 cm. O fósforo, dos macronutrientes primários, é o exigido em quantidades menores. Todavia, sua deficiência influencia drasticamente a produção agrícola, principalmente de frutos e grãos (RAIJ, 1991). Esta afirmativa explica a não produção de grãos nas profundidades superiores a 5 cm nos dois solos, o que corrobora mais uma vez a importância da conservação dos solos, visto que a maior parte dos solos brasileiros é deficiente em fósforo.

4.4.2.3 Potássio

O potássio apresenta-se como o nutriente removido em maior quantidade pela parte aérea das plantas de feijão, tendo sido influenciado pelo solo, profundidade e interação destes dois fatores. Neste sentido, a literatura relata que as altas taxas de absorção implicam uma forte competição com a absorção de outros cátions (RAIJ, 1991). JORGE (1983) destaca que em condições de riqueza deste mineral no solo, em estado solúvel ou trocável, as plantas absorvem-no em quantidades muito maiores do que as necessitadas para os processos biológicos -

“consumo de luxo”. No entanto, o feijão está entre as culturas que necessitam de grandes quantidades deste elemento. Confrontando-se pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (QUADRO 15) os valores médios da quantidade extraída de K por solo em cada profundidade, verifica-se que o Cambissolo apresenta-se superior ao Podzólico nas profundidades 0 - 5 cm e 5 - 10 cm, não havendo diferença no comportamento nas demais. Em relação à profundidade em cada solo só houve diferença estatística para a camada de 0 - 5 cm para o Cambissolo. As quantidades extraídas de K no PE para as cinco profundidades analisadas não evidenciam diferenças estatísticas.

4.4.2.4 Cálcio e magnésio

Os valores médios de cálcio extraído foram influenciados isoladamente pela profundidade e interação solo e profundidade. Observando-se o comportamento dos solos em cada profundidade, constata-se que o Cambissolo é superior apenas na camada de 0 - 5 cm. Nas camadas de 5 - 10 cm e 20 - 40 cm o Podzólico apresenta-se superior, não havendo diferença significativa entre solos nas profundidades 10 - 20 cm e 40 - 60 cm. Analisando-se a profundidade em cada solo, identifica-se comportamento diferenciado do Cambissolo nas profundidades 0 - 5 e 5 - 10 cm; já no PE as profundidades citadas não diferenciam-se entre si, mas distinguem-se das demais, que comportam-se semelhantemente.

Com relação ao magnésio, houve efeito significativo de solo e profundidade. Considerando os solos, o Podzólico apresentou as maiores quantidades extraídas em todas as profundidades, exceto na camada de 40 - 60 cm, onde igualou-se ao Cambissolo. Considerando-se que os teores de Mg encontrados no Cambissolo são superiores, a explicação para tal fato seria a existência de uma certa relação inversa entre a absorção de magnésio e potássio ou

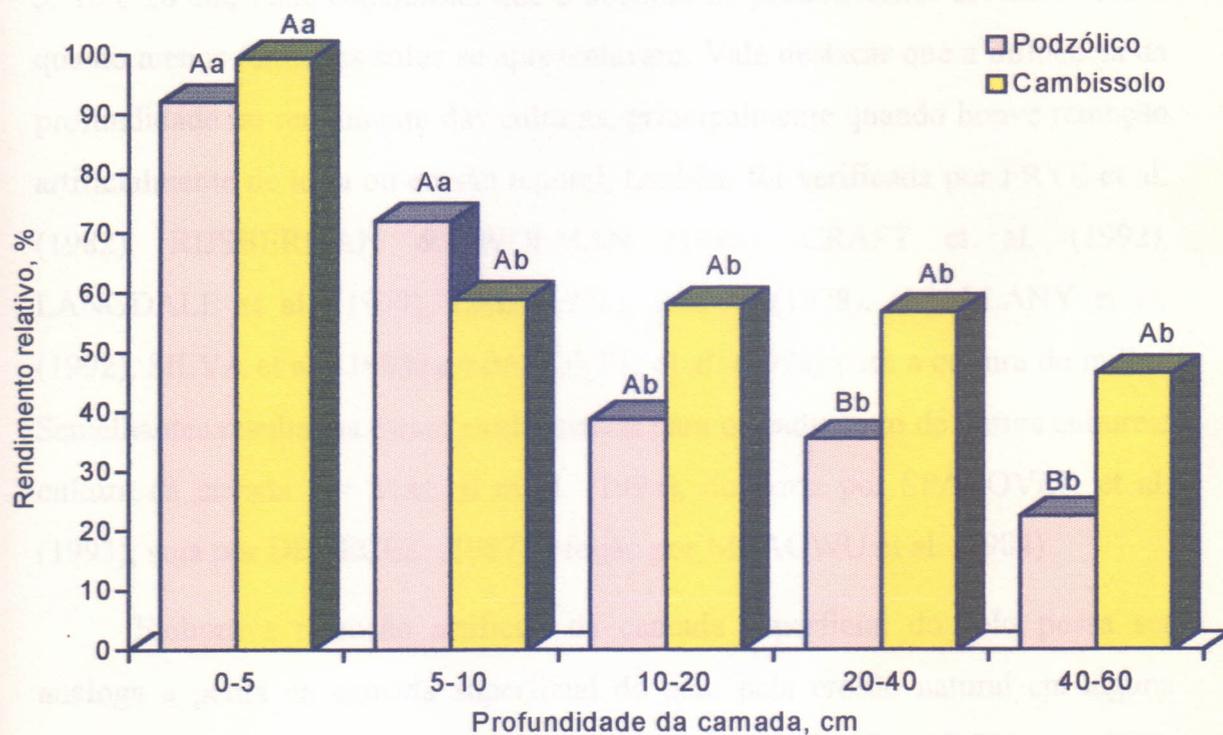
cálcio. Assim, na presença de altos teores de potássio ou cálcio, a assimilação de magnésio pela planta é menor (JORGE, 1983). Comparando-se pelo teste de Tukey a 5%, os valores médios por solo em cada profundidade, verifica-se que o Cambissolo destaca-se apenas na profundidade de 0-5 cm. O PE apresenta maiores quantidades extraídas na camada de 0-5 cm e 5-10 cm, as quais não diferenciam-se entre si.

4.5 Rendimento relativo das culturas em camadas de solo removidas artificialmente.

4.5.1. Milho

O QUADRO 17 do APÊNDICE 3, mostra o efeito da erosão simulada no rendimento da cultura do milho cultivado em camadas de diferentes profundidades.

O Cambissolo eutrófico proporcionou maior rendimento de matéria seca do que o obtido no Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, exceto para a camada 5 - 10 cm (FIGURA 8). O rendimento do milho diminuiu com o aumento da profundidade da camada superficial do solo removida em ambos os solos. Em função da variação observada nos atributos químicos, só houve diferença significativa de rendimento relativo na profundidade 0 - 5 cm do Cambissolo e a partir da camada 10 - 20 cm no Podzólico, ou seja, o rendimento máximo em biomassa foi conseguido nas camadas mais superficiais para ambos os solos. O maior declínio de rendimento aconteceu no Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, onde o nível mais baixo atingido foi no tratamento com remoção da camada à profundidade de 40 - 60 cm. Comparando-se estes extremos de profundidade das camadas removidas, a redução no PE foi da ordem de 75,7%



NOTA Barras com letras maiúsculas (entre solos) e minúsculas (entre profundidades) não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

FIGURA 8 Rendimento relativo do milho nas cinco camadas dos dois solos.

enquanto no Ce de 53,4%. Decréscimo no rendimento de grãos de milho e feijão, também foram observados em parcelas no campo por MBAGWU et al. (1984) como consequência da remoção artificial de camadas da superfície do solo de 0, 5, 10 e 20 cm, onde concluíram que o declínio na produtividade foi mais severo quanto menos férteis os solos se apresentavam. Vale destacar que a influência da profundidade no rendimento das culturas, principalmente quando houve remoção artificialmente de terra ou erosão natural, também foi verificada por FRYE et al. (1982), RIJSBERMAN & WOLMAN (1985), CRAFT et al. (1992), LANGDALE et al. (1979), LAL (1976), REHM (1978), GOLLLANY et al. (1992), SILVA et al. (1985) e SPAROVEK et al. (1991) para a cultura do milho. Semelhantes resultados foram evidenciados para o rendimento de outras culturas: cultura da cevada por MALHI et al. (1994), do arroz por SPAROVEK et al. (1993), soja por DEDECEK (1987) e feijão por MBAGWU et al. (1984).

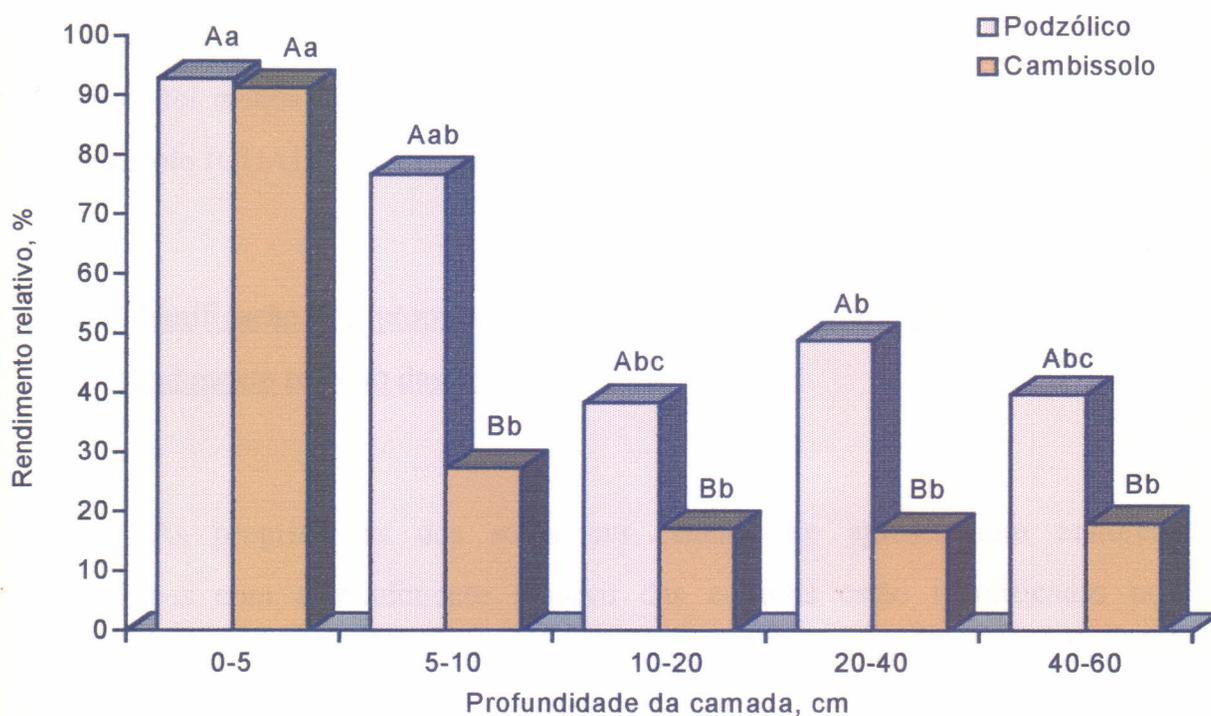
Embora a remoção artificial da camada superficial do solo possa ser análoga a perda da camada superficial do solo pela erosão natural em alguns aspectos, conforme ressaltam (NATIONAL SOIL EROSION - SOIL PRODUCTIVITY RESEARCH, PLANNING COMMITTEE, 1981), a remoção artificial de camadas de solo superficial subestimam o efeito da redução da produção por erosão (BLACK & SIDDOWAY, 1971 citados por RIJSBERMAN & WOLMAN, 1985). A explicação seria a ação seletiva da erosão que carrega as partículas mais finas ou mais leves e férteis do solo: argila e matéria orgânica (DEDECEK et al., 1986). Por outro lado, o presente estudo, ao detectar o potencial produtivo das camadas do solo, isolando-as das outras a eles sobrejacentes e subjacentes, confirma os resultados dos autores acima citados, no que se refere à influência que camadas superficiais mais férteis exercem no aumento da produtividade dos solos. Demonstra também, como em solos cearenses de importância agrícola, a exposição de camadas mais profundas e pobres em nutrientes promove o declínio acentuado do rendimento das culturas. Entretanto, devem ser reconhecidas as limitações do método aqui utilizado com

referência às condições artificiais de desenvolvimento das plantas em amostras de solos com estrutura deformada e confinadas num volume reduzido e sem as interações proporcionadas pelas camadas misturadas durante o preparo do solo em condições naturais de cultivo no campo. Esses fatores caracterizam dessa forma, a importância relativa dos dados (LAL, 1988).

4.5.2 Feijão

Os efeitos da remoção artificial de camadas de solo sobre o rendimento relativo (R%) da cultura do feijão encontram-se no QUADRO 18 no APÊNDICE 3. Analisando-se o comportamento de cada solo em relação à profundidade, constata-se pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, que não houve diferença significativa no rendimento relativo obtido na profundidade 0 - 5 cm para o PE e Ce. Nas demais profundidades o R(%) foi superior no PE. Nas camadas superficiais de 0 - 5 e 5 - 10 cm ocorreu um maior contraste de rendimento relativo entre as camadas, verificando-se uma tendência de os valores se uniformizarem em camadas mais profundas (FIGURA. 9). O Cambissolo apresentou uma queda brusca do rendimento relativo que se estabilizou num patamar mais baixo após 10 cm de remoção, verificando-se diferença significativa apenas na profundidade 0 - 5 cm, o que corrobora a afirmativa de POWER et al. (1981) de que a camada superficial é um importante indicativo para avaliação da qualidade e produtividade dos solos.

O PE apresentou decréscimo do rendimento menos severo, correspondente a 57,2% comparado aos 80,3% do Cambissolo. Todavia, a camada de 0 - 5 teve seu rendimento equiparado à de 5 - 10 e distinto das camadas mais profundas. Tal resultado é semelhante ao encontrado por SPAROVEK et al. (1993) para a cultura do arroz, onde constatou maior queda no rendimento nos solos considerados de elevado potencial produtivo. A queda



NOTA Barras com letras maiúsculas (entre solos) e minúsculas (entre profundidades) não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

FIGURA 9 Rendimento relativo do feijão nas cinco camadas dos dois solos.

acentuada da camada superficial e conseqüente exposição de camadas de solo de menor fertilidade, mesmo com medidas corretivas de acidez e adubação das culturas, também foi observada por DEDECEK (1987).

Considerando-se a magnitude de redução dos rendimentos para a cultura do feijão e milho em cada solo, constata-se que o efeito da remoção da camada superior foi menos drástico para o feijão no solo Podzólico e para o milho no Cambissolo (QUADROS 17 e 18 do APÊNDICE 3).

4.6 Identificação de propriedades dos solos de maior correlação com o rendimento relativo das culturas

As propriedades dos solos em estudo que apresentaram maiores correlações com o rendimento relativo das culturas estão identificadas no QUADRO 19, sob forma de equações de regressão relacionadas ao conjunto de camadas (0 - 60 cm) nas quais seus efeitos foram analisados.

Com relação ao Podzólico, para ambas as culturas, a matéria orgânica foi a propriedade que apresentou a maior correlação positiva com o rendimento relativo ($r = 0,94$ para o milho e $r = 0,89$ para o feijão). Contudo, a adição do efeito do Ca ($r = 0,37$), para a cultura do feijão aumentou ainda mais o coeficiente de determinação da equação de regressão múltipla (QUADRO 19). Resultado análogo foi obtido por SPAROVEK et al. (1993), que detectou grande influência da matéria orgânica na definição do rendimento relativo (R%) do arroz na profundidade de 0-10 cm. Reconhecida a grande importância da matéria orgânica na produtividade do solo, pelas melhorias químicas e físicas que proporciona, outros trabalhos mostram a relevante função que desempenha este constituinte do solo na recuperação do potencial produtivo de solos erodidos, onde atribuem a melhor recuperação da produtividade ao uso conjunto de

adubação orgânica e mineral que apenas com adubação mineral (CARLSON et al. 1961, OLSON 1977, SPAROVEK et al., 1991).

Com referência ao Cambissolo, também em ambas as culturas, a matéria orgânica apresentou significativa correlação com o rendimento relativo, $r = 0,82$ e $r = 0,97$ para o milho e feijão, respectivamente.

Entretanto, os efeitos do K e do P disponíveis apresentaram correlação ainda maior, $r = 0,84$ e $r = 0,98$ para o milho e feijão, respectivamente. Isso levou ao ajuste das equações de regressão, onde os maiores coeficientes de determinação foram encontrados para as equações apresentadas no QUADRO 19.

Essas correlações do menor rendimento relativo com os teores de nutrientes gradativamente menores à medida que as culturas são expostas às camadas mais profundas do subsolo quando ocorre erosão, também em condições de campo, acentua a importância dos resultados obtidos no presente estudo. Isso, porque a recuperação da produtividade de solos erodidos vem sendo executada principalmente com o uso de fertilizantes minerais (ENGELSTAD & SHRADER, 1961; BATCHELDER & JONES, 1972; OLSON, 1977; MASSEE & WAGONNER, 1985; ECK, 1987). Um problema que surge no entanto é em que extensão a aplicação de fertilizantes isoladamente supera a redução no rendimento das culturas causada pelos efeitos da erosão, visto que a demanda de fertilizantes aumenta gradativamente com o aumento dos níveis de erosão (MALHI et al., 1994). Neste sentido, DEDECEK (1987) alerta para a perda progressiva da eficiência da adubação à medida que aumenta a espessura da camada arável perdida, tendendo a uma estabilização quando se aproxima dos 20 cm de corte do solo. A adoção de tal prática leva a um aumento dos custos de produção com conseqüentes perdas econômicas para os produtores que cultivam solos erodidos (LANGDALE et al., 1979; SILVA et al., 1985).

QUADRO 19 Equações de regressão entre o rendimento relativo (R%) das culturas e os teores de matéria orgânica e nutrientes dos solos para o grupo de camadas à profundidade de 0 - 60 cm.

Cultura	Solo	
	PE	Ce
Milho	$R\% = -0,149 + 55,48 \text{ M.O.}$ $R^2 = 88,8^{***(1)}$	$R\% = -201,283 + 227,750 \text{ K}$ $R^2 = 70,7^{***}$
Feijão	$R\% = -28,213 + 43,052 \text{ M.O.} + 45,958 \text{ Ca}$ $R^2 = 92,5^{***}$	$R\% = 3,536 + 12,495 \text{ P}$ $R^2 = 97,8^{***}$

(1):*** = significativo ao nível de 0,01%

5 CONCLUSÕES

Tomando por base os resultados obtidos e as condições em que foi executado o presente trabalho, pode-se inferir as seguintes conclusões:

1. O desenvolvimento das culturas do milho e feijão foi afetado pela profundidade de remoção da camada superficial, verificando-se atraso na emergência das plantas, redução na altura das plantas e menor produção de matéria seca com o incremento da profundidade em ambos os solos estudados;
2. A maior resistência à erosão, caracterizada pelos valores mais baixos da erodibilidade, verificaram-se nas camadas superficiais, 5 - 10 cm no Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico e 0 - 5 cm no Cambissolo eutrófico. Nas camadas do subsolo do Podzólico a erodibilidade aumentou drasticamente em função do aumento de profundidade. No subsolo do Cambissolo, o fator K apresentou um leve acréscimo até a camada de 40 - 60 cm, quando seu valor igualou-se ao da camada de 0 - 5 cm;
3. O teor de argila aumentou gradualmente da profundidade de 0 - 5 cm para 40 - 60 cm de 14% para 35% e de 21% para 50%, para o Podzólico e Cambissolo, respectivamente, influenciando o aumento do conteúdo de água útil de 4,6% para 7,3% e de 5,8% para 7,1% nesses mesmos solos e profundidades das camadas;
4. Os incrementos nos teores de argila e nos teores de água útil com a profundidade não foram suficientes para aumentar o desenvolvimento e rendimento em matéria seca das culturas em ambos os solos, posto que foram acompanhados por um decréscimo de 85,5% e 52,6% no conteúdo de matéria orgânica e soma de bases trocáveis respectivamente no Cambissolo na camada de 0 - 5 cm para a de 40 - 60 cm. Nessa ordem e para os mesmos

atributos os decréscimos foram de 81,1% e 64% no Podzólico, o qual por apresentar maior teor de areia que o Cambissolo em todas as camadas e menores teores de matéria orgânica, apresentou valores de capacidade de troca de cátions cerca de 3 vezes menores;

5. A extração de N, P, K, Ca e Mg medida pelos seus conteúdos na parte aérea das plantas, apresentou tendência decrescente à medida que camadas gradualmente mais profundas eram expostas ao cultivo, diminuindo, proporcionalmente, o rendimento relativo do milho e feijão. Esse declínio na produtividade de ambos os solos refletiu a crescente escassez daqueles nutrientes, detectadas em cada camada a partir da profundidade de 0 - 5 cm onde eram maiores os rendimentos relativos da plantas, os teores de nutrientes e as percentagens de matéria orgânica até a camada de 40 - 60 cm onde todos esses parâmetros apresentavam os menores valores;
6. A produtividade dos dois solos estudados, medida pelo rendimento das plantas foi substancialmente reduzida com a remoção da camada superficial do solo. Para a cultura do milho o declínio na produtividade foi mais severo no Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (75,7%) que no Cambissolo eutrófico (53,3%). A melhor performance da cultura do feijão com a remoção artificial ocorreu no PE com 57,1% de redução no rendimento contra 80,3% no Cambissolo;
7. Considerando o rendimento relativo em função do conjunto de camadas expostas ao cultivo, a matéria orgânica em ambos os solos e os teores de K e P foram as propriedades que apresentaram mais altas correlações com a produtividade.
8. A redução da produtividade, seus decréscimos em nutrientes e matéria orgânica e o aumento de suas erodibilidades a partir de 5 cm no Cambissolo e de 10 cm no Podzólico são fatores que enfatizam a urgente necessidade de controle da erosão no sentido de conservar a camada arável desses solos, evitando a exposição de camadas mais profundas e cada vez mais desfavoráveis ao cultivo e desenvolvimento das plantas.

6 LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, E. C. DE, FERNANDES, B. NOVAES, R.F. et al. Efeito de faixas de potencial matricial sobre o crescimento do milho em casa de vegetação. R. bras. Ci. Solo, Campinas, v.9, p. 271-276, 1985.
- ANGULO, R. J., ROLOFF, G., SOUZA, M.L.P. Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros R. bras. Ci. Solo, Campinas, v. 8, n.1, p. 133-138, jan./abr. 1984.
- AYRES, A.C. La erosion del suelo y su control Barcelona: Omega, 1960. 441p.
- BATCHELDER, A. R. JONES, J.N. Jr. Soil management factors and growth of Zea mays L. on topsoil and exposed subsoil. Agron. J. v. 64, p. 648-652, 1972.
- BAUER, A., A.L. BLACK. Organic carbon concentration effects on available water capacity of the soil textural groups. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v. 56, p-248-254, 1992.
- BAUER, A., BLACK, A. L. Quantification of the Effect of Soil organic matter content on Soil productivity. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.58, n.1 p. 878-883, 1994.
- BENNETT, H.H. Soil conservation New York: Mcgraw-Hill, 1939.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F., BENATTI JUNIOR R. Equação de Perdas de Solo Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 25 p. (Boletim Técnico,21).
- BONO, J.A.M. ASSIS, R.P., BAHIA, V.G. et al. Avaliação do rendimento da cultura do milho em função das perdas de solo por erosão em três solos de Lavras (MG). IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia. Resumo ... Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 330 p. p. 167-168.

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Recife: D.P.P/SUDENE, 1973.
- CARLSON, C. W, GRUNES, D. L, ALESSI, J. et al. Corn growth on gardena surgace and Subsoil as effected by applications of fertilizer and manure. Soil Sci. Soc. of Am. Proc., Madison, v.25, p. 44-47, 1961.
- CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J. et al. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade do solo R. bras. Ci. Solo., Campinas., v. 13, n. 2, p.237-242, mai./ago. 1989.
- CARTER, D. L., BERG, R. D., SANGERS, B. J. The effect of furrow irrigation erosion on crop productivity. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, v. 49, p. 207-211, 1985.
- CRAFT, E.M. CRUSE, R. M., MILLER, G.A. Soil Erosion Effects on Corn Yields Assesed by Potential Yield Index Model. Soil Sci Soc. Am. J., Madison, v.56, n.3, p.878-883, 1992.
- DA SILVA, I de F., ANDRADE, de A.P. CAMPOS FILHO, O.R. et al. Efeito de diferentes coberturas vegetais e de práticas conservacionistas no controle da erosão. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v. 10, n. 3, p. 289-292, set./out. 1986.
- DA SILVA, I. F., CHAVES, I. B., MONTENEGRO, J. O. Erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3, Recife. Anais... Recife: SBCS/UFR - PE/SUDENE/EPPA, 1981. p. 192-199.
- DANIELS, R. B., GILLIAM, J.W, CASSEL, D.K. et al. Quantifying the effects of past soil erosion on present soil productivity. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, v. 42, n.3, p. 183-186, 1987.

- DANIELS, R.B., GILLIAM, J.M., CASSEZ, D.K. et al. Soil erosion has limited effect on field scale crop productivity in Southern Piedmont. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.53, p. 917-920, 1989.
- DEDECEK, R. A. Perdas de solo, água e nutrientes sob chuva natural num Latossolo Vermelho Escuro de Brasília, DF. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, RS. 1978. Anais...Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1978. p.297-310.
- DEDECEK, R.A. Características físicas e fator de erodibilidade de Oxissolos do Rio Grande do Sul. I. Unidades Erechim, Passo Fundo e Santo Angelo. Porto Alegre: 1974. 130p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DEDECEK, R.A. Efeitos das perdas e deposições de camadas de solo na produtividade de um Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v.11, n.3, p.323-328, 1987.
- DEDECEK, R.A., RESCK, D.V.S., FREITAS, J.R. et al. Perdas de solos, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados em Diferentes Culturas sob chuva natural. R. bras. Ci. Solo, Campinas, v.10, p.265-272, 1986.
- DULEY, F.L. The loss of Soluble Salts in runoff water. Soil Sci. v. 21, p. 401-409, 1926.
- ECK, H.V. Characteristics of exposed subsoil - at exposure and 23 years later. Agron. J., v. 79, p. 1067-1073, 1987.
- ECK, HAROLD V. Effect of Topsoil Removal on Nitrogen - Supplying Ability of Pullman Silty clay loam. Soil Sci. Soc. Am. Proc. v. 32, p. 686-691, 1968.
- ECK, HAROLD. V., FORD. R.H. Restoring productivity on exposed subsoils J. Soil and Water Cons, Madison, v. 17, p. 274-275, 1962.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979.

→ ENGELSTAD, O. P., W.D. SHRADER. The effect of surface soil thickness on corn Yields: II As determined by an experiment using normal surface soil and artificially - exposed subsoil. Soil Sci Soc. Am. Proc., Madison, v. 25, n. 6, p. 497-499, 1961.

ESTADOS UNIDOS. U.S.D.A. Soil Survey Staff. Soil Taxonomy. A basic System of Soil Classification for making and interpreting soil surveys. Washington, 1975, 734 p.

FOSTER, G.R., McCOOL, D.K., RENARD, K.G. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric UNITS. J. Soil Wat Conserv., Ankeny, v. 36, n.6, p. 355-359, 1981.

→ FREIRE, W.J. Avaliação do potencial de erodibilidade de um solo tratado com aditivos químicos. Rev. de Agricultura, v. 59, n.1, p.35-47, 1984.

→ FRYE, W. W., EBELHAR, S.A., MURDOCK, L.W. et al. Soil Erosion Effects on Properties and Productivity of Two Kentucky Soils Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v. 46, n.5 p. 1051-1055, 1982.

→ GANTZER, C.L. McCARTY, T.R. Corn yield prediction for a claypan soil using a productivity index. In: Erosion and soil productivity, 1984. p.170-181 (ASAE Publication 8-85).

GOLLANY, H. T., SHCUMACHER, T.E., EVENSON, P.D. et al. Aggregate Stability of an Eroded and Desurfaced Typic Argiustoll. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.55, n.3, p. 811-816, 1991.

→ GOLLANY, H.T., SCHUMACHER, T.E., LINDSTROM, M. J. et al. Topsoil Depth and Desurfacing Effects on Properties and Productivity of a Typic Argiustoll. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.56, n.1 p. 220-225, 1992.

- GROHMANN, F. Distribuição e Tamanho de Poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, v.19, n.21, p.319-328, 1960.
- GROHMANN, F., VERDADE, F. da C., MARQUES, J. Q. de A. Perdas de elementos nutritivos pela erosão: II. Elementos minerais e carbono. Bragantia, Campinas, v. 15, n. 27, p. 361-371, nov. 1956.
- GROHMANN, F., MEDINA, H.P. Características de umidade dos principais Solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, v.21, n.18, p.285-295, 1962.
- GUERRA, M., CASSOL, E. A., ELTZ, F.L.P. Perdas de solo e água por erosão sob diferentes manejos de solos e coberturas vegetais em Latossolo Roxo distrófico (Unidade de Mapeamento Santo Angelo): resultados preliminares. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais... Passo Fundo, EMBRAPA/CNPT, 1978. p. 203-208.
- HUDSON, N. Soil Conservation. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1981. 324 p.
- ⇒ IVES, R. M., SHAYKEWICH, C. F. Effect of simulated soil erosion on wheat yields on the humid Canadian prairie. J. Soil Water Conserv. Madison, v. 42, p. 205-208, 1987.
- JORGE, J.A. Solo: manejo e adubação; compêndio de edafologia. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1983. 307 p. Cap.4: O Potássio.
- JORGE, J.A. Solo: manejo e adubação; compêndio de edafologia. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1983. 307 p. Cap.5: O cálcio, magnésio e o pH do solo.
- KOHNKE, H., BERTRAND, A. R. Soil conservation as a problem of humanity. In: KOHNKE, H., BERTRAND, A. R. (ed.) Soil Conservation New York: McGraw-Hill, 1959, p. 1-26.

- KRAUSS, H.A., ALLMARAS, R.R. Technology masks the effects of Soil erosion and wheat yields, a case Study in Whiteman Cauntry, Washington. In: SHMIDT, B.L. (ed). Determinants of Soil loss tolerance. Madison: ASA and SSSA, 1982. p. 75-86 (Asa Spec. Publ. 45).
- LAGO, J. C., MARGOLIS, E. Erodibilidade de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico, pelos métodos da chuva natural e simulador de chuvas, no Sertão de Pernambuco. Revista Agros, Pelotas, v. 20, n. 1/4, p. 25-36, 1985.
- LAL, R. Effective conservation farming systems for the humid tropics. IN: KUSSOW, w. (ed) et al. Soil erosion and conservation in the tropic. Madison: Am. Soc. of Agronomy, 1982, p. 57-76.
- _____. Monitoring Soil erosion's impact on crop productivity. In R. LAL ed. Soil erosion research methods. SWCS. Ankeny, 1988 p. 187-200.
- _____. Soil erosion problems on Alfisols in western Nigeria VI Effects of erosion on experimental plots. Geoderma, v. 25, p. 215-230, 1981.
- _____. Soil erosion problems on Alfisols in western Nigeria Geoderma v.16, p. 363-431, 1976.
- LANGDALE, G.W., BOX, J.E., LEONARD, R.A et al. Corn Yield reduction on eroded Southern Piedmont Soils. Journal of Soil and Water conservation, Ankeny, v.34, n.5, p.226-228, 1979.
- LANGDALE, G.W. SHRADER, W.D. Soil erosion effects on soil productivity of cultivated cropland. In: SCHMIDT, B.H et al. Determinants of soil loss tolerance. Madison: ASA and SSSA, 1982. p. 41-52 (ASA Spec. Publ. 45).
- LEITE, J. A., CAVALCANTE, L. F., MEDINA, B. F. et al. Fator de Erodibilidade de quatro solos do município São Mamede-PB, Brasil. Pesquisa agropec. bras., Brasília, v. 17, n.2, p. 319-321, fev. 1982.

- LEMOS, P., LUTZ, J. F. Soil crusting and some factors affecting it. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 21, p. 485-491, 1957.
- LIMA, J.M. Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG). Lavras, 1987. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1987.
- LIMA, P. M. de P., BAHIA, V. G., CURI, N., et al. Princípios de Erodibilidade do Solo. Inf. Agropec., Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 38-43, mar, 1992.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Ceres, p. 30-63. 1976.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S. A. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e aplicações Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MALHI, S.S., IZAURRALDE, R.C., NYBORG, M. et al. Influence of topsoil removal on soil fertility and barley growth. J. Soil and Water Cons., Ankeny, v. 49, n.1, p. 96-101, 1994.
- MANNERING, J.V. Apresentação de programas de pesquisa em conservação do solo nos Estados Unidos. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 1., Londrina, 1975. Anais... Londrina, EMBRAPA/IAPAR, 1975. p. 73-106.
- MARGOLIS, E., CAMPOS FILHO, O.R. Determinação dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo num Podzólico Vermelho-Amarelo de Glória do Goitá. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3, Recife. Anais... Recife: SBCS/UFRPE/SUDENE/EPPA, 1981. p. 239-350.

- MARTINS FILHO, E. C., SILVA, J.R.C. Comparação de Métodos de Avaliação da Erodibilidade em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v. 9, p. 175-177, maio/ago. 1985.
- MASSEE, T.W., WAGNONNER, HO.O. Productivity losses from soil erosion on dry cropland in the intermountain area. J. Soil Water Conserv., Madison, v.40, p.447-454, 1985.
- MBAGWU, J. S. C. Subsoil productivity of an Ultisol in Nigeria as affected by organic wastes and inorganic amendments. Soil Sci., Baltimore, v.140, n.6, p. 436-441, 1985.
- MBAGWU, J. S.C., LAL, R., SCOTT, T.W. Effects of Desurfacing of Alfisols and Ultisols in Southern Nigeria: I Crop Performance. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, v. 48, p. 828-833, 1984.
- MIDDLETON, H.E., SLATER, C.S., BYERS, H.G. The physical and chemical characteristics of soils from the erosion experiment station. Tech Bul of U.S. D.A., v. 430, p. 18-58, 1934.
- MILLER, M. F. Waste through Soil erosion Jour. Amer. Soc. Agron, v. 18, p. 153-160, 1926.
- MILLER, M.F., KRUSEKOPH, H.H. The influence of Systems of cropping and methods of culture on surgance runoff and Soil erosion. Res. Bul. of Mo. Agr. Exp. Sta, v. 177, p.24-25, 1932.
- MOKMA, D.L., SIETZ, M.A. Effects of Soil Erosion on Corn Yeilds on Marlette Soils in South - Central Michigan. J. Soil and Water Cons. Ankeny, v. 47, n.4, p. 325-327, 1992.
- MONDARDO, A., HENKLAIN, J. C., FARIAS, G.S., et al. Perdas por erosão em culturas anuais, em sistema de preparo convencional e plantio direto, usando simulador de chuva. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais...Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1978. p.249-251.

→ NATIONAL Soil Erosion - Soil Productivity Research Planning Committee, Science and Education Administration. Soil erosion effects on Soil productivity: a research perspective. Journal of Soil and Water Conservation, v. 36, n.2, p. 82-90, mar./apr. 1981.

→ NEAL, O.R. The influence of Soil erosion on fertility losses and on potato yeild. Amer. Potato. Jour. v.20, p.57-64, 1934.

OLIVEIRA, J.B., SILVA, J.R.C. Efeitos do manejo do solo na erosão do Podzólico Vermelho-Amarelo equivalente eutrófico e Planossolo Solódico da microrregião homogênea 68 do Ceará. R. bras. Ci. Solo, Campinas, v.6, n.3, p. 231-235, set./out. 1992.

OLIVEIRA, V. H. de, BAHIA, V. G. Erodibilidade de seis solos do município de Lavras - MG, usando o método do nomograma. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 19, n.9, p. 1157-1162, set. 1984.

→ OLSON, T. Restoring the productivity of a glacial till soil after topsoil removal. Journal of Soil and Water Conservation, Madison, v.32, n.3, p. 130-132, 1977.

→ PETERSEN, G. W., CUNNINGHAM, R.L., MATELSKI, R.P. Moisture characteristics of Pennsylvania Soils. I. Moisture retention as related to texture. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 32, n.2 p.271-275, mar/apr. 1968.

PETERSEN, G. W., CUNNINGHAM, R.L., MATELSKI, R.P. Moisture characteristic of Pennsylvania Soils. II Soil factors affecting moisture retention withim a textural class - silt - loam. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v. 32, n.6, p. 866-870, nov./dez. 1968.

→ POWER, J.F., RIES, R.E., F.M. SANDOVAL. et al. Factors restricting revegetation of stripmine spoils. In: CLARK, W. F. (ed.) PROC. FORT UNION COOLFIELD SYMPOSIUM. MONT. ACAD. SCIENCE, Billings, Mont. Anais... Billings, Mont. p. 346-366, 1975.

- POWER, J.F., SANDOVAL, F.M., RIES, R.E et al, Effect of Topsoil and Subsoil Thickness on soil water content and crop production on a disturbed soil. Soil Sci Soc. Am. J. Madison, v. 45, n.1 p. 124-129, 1981.
- PROJETO Jaguaribe - Apodi; levantamento detalhado de solos (pedologia). Fortaleza: UFC, 1987. 38p.
- RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p. cap. 9: Nitrogênio.
- _____. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p. cap. 10: Fósforo.
- RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p. cap. 11: Potássio.
- _____. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p. cap. 12: Macronutrientes secundários.
- REHM, S. Land development in the humid tropics. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FUR AGRAR - ME CHANISERUNG DER DTSCH, Landwirtsch. Ges Frankfurt, 1978.
- RESCK, D.V.S., FIGUEIREDO, M. de S., FERNANDES, B., et al. Intensidade de Perdas de nutrientes em um Podzólico Vermelho-Amarelo, utilizando-se simulador de chuvas. R. bras. Ci. Solo, Campinas, v.4, p. 188-192, 1980.
- RESENDE, M. Aplicações de Conhecimentos Pedológicos à conservação de solos. Inf. Agropec., Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 3-18, ago. 1985.
- RHOTON, F. E, TYLER, D.D. Erosion - Induced changes in the properties of a Fragipan Soil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v,54, n.1 p. 225-228, 1990.
- RHOTON, F. E. Soybean Yield Response to various depths of Erosion on a Fragipan Soil. Soil Sci. Soc. Am. J. Madison, v. 54, n.4, p. 1073-1078, 1990.

- RIJSBERMAN, R., WOLMAN, M.GORDON. Effect of erosion on soil productivity: An international comparison. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, v. 40, n. 5, p 349-354, 1985.
- ROMKENS, M. J. M., PRASAD, S. N., POESEN, J. W.A. Soil erodibility and properties. In CONGRESS OF THE ISSS, 8, Hamburg. Anais ... Hamburg, 1987, P. 492-503.
- SALTER, P.J., BERRY, G., WILLIAMS, J.B. the Influence of texture on the moisture characteristics of Soils. III. Quantitative relationships between particle - Size, composition, and available - water capacity. Journal of Soil Science, Edinburgh, v.17, n.1, p.93-98, 1966.
- SCARSETH, GEORGE D., W.V. CHANDLER. Losses of phosphorus from a light textured soil in Alabama and its relation to some aspects of soil conservation. Jour. Amer. Soci. Agron. v. 30, p. 361-374. 1938.
- SILVA, J.R.C. Erodibilidade dos Solos do Ceará - Distribuição espacial e avaliação de métodos para sua determinação. Fortaleza, 1994, 60p. Tese (Professor Titular) - Universidade Federal do Ceará, 1994.
- SILVA, J.R.C., COELHO, M.A., MOREIRA, E.G.S. et al. Efeitos da erosão na produtividade de dois solos da classe Latossolo Vermelho-Amarelo. Ciê. Agron., Fortaleza, v. 16, n. 1 p. 55-63, jun., 1985.
- SILVA, J.R.C., ACCIOLY, A.A., MINDELLO NETO U.R. Erosão versus produtividade do solo com e sem adubos químicos. In: ENCONTRO UNIVERSITÁRIO DE INICIAÇÃO À PESQUISA, 14. Universidade Federal do Ceará/PPPG, Fortaleza. 1995. p. 215.
- SOIL SURVEY STAFF. Keys to soil taxonomy. 3rd. Ed. Ithaca, Ny, 1987. 280 p. (SMSS Technical Monography, 6).

- SPAROVEK, G., LIER VAN JONG, Q., ALOISI, R.R. Previsão do Rendimento de uma cultura em solos de Piracicaba em função da erosão Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v. 17, p. 465-470, set./out. 1993.
- SPAROVEK, G., TERAMOTO, E.R., TORETA, D.M. et al. Erosão simulada e a produtividade da cultura do milho Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v.15, p.363-360, 1991.
- SUAREZ DE CASTRO, F. Conservación de Suelos. 3.ed. San José, Costa Rica: IICA, 1980. 315 p.
- SWANSON, E.R., HARSHBARGER, C.E. An economic analysis of effects of soil loss on crop yields. J. Soil Water Conserv., Madison, v. 19, p.183-186, 1964.
- TANAKA, D.L., AASSE, J.K. Influence of Topsoil Removal and Fertilizer Application on Spring Wheat Yields. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v. 53, n.1, p. 228-232, 1989.
- TEDESCO, M.J., VOLKWEISS, S.J., BONHEN, H. Análises de Solo, Plantas e outros materiais UFRGS: Porto Alegre, 1985. 188 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- VIEIRA, M.J., COGO, N.P., CASSOL, E.A. Perdas por erosão nos diferentes sistemas de preparo do solo para a cultura da soja (Glycine max), em condições de chuva simulada. R. bras. Ci. Solo, Campinas, v. 2, p. 209-214, set./dez. 1978.
- WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C. B., CROSS, B.V. A Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, v. 26., n.5, p. 189-193, sept./oct. 1971.
- YOST, R.S., E-SWAIFY, S. A., DANGLER, E.W. The influence of simulated soil erosion and restorative fertilization on maize production in an Oxisol. IN: INT. CONF. ON SOIL EROSION AND CONSERVATION, Honolulu. Anais... Honolulu, 1985. p.16-22.

APÊNDICES

DESCRIÇÃO DO PERFIL

PERFIL Nº 1

Localização: Rodovia Transbrasiliana, km 100, município de São Paulo, Estado de São Paulo.

Características: Perfil de 100 m, situado no município de São Paulo, Estado de São Paulo.

Situação Topográfica: Perfil de 100 m, situado no município de São Paulo, Estado de São Paulo.

Altitude: 100 m

APÊNDICE 1. Descrição dos perfis

Perfil Nº 1: Perfil de 100 m, situado no município de São Paulo, Estado de São Paulo.

Perfil Nº 2: Perfil de 100 m, situado no município de São Paulo, Estado de São Paulo.

Perfil Nº 3: Perfil de 100 m, situado no município de São Paulo, Estado de São Paulo.

Perfil Nº 4: Perfil de 100 m, situado no município de São Paulo, Estado de São Paulo.

Perfil Nº 5: Perfil de 100 m, situado no município de São Paulo, Estado de São Paulo.

Perfil Nº 6: Perfil de 100 m, situado no município de São Paulo, Estado de São Paulo.

Perfil Nº 7: Perfil de 100 m, situado no município de São Paulo, Estado de São Paulo.

DESCRIÇÃO DO PERFIL

PERFIL Nº 1

- Classificação:** Podzólico Vermelho Amarelo equivalente eutrófico abrupto A moderado textura arenosa/média, ou Oxic Haplustalf.
- Localização:** Estado do Ceará, Município de Fortaleza, distando aproximadamente 40 m da Estação Agrometeorológica do CCA da UFC.
- Situação e Declive:** Trincheira aberta em pastagem natural de gramíneas com aproximadamente 3% de declive.
- Altitude:** 20 m.
- Material Originário:** Grupo Barreiras.
- Relevo:** Local: Plano.
Regional: Suavemente ondulado.
- Erosão:** Sem erosão aparente.
- Drenagem:** Bem drenado.
- Vegetação:** Local: Gramíneas (capim de burro)
Regional: Caatinga hipoxerófila.
- Uso atual:** Sem uso atual.

A 0 - 9 cm, bruno (10YR 4/3), bruno acinzentado escuro (10YR 4/2), bruno acinzentado (10YR 5/2), bruno acinzentado (10YR 5/2); areia franca; moderada, grande granular; muitos poros, pequenos e médios; ligeiramente duro, muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e abrupta.

AB 9 - 37 cm, bruno escuro (10YR 3/3), bruno escuro (10YR 3/3), cinzento brunado claro (10YR 6/2), cinzento brunado claro (10YR 6/2); franco arenoso; moderada, grande em blocos subangulares: poros comuns e

pequenos: ligeiramente duro, friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

BT1 37 - 84 cm bruno amarelado (10YR 5/6), bruno amarelado (10YR 5/4), bruno amarelado claro (10YR 6/4), bruno amarelado claro (10 YR 6/4); franco argiloso; moderada grande em blocos angulares; poucos poros e pequenos; duro, friável, plástico e pegajoso: transição irregular e clara.

Bt2 84 - 119 cm + . bruno amarelado (10YR 5/6). bruno amarelado (10 YR 5/8), amarelo (10 YR 7/6), amarelo (10 YR 7/6); argila arenosa; forte, grande em blocos angulares; poucos poros, pequenos e muito pequenos; muito duro, firme, muito plástico e muito pegajoso.

Raízes: Abundantes em A1: comuns em A3 e B21; raras em B22.

Fatores Biológicos: Presença de formigas ao longo do perfil.

Examinadores: F.O.B. Mota e P.S.L. Silva.

DESCRIÇÃO DO PERFIL

PERFIL N^o 2

Classificação: Cambissolo eutrófico profundo Tb A moderado textura média a argilosa cascalhenta fase caatinga hiperxerófila relevo plano substrato calcário Typic Camborthid.

Localização: Estado do Ceará - Quixeré - Chapada do Apodi - Estrada da Lagoa da Casca - Cabeça.

Situação e Declive: Praticamente plano - 0 - 2% de declive.

Litologia e Formação Geológica: Formação Jandaíra.

Material Originário: Calcário.

Relevo Regional: Plano

Erosão: Sem erosão aparente a laminar ligeira.

Drenagem: Moderadamente drenado

Pedregosidade e/ou Rochosidade: Ausente

Vegetação primária e uso atual: Caatinga hiperxerófila - Algodão, milho, feijão.

Ap 0 - 6 cm; bruno avermelhado escuro (5YR 3/3); franco arenoso - cascalhenta; fraca, pequena, granular; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso: transição plana e clara.

B1 6 - 16 cm; bruno avermelhado escuro (5YR 3/3); franco arenoso com cascalho; fraca, média, granular; ligeiramente duro, muito friável, plástico, pegajoso: transição plana e gradual.

B2 16 - 31 cm; bruno avermelhado (5YR 4/4); franco argiloso cascalhento; fraca, pequena, blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, muito plástico, muito pegajoso: transição plana e gradual.

B3 31 - 58 cm; vermelho escuro (2,5YR 3/6); franco argiloso cascalhento; fraca, pequena, blocos subangulares; muito friável, plástico, pegajoso: transição plana e difusa.

BC1 58 - 113 cm; vermelho (2,5YR 4/6); franco argiloso muito cascalhento; fraca, pequena, blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, pegajoso: transição plana e abrupta.

Raízes: Comuns e finas em B1 e B2 e comuns e muito finas em Ap, B3 e BC1.

Examinadores: F.O.B. Mota, E.G.S. Moreira e E.C.B. Gomes.

RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

SOLO: Pastoreio Natural - São Paulo - SP

Camada (cm)	Cálcio (%)		Magnésio (%)		Argila (%)	Classificação (Textura)
	Área	Área	Área	Área		
0-5	48	29	9	14	3	Fragmentado
5-10	31	29	17	30	3	Fragm. arenoso
10-20	50	29	10	25	11	Fragm. argilo arenoso
20-40	36	25	8	31	8	Fragm. argilo arenoso
40-60	31	21	15	35	14	Fragm. argilo arenoso

APÊNDICE 2 Resultado das análises físicas e químicas das camadas de solo removidas artificialmente.

Solo	Densidade (g/cm ³) de partículas	Umidade (%)			pH	C/N a 25°C rat. car (g/g)
		0,3 cm	15 cm	área total		
	1,38	2,68	10,6	6,0	5,0	0,42
	1,48	2,73	9,3	5,2	6,1	0,39
	1,45	2,69	12,5	3,9	4,2	0,14
	1,45	2,72	15,9	9,7	6,2	0,16
	1,45	2,65	17,9	10,0	7,3	0,11

RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

SOLO: Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico

Camada Profund. (cm)	Composição Granulométrica (%)				Argila		Classificação Textural
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Natural %		
0 - 5	48	29	9	14	8		Franco arenoso
5 - 10	51	29	10	10	3		Franco arenoso
10 - 20	36	29	10	25	11		Franco argilo arenoso
20 - 40	36	25	8	31	8		Franco argilo arenoso
40 - 60	31	21	13	35	13		Franco argilo arenoso

Solo	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)			pH	C.E. a 25°C	
	de partícula	1/3 atm	15 atm	água útil	água	ext. sat. (ds/m)	
	1,38	2,68	10,6	6,0	4,6	5,2	0,42
	1,48	2,71	9,3	5,2	4,1	5,2	0,39
	1,45	2,69	12,6	7,9	4,7	5,0	0,14
	1,45	2,72	15,9	9,7	6,2	4,9	0,16
	1,45	2,65	17,9	10,6	7,3	5,4	0,11

COMPLEXO SORTIVO (mE/100g de Solo)								V	m	PST
Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al	Al ³⁺	S	T	(%)	(%)	
1,0	0,8	0,19	0,05	2,0	0,2	2,04	4,04	50	9	1
1,2	0,8	0,13	0,04	1,6	0,2	2,17	3,77	57	8	1
0,8	0,6	0,12	0,04	1,6	0,2	1,56	3,16	49	11	1
1,0	0,5	0,08	0,04	1,8	0,4	1,62	3,42	47	20	1
1,1	0,7	0,07	0,04	1,2	0,2	1,91	3,11	61	9	1

Carbono (%)	Nitrogênio(%)	C/N	Matéria Orgânica (%)	Fósforo Disponível (ppm)
0,95	0,05	19	1,64	7
0,73	0,04	18	1,25	8
0,43	0,03	14	0,74	2
0,45	0,03	15	0,77	2
0,18	0,02	9	0,31	1

RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS SOLO

SOLO: Cambissolo eutrófico (Ce)

Camada Profund. cm	Composição Granulométrica (%)				Argila	
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Natural %	Classificação Textural
0 - 5	40	9	30	21	15	Franco
5 - 10	25	12	42	21	19	Franco
10 - 20	20	8	28	44	28	Argila
20 - 40	20	8	29	43	24	Argila
40 - 60	16	8	26	50	4	Argila

Solo	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)			pH	C.E. a 25°C	
	da partícula	1/3 atm	15 atm	água útil	água	ext. sat. (ds/m)	
	1,27	2,64	20,1	14,3	5,8	7,5	0,30
	1,29	2,70	21,9	15,7	6,2	7,6	0,11
	1,28	2,73	23,4	16,7	6,7	7,4	0,10
	1,33	2,70	23,0	15,9	7,1	6,7	0,13
	1,30	2,74	23,3	16,2	7,1	5,6	0,13

COMPLEXO SORTIVO (mE/100g de Solo)								V	m	PST
Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al	Al ³⁺	S	T	(%)	(%)	
12,0	1,8	1,32	0,13	1,0	0,0	15,2	16,2	94	-	1
9,4	1,6	1,14	0,11	0,7	0,0	12,2	12,9	94	-	1
7,5	1,9	1,14	0,10	0,9	0,0	10,6	11,5	92	-	1
5,8	1,8	0,98	0,09	0,8	0,0	8,7	9,5	91	-	1
4,0	2,4	0,70	0,08	1,7	0,0	7,2	8,9	81	-	1

APENDICE 3 QUADROS 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18:

Carbono (%)	Nitrogênio(%)	C/N	Matéria Orgânica (%)	Fósforo Disponível (ppm)
1,80	0,08	22	3,10	7
0,88	0,05	18	1,52	2
0,59	0,04	15	1,02	1
0,49	0,03	16	0,84	1
0,26	0,02	13	0,45	1

QUADRO 2 Número total de plantas de milho emergentes em função do tempo (T) e da profundidade das canalizações (P) das sementes (S)

Profundidade das canalizações (cm)	P	Data de emergência			
		15/9	18/9	19/9	20/9 e 21/9
0-5	PE	1	8	2	10
	CF	1	2	4	2
5-10	PE	2	3	1	7
	CF	2	2	2	4
10-20	PE	1	2	1	1
	CF	1	1	1	1

APÊNDICE 3 QUADROS 2, 3, 5, 8, 9, 11, 17 e 18:
Parâmetros avaliados nas culturas do
milho e feijão

QUADRO 2 Número total de plantas de milho emergentes em função do tempo (T) e da profundidade das camadas (P) dos solos (S).

Profundidade das camadas (cm)	Solo	Data de emergência			
		17/9	18/9	19/9	20/9 a 24/9
0 - 5	PE	1	8	2	0
	CE	1	5	4	2
5 - 10	PE	2	9	1	0
	CE	2	7	2	0
10 - 20	PE	1	7	2	1
	Ce	3	6	1	1
20 - 40	PE	3	5	3	1
	Ce	0	6	2	4
40 - 60	PE	2	5	2	2
	CE	0	2	1	9

QUADRO 3 Análise de Variância do número total de plantas de milho emergentes

Fontes de Variação	GL	F ⁽¹⁾
Solo	1	1,57n.s.
Profundidade	4	1,05n.s.
Solo x Profundidade	4	0,55n.s.
Erro 1	20	
C.V. ₁ (%)		7,9
Tempo	3	13,40**
Solo x Tempo	3	0,61n.s.
Profundidade x Tempo	12	5,61**
Solo x Tempo x Profundidade	12	0,91n.s.
Erro 2	60	
Total	119	
C.V. ₂ (%)		37,04

⁽¹⁾ Níveis de significância calculados pelo teste F: n.s.: não significativo;

** significativo a 1% de probabilidade.

QUADRO 5 Análise de Variância da altura de plantas de milho

Fontes de Variação	GL	F ⁽¹⁾
Solo	1	0,01n.s.
Profundidade	4	12,45**
Solo x Profundidade	4	4,39**
Erro 1	20	
C.V. ₁ (%)		22,3
Tempo	3	196,78**
Solo x Tempo	3	5,74**
Profundidade x Tempo	12	2,34*
Solo x Tempo x Profundidade	12	1,16n.s.
Erro 2	60	
Total	119	
C.V. ₂ (%)		9,7

⁽¹⁾ Níveis de significância calculados pelo teste F: n.s.: não significativo;
 ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade.

QUADRO 8 Número total de plantas de feijão emergentes em função do tempo (T) e da profundidade das camadas (P) dos solos (S).

Profundidade das camadas (cm)	Solo	Data de emergência			
		17/9	18/9	19/9	20/9 a 24/9
0 - 5	PE	10	2	0	0
	CE	9	3	0	0
5 - 10	PE	5	7	0	0
	CE	3	6	1	1
10 - 20	PE	4	7	0	0
	Ce	10	1	0	0
20 - 40	PE	3	6	0	3
	Ce	12	0	0	0
40 - 60	PE	3	1	0	7
	CE	5	6	1	0

QUADRO 9 Análise de Variância do número total de plantas de feijão emergentes

Fontes de Variação	GL	F ⁽¹⁾
Solo	1	0,21n.s.
Profundidade	4	0,86n.s.
Solo x Profundidade	4	0,72n.s.
Erro 1	20	
C.V. ₁ (%)		10,26
Tempo	3	35,17**
Solo x Tempo	3	4,37*
Profundidade x Tempo	12	2,64n.s.
Solo x Tempo x Profundidade	12	3,88**
Erro 2	60	
Total	119	
C.V. ₂ (%)		68,09

⁽¹⁾ Níveis de significância calculados pelo teste F: n.s.: não significativo;
 ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade.

QUADRO 11 Análise de Variância da altura de plantas de feijão

Fontes de Variação	GL	F ⁽¹⁾
Solo	1	9,66**
Profundidade	4	15,29**
Solo x Profundidade	4	1,81n.s.
Erro 1	20	
C.V. ₁ (%)		14,3
Tempo	3	611,06**
Solo x Tempo	3	3,05n.s.
Profundidade x Tempo	12	1,88 n.s.
Solo x Tempo x Profundidade	12	4,11*
Erro 2	60	
Total	119	
C.V. ₂ (%)		4,87

⁽¹⁾ Níveis de significância calculados pelo teste F: n.s.: não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade

QUADRO 17 Valores médios do Rendimento Relativo (%) do milho em função da profundidade de remoção das camadas dos dois solos.⁽¹⁾

Camadas cm	Solo	
	PE	CE
	%	
0 - 5	92,06 Aa	99,35 Aa
5 - 10	72,00 Aa	58,81 Ab
10 - 20	38,70Ab	57,90 Ab
20 - 40	35,42 Bb	56,63 Ab
40 - 60	22,41 Bb	46,35 Ab
CV (%)	20,07	

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na horizontal (entre solos) e minúsculas na vertical (entre camadas), não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

QUADRO 18 Valores médios do Rendimento Relativo (%) do feijão em função da profundidade de remoção das camadas dos dois solos⁽¹⁾.

Camadas cm	Solo	
	PE	CE
0 - 5	92,71 Aa	91,21 Aa
5 - 10	76,60 Aab	27,26 Bb
10 - 20	38,28 Abc	17,08 Bb
20 - 40	48,77 A b	16,71 Bb
40 - 60	39,73 Abc	17,99 Bb
CV	24,9%	

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na horizontal (entre solos) e minúsculas na vertical (entre camadas), não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.