

CARLOS GAERTNER

## **EROSÃO NATURAL E SIMULADA E PRODUTIVIDADE EM LATOSSOLO VERMELHO ESCURO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração "Ciências do Solo", Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Renato Dedecek,  
Pesquisador da EMBRAPA (CNPQ).

CURITIBA

1999



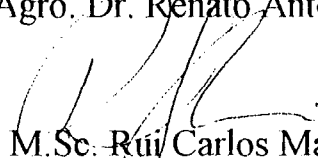
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO  
C.P. 2969, FONE 041-350-5648, FAX 041-2523689 CURITIBA PR 80.035  
E-mail: pgcisolo@agrarias.ufpr.br

## PARECER

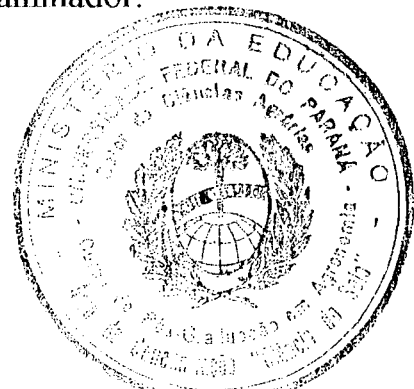
Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **CARLOS GAERTNER**, com o título: "**Erosão natural e simulada e produtividade em Latossolo Vermelho Escuro**" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, conceito "**B**" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 05 de abril de 1999.

  
Engo. Agro. Dr. Renato Antonio Dedecek, Presidente.

  
Engo. Agro. M.Sc. Rui Carlos Maranhão Biscaia, Iº Examinador.

  
Prof. Dr. Glaucio Roloff, IIº Examinador.



## AGRADECIMENTOS

- À DEUS por ter me dado Vida e Inteligência.
- À namorada Neli O. Stumpf pela compreensão, apoio e incentivos dados durante a produção da Dissertação.
- À mãe Ágata Gaertner, que soube compreender a minha ausência e a apoiar-me neste período de estudos.
- Ao grande amigo e orientador Renato A. Dedecek.
- Ao grande amigo e co-orientador Rui C. M. Biscaia pela colaboração na condução do experimento.
- Aos professores Celso L. Prevedello, Glaucio Roloff, Marcos L. de P. Souza, Henrique S. Koehler, Beatriz M. Prevedello e Valdemiro Grewsky pelos conhecimentos transmitidos.
- Aos pesquisadores do IAPAR, Polo Ponta Grossa, pela atenção e esforços apresentados.
- Ao professor e primeiro orientador, Glaucio Roloff pela orientação e colaboração na revisão da Dissertação.
- Aos tios Maria M. S. e Carlito A. de Oliveira, à Glacimery e à Glaucilene que me acolheram em sua casa e incentivaram durante este período.
- Aos funcionários da biblioteca Ciências agrárias da UFPR, pelo empenho e atenção apresentados.
- Aos colegas Sebastião C. Brasil Lustrosa, E. Schmacher, J. Tosin e C. H. Coimbra.
- Aos laboratoristas dos laboratórios de química e física da UFPR pela orientação e colaboração nas determinações laboratoriais, especialmente, Elda N. L. L. e Valdina.
- Ao Sr. Francisco, pela colaboração dada na condução do experimento à campo.
- À UFPR pelo fornecimento da estrutura necessária à realização da pesquisa.
- Ao CNPq pela liberação da bolsa de estudos.
- Ao IAPAR pela oportunidade de desenvolver a pesquisa em questão.
- À EMBRAPA por fornecer o funcionário para a orientação.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS .....	xii
RESUMO .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>03</b>
<b>2.1. RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE COM A EROSÃO NATURAL .....</b>	<b>03</b>
<b>2.2. EROSÃO SIMULADA.....</b>	<b>06</b>
<b>2.3. EROSÃO E PROPRIEDADES QUÍMICAS .....</b>	<b>09</b>
<b>2.4. EROSÃO E PROPRIEDADES FÍSICAS .....</b>	<b>10</b>
2.4.1. Influência das características físicas do solo.....	10
2.4.2. Influência do preparo nas propriedades e nas perdas de solo por erosão .....	14
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. DESCRIÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>19</b>
3.1.1. Localização .....	19
3.1.2. Tratamentos .....	19
3.1.3. Adubação e Correção .....	20
3.1.4. Preparo do Solo .....	21

3.1.5. Implantação das Culturas .....	21
3.2.AVALIAÇÕES PROCEDIDAS .....	22
3.2.1. Coleta de Amostras .....	22
3.2.1.1.Amostragem de solo .....	22
3.2.1.2.Umidade do solo.....	23
3.3.MÉTODOS ANALÍTICOS .....	23
3.3.1. Análises Físicas .....	23
3.3.1.1. Determinações procedidas .....	23
3.3.2. Análises Químicas .....	24
3.3.3. Análises Biológicas .....	25
3.3.3.1. Massa seca de raízes no perfil do solo .....	25
3.3.3.2. Altura de plantas .....	25
3.3.3.3. Determinação da produção .....	26
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
4.1. PARCELAS DE CHUVA NATURAL .....	27
4.1.1. Cultura do Trigo .....	27
4.1.1.1.Altura de plantas .....	27
4.1.1.2.Produção .....	28
4.1.1.3.Raízes do trigo .....	29
4.1.2. Cultura da Soja .....	31
4.1.2.1.Altura de plantas .....	31
4.1.2.2.Produção .....	31
4.1.2.2.1. Massa seca da parte aérea no pleno florescimento .....	31
4.1.2.2.2. Produção de soja na colheita .....	33

4.1.2.3.Raízes do soja .....	34
4.1.3. <b>Características do Solo</b> .....	35
4.1.3.1.1. Físicas .....	35
4.1.3.1.2. Químicas .....	42
4.2. PARCELAS DE SIMULAÇÃO .....	55
4.2.1. Cultura do Trigo .....	46
4.2.1.1.Altura de plantas .....	46
4.2.1.2.Produção .....	46
4.2.1.3.Raízes do trigo .....	47
4.2.2. Cultura da Soja .....	48
4.2.2.1.Altura de plantas .....	48
4.2.2.1.1. Massa seca da parte aérea no pleno florescimento .....	48
4.2.2.1.2. Produção .....	49
4.2.2.1.3. Produção de soja na colheita .....	49
4.2.2.2.Raízes da soja .....	50
4.2.3. <b>Características do Solo</b> .....	51
4.2.3.1.Físicas .....	51
4.2.3.2. Química do Solo .....	57
4.3. COMPARAÇÃO ENTRE PARCELAS DE SIMULAÇÃO E PARCELAS SOB CHUVA NATURAL .....	62
4.3.1. <b>Cultura do Trigo</b> .....	62
4.3.1.1.Altura de plantas .....	62
4.3.1.2.Produção .....	62
4.3.1.3.Raízes do trigo .....	63

4.3.2. <b>Cultura da Soja</b> .....	64
4.3.2.1. Altura de plantas .....	64
4.3.2.2. Produção .....	65
4.3.2.2.1. Massa seca da parte aérea no pleno florescimento .....	66
4.3.2.2.2. Produção de soja na colheita .....	66
4.3.2.3. Raízes do soja .....	66
4.3.3. <b>Características do Solo</b> .....	67
4.3.3.1.1. Físicas .....	67
4.3.3.2. Químicas .....	71
5. <b>CONCLUSÃO</b> .....	75
6. <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	76
7. <b>ANEXOS</b> .....	84

## LISTA DE TABELAS

1. NÍVEIS DE FERTILIDADE APRESENTADA PELOS TRATAMENTOS NO INÍCIO DO EXPERIMENTO .....	21
2. ALTURA DE PLANTAS DA CULTURA DO TRIGO.....	27
3. PRODUÇÃO DE GRÃOS, MASSA SECA TOTAL NO TRIGO.....	28
4. PRODUÇÃO DE GRÃOS, PALHA MASSA SECA TOTAL DA SOJA .....	33
5. DISTRIBUIÇÃO DE RAÍZES DE SOJA NO PERFIL DO SOLO.....	35
6. DENSIDADE DO SOLO, POROSIDADE TOTAL E DE AERAÇÃO (1 a 3 KPa) ..	37
7. DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E ÁGUA DISPONÍVEL .....	38
8. ÍNDICE DE CONE .....	42
9. C ORGÂNICO, K, P, CTC e pH DO SOLO .....	45
10. ALTURA DE PLANTA DE TRIGO NO PLENO FLORESCIMENTO .....	46
11. PRODUÇÃO DO TRIGO.....	47
12. ALTURA DE PLANTAS DE SOJA.....	48
13. PRODUÇÃO DE GRÃOS DE SOJA .....	49
14. DISTRIBUIÇÃO DA MASSA SECA DE RAÍZES NO PERFIL DO SOLO .....	51
15. DENSIDADE DO SOLO E POROSIDADE TOTAL E DE AERAÇÃO .....	52
16. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS–VOLUME DE ÁGUA TOTAL E DISPONÍVEL	53
17. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO .....	61



18. ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO .....	55
19. CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA .....	56
20. RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO .....	57
21. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO SOB EROSÃO SIMULADA .....	59
22. ALTURA DE PLANTAS DE TRIGO .....	62
23. PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE GRÃOS E TOTAL DO TRIGO .....	63
24. COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DA SOJA EROSÃO NATURAL E SIMULADA .....	66
25. DENSIDADE DO SOLO, POROSIDADE TOTAL E DE AERAÇÃO .....	68
26. ÁGUA TOTAL E DISPONÍVEL NO SOLO .....	69
27. PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NOS TRATAMENTOS SOB EROSÃO NATURAL E SIMULAÇÃO DE EROSÃO .....	72

## LISTA DE FIGURAS

1. INFLUÊNCIA DAS PERDAS DE SOLO POR CHUVA NATURAL NA PRODUTIVIDADE DO TRIGO .....	29
2. DISTRIBUIÇÃO DAS RAÍZES DE TRIGO NO PERFIL DO SOLO, PARA OS TRATAMENTOS EROSÃO SIMULADA .....	30
3. CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE RAÍZES NO TRIGO E RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO .....	32
4. ALTURA DE PLANTAS DO SOJA AOS 65 DIAS PÓS SEMEADURA.....	32
5. CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DA SOJA E ESPESSURA DO SOLO ERODIDA ...	34
6. CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA DA PRODUÇÃO .....	39
7. INFLUÊNCIA DA MACROPOROSIDADE NA PRODUÇÃO DO TRIGO E DA SOJA .....	40
8. ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO .....	40
9. POROSIDADE DE AERAÇÃO NA PROFUNDIDADE .....	41
10. ASSOCIAÇÃO DA PRODUÇÃO DA SOJA COM A CONCENTRAÇÃO DE P E CARBONO ORGÂNICO E PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO .....	44
11. PRODUÇÃO DE SOJA E TRIGO E RELAÇÃO ENTRE TEORES DE C CTC .....	44
12. DISTRIBUIÇÃO DA MASSA SECA DE RAÍZES NA EROSÃO NATURAL E SIMULADA .....	54
13. CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DA SOJA E REMOÇÃO DA SUPERFÍCIE .....	56
14. POROSIDADE DE AERAÇÃO .....	54
15. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS .....	58

16. PRODUTIVIDADE DA SOJA E DO TRIGO E TEORES DE C, CTC, Ca + Mg E P .....	59
17. MASSA SECA DE RAÍZES EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO .....	60
18. PRODUÇÃO DA SOJA EM FUNÇÃO DE Ca + Mg E DO TRIGO EM FUNÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO.....	61
19. MASSA SECA DE RAÍZES DO TRIGO NA COMPARAÇÃO DE EROSÕES .....	64
20. COMPARAÇÃO DE ALTURAS DE PLANTAS .....	65
21. COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DA SOJA NOS TRATAMENTOS DE SEMELHANTES PERDAS .....	66
22. MASSA SECA DE RAÍZES DE SOJA NA COMPARAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS COM SEMELHANTES PERDAS .....	67
23. ÁGUA DISPONÍVEL, POROSIDADE DE AERAÇÃO E PRODUTIVIDADE DA SOJA	70
24. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA NOS TRATAMENTOS COM SEMELHANTES ESPESURAS ERODIDAS .....	70
25. CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO (Comparação) .....	78
26. PRODUTIVIDADE DO TRIGO E C ORGÂNICO NA PROFUNDIDADE DE 10 A 20 cm	73

## LISTA DE ANEXOS

I. ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO COM EROÇÃO SIMULADA .....	85
II. CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	88
III. ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO COLETADO NO PLENO FLORESCIMENTO DA CULTURA DO TRIGO .....	89
IV. ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO, COLETADO NO PLENO FLORESCIMENTO DA CULTURA DA SOJA .....	90
V. UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO NO PERÍODO DE FLORESCIMENTO DO TRIGO .....	92
VI. ÁGUA PRESENTE NO SOLO DISPONÍVEL ÀS PLANTAS, EM CADA POTENCIAL	93
VII. PERCENTUAL TOTAL DE ÁGUA NO SOLO, PRESENTE EM CADA TENSÃO .....	94
VIII. MASSA DE ÁGUA PRESENTE NO SOLO EM CADA POTENCIAL .....	95
IX. ÁGUA PRESENTE NO SOLO DISPONÍVEL ÀS PLANTAS, EM CADA POTENCIAL	96
X. DENSIDADE DE PARTÍCULAS DO SOLO .....	97
XI. RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO AVALIADA DURANTE O PERÍODO SECO (MAIO 96) .....	97
XIII. CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO, NOS TRATAMENTOS SOB EROÇÃO NATURAL .....	97

## **R E S U M O**

### **EROSÃO NATURAL E SIMULADA E PRODUTIVIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO- ESCURO**

Para a maioria dos solos, a erosão causa redução na produtividade das culturas, conseqüentemente aumento nos custos de produção. Medir e associar quais os parâmetros que mais influenciam na produtividade é o desafio para o planejamento de futuras safras. Com objetivo de verificar quais as características que mais influenciam na produtividade, instalou-se um experimento a campo, em Latossolo Vermelho-Escuro, localizado nos Campos Gerais do Paraná – Ponta Grossa – em área que há 17 anos haviam sido monitoradas as perdas de solo por erosão. Estabeleceu-se ao lado deste, os tratamentos de simulação de erosão, em parcelas onde se removeu 0, 3, 6 e 14 cm; procedeu-se a correção da fertilidade com base no tratamento de menor fertilidade e a implantação da cultura do trigo no inverno de 1995 e da soja no verão de 1995/6.

Avaliou-se, nas culturas do trigo e da soja a altura de planta, massa seca de parte aérea, grãos, palha e raízes. No trigo também determinou-se o peso hectolítrico. Do solo determinou-se a densidade do solo e de partículas, porosidades total e de aeração, condutividade hidráulica saturada, capacidade de retenção de água e as propriedades químicas.

A produtividade do trigo foi pouco influenciada pela remoção de até 6 cm da superfície do solo. Efeitos mais pronunciados, contudo, foram observados quando retirou-se o horizonte Ap (14 cm), com a redução de 140 Kg/ha (13 %) na produção de grãos, enquanto que na erosão natural a queda no rendimento foi de 694 Kg/ha (33,4 %) quando esta retirou 6 cm do Ap. A produtividade da soja diminuiu 888 Kg/ha (27,5 %) com a remoção de 6 cm e na erosão natural a redução equivalente foi de 1206,5 Kg/ha (36,3 %), mostrando-se mais sensível ao processo erosivo no solo avaliado. Observou-se que a simulação mostrou resultados semelhantes aos do processo natural de erosão, porém os efeitos foram mais severos na produtividade da soja, que foi mais influenciada do que o trigo com a de retirada de 6 cm da camada superficial do solo. As variações das características químicas, principalmente CTC e Ca + Mg, tiveram grande influência para a cultura da soja.

## **SUMMARY**

### **NATURAL AND SIMULATE EROSION, AND CROP YIELDS, OF A DUSKY RED LATOSOL**

In most soils, erosion causes reduced crop yields and increased production costs. Determining and quantifying the parameters that influence crop yields most is important for the planning of future cropping schemes. A field experiment, on a Dusky Red Latosol in Ponta Grossa, Paraná, was set up to verify the characteristics that most affect crop yields. This area was previously used for monitoring soil erosion losses for 17 years. Simulated erosion plots were established at the same time, beside the natural erosion plots, by the removal of 0, 3, 6 and 14 cm of surface soil. Fertilization was based on the treatment with the lowest chemical fertility. Wheat was planted in the winter of 1995 and soybeans in the summer of 1995/6.

Plant height and dry mass of aboveground biomass, straw, grain and roots were determined for both crops. Grain unit weight was also measured for wheat. Soil parameters investigated were bulk and particle densities, total and aeration porosities, saturated hydraulic conductivity, water retention capacity and chemical properties.

Wheat yield was little affected by the removal of up to 6 cm of surface soil. More pronounced effects were observed for the removal of the Ap horizon (14 cm), with a reduction in yield of 140 kg/ha (13 %). Under natural erosion, though, yield was lowered by 694 kg/ha (33,4 %) with the natural removal of 6 cm of the Ap. Soybean yield was reduced by 888 kg/ha (27,5 %) with the artificial removal of 6 cm, and by 1206,5 kg/ha (36,3 %) for the same removal by natural erosion. Thus soybeans were more sensitive to the soil erosion losses. Changes in chemical characteristics, especially on CEC and Ca + Mg, influenced mainly the soybean yields.

## INTRODUÇÃO

A erosão constitui um grave problema e está relacionado ao uso agrícola dos solos, sendo consequência do manejo inadequado dos mesmos. Entre os vários fatores que contribuem para a degradação do solo – a má distribuição das terras, o desrespeito à aptidão natural do solo e a pouca difusão de tecnologia compatível com as condições da maioria dos agricultores – também a ocorrência de chuvas de grande intensidade no período de preparo e semeadura das culturas, contribuem para as perdas de solo. Como efeitos, tem-se a redução gradativa da capacidade produtiva do solo, além da degradação do ambiente.

Em casos mais graves, como resultado do uso indevido do solo, verifica-se a exposição de horizontes sub-superficiais, queda nos teores de matéria orgânica (MO), redução da aeração do solo, bem como de sua capacidade de armazenar água em tensões disponíveis para as plantas, diminuindo assim a sua produtividade. Torna-se necessário quantificar as perdas na produtividade, relacionando-as com as características específicas do solo.

A relação erosão-produtividade é de difícil identificação, em parte porque a produtividade é reduzida lentamente e também porque o avanço tecnológico diminui o impacto de sua redução. No entanto, em sendo o processo erosivo de crescimento exponencial, o seu controle e a recuperação da produtividade do solo tornam-se rapidamente antieconômico. Evidenciar a necessidade de um manejo conservacionista com base apenas nas perdas de solo provocadas pela erosão, é de compreensão mais difícil para os agricultores, do que focar a redução da produtividade ou a necessidade de aumentar a quantidade de insumos para manter o nível de produção atingido em anos anteriores. Demonstrar o retorno econômico pela adoção de práticas conservacionistas, principalmente das práticas mecânicas de alto custo de implantação, é também mais convincente quando se relaciona com as alterações da produtividade.

O desgaste do solo pela erosão pode ser obtido naturalmente, expondo-se o solo à ação da chuva, ou estabelecendo por comparação de espessura de horizontes, áreas em que houve o desgaste do solo. Artificialmente é possível simular o efeito da erosão pelo uso de chuva simulada, ou pela remoção artificial de camadas de solo. Nas duas situações, a simulação é mais rápida e mais abrangente, porém não se tem muitas indicações sobre até que ponto a simulação se aproxima da realidade. A oportunidade de estabelecer parcelas de simulação lado-a-lado com parcelas com medidas de perdas de solo durante dezessete anos é ímpar neste sentido. O cultivo das parcelas de perdas de solo instaladas em 1978, em Latossolo Vermelho-Escuro, na Unidade Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Ponta Grossa, foi uma oportunidade de se verificar o efeito das perdas de solo sobre a produtividade das culturas. Permitindo também, além de avaliar a produtividade nos diferentes manejos, comparar a capacidade de produção do solo na erosão simulada pela retirada de camadas superficiais em área anexa.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo determinar e comparar as variações nas produções de trigo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro com diferentes níveis de erosão, devido a manejos diferenciados no cultivo da rotação trigo-soja, em parcelas sob chuva natural e em parcelas de simulação de erosão pela remoção de camadas de solo, foram também identificadas as propriedades do solo que mais afetaram o volume e qualidade do produto colhido.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE COM A EROÇÃO NATURAL

Vários fatores influenciam a produtividade das culturas. Fatores intrínsecos do solo, como suas propriedades químicas, físicas e biológicas; e os extrínsecos, como posição no declive e forma da pendente, e também o manejo e insumos, interagem, resultando em maior ou menor produção.

Pesquisadores têm estudado o comportamento das culturas em solos erodidos, no sentido de conhecer como se dá a redução da produtividade e quais as características do solo mais relacionadas com rendimento das culturas. KINIRY et al. (1983) adotaram alguns parâmetros para formar o índice de produtividade dos solos: Aeração, capacidade de água disponível, condutibilidade elétrica, densidade do solo e pH. THOMAS e CASSEL (1979) trabalhando com Alfisols, citam como as variáveis que mais se relacionam com a produção de milho são: a espessura do horizonte A, nível de P, teor de matéria orgânica e K, densidade do solo e capacidade de armazenamento de água disponível. NIKOLAYEV (1975), refere-se ainda a textura, presença de microagregados estáveis em água e distribuição proporcional entre porosidade capilar e não capilar, para cada horizonte do solo, como as principais propriedades físicas indicativas da produtividade do mesmo. ZOBECK et al. (1995) associaram a menor produtividade do solo, com a redução da MO. PIERCE et al. (1990) afirmam que cada solo tem um limite de perda, em espessura da camada superficial; os solos com horizontes subsuperficiais de baixa taxa de infiltração e também os expostos a grande volume de água, devido a sua posição na paisagem são mais vulneráveis a erosão; DANIELS et al. (1987) afirmam que a erosão causa diferenças na paisagem, principalmente em solos que apresentam materiais de origem muito diferentes com variação na fertilidade – a posição no declive influencia na produtividade e a água é um fator decisivo, mais importante que a classe de erosão. PIERCE et al. (1983), adotaram apenas as características superficiais de densidade, disponibilidade de água e

pH, para avaliar o potencial produtivo dos solos. Contudo a pouca cobertura do solo, baixos valores de água disponível e alta resistência à penetração, reduzem a produtividade, principalmente pela restrição ao desenvolvimento das raízes e estresse hídrico (COOK, 1986). A erosão influencia diretamente a produtividade pela redução na habilidade do solo em estocar água em tensões disponíveis às plantas (NIZEYIMANA,1988); SCHERTZ (1989) ao avaliar os efeitos da erosão sobre o rendimento entre as fases pouco, moderada e severamente erodidas em Indiana, constatou que com o aumento da erosão ocorreu aumento do conteúdo de argila e redução na MO, disponibilidade de água, teores de P e rendimento de grãos.

A erosão, porém, nem sempre causa redução na produtividade diretamente. As alterações na produtividade em função do grau da erosão, dependem da presença de características favoráveis ou não ao estabelecimento das plantas e enraizamento, a medida que as raízes se aprofundam no perfil do solo. PIERCE et al. (1983), estudaram um solo franco-siltoso que apresentava características desejáveis em profundidade, que alterou seu índice de produtividade de 0,98 para 0,95 em 100 anos de erosão simulada. Um outro solo com características desfavoráveis em seus horizontes subsuperficiais, mostrou uma queda em seu índice de produtividade de 0,76 para 0,63.

Em uma revisão sobre os efeitos da erosão na fertilidade química do solo e sua produtividade STOCKING (1983), encontrou evidências que a erosão, por ser um processo natural, torna-se um problema quando as taxas de perdas excedem as taxas naturais de formação do solo. Em áreas muito erodidas o aparecimento de doenças e pragas é causado pela menor resistência biológica das plantas, devido ao seu desequilíbrio nutricional, provocado pelos baixos teores dos nutrientes existentes no solo e pelas restrições que a planta sofre ao explorar camadas mais profundas em solos compactados. Perdas de MO influenciam diretamente na redução da qualidade da estrutura, poder tampão do solo e capacidade de retenção de água disponível às plantas. Se a erosão retira proporcionalmente partículas mais férteis do que se encontra naturalmente no solo, reduzindo proporcionalmente mais o teor de nutrientes remanescente no solo. Evidência que a erosão é seletiva e retira as partículas mais finas, foi encontrada em Trinidad, em solo com 22 % de declividade, nos quais a concentração de N inorgânico na enxurrada foi muito maior na parcela com alta erosão do que na parcela coberta com milho. As perdas na enxurrada foram de 5,3 Kg/ha de N e 1,6 Kg/ha de N nos sedimentos erodidos sob a tratamento descoberto, num total de 49 Mg/ha de solo erodido. Na parcela com milho as quantidades foram menores, 0,6 Kg/ha de N na enxurrada e 0,1 Kg/ha de N no sedimento, representando 2 Mg/ha de solo erodido (GUMLES et. al. 1983 citados

por STOCKING, 1983). Na Bahia, em plantação de cacau sob um Alfisol, LEITE (1983, citado por STOCKING, 1983), comparou as perdas de N, P, K, Mg e Fe com a erosão. Observou maiores teores de K na enxurrada que a concentração de K existente no solo. A erosão é um processo em cadeia; a erosão diminui a cobertura do solo, a menor cobertura causa aumento na erosão e a produtividade diminui. Além do tipo de solo, a erosão varia com a maneira de exploração. RIVAS (1983, citado por STOCKING, 1983), reportou que na Colômbia as taxas de erosão na floresta natural eram de 0,5 Mg/ha/ano, em solo coberto com grama (*Brachiaria spp*) 0,7 Mg/ha/ano, com leguminosa (*Pueraria phaseoloides*) 2,0 Mg/ha/ano, milho (*Zea mays*) no sistema mulch, 6,0 Mg/ha/ano, e no sistema tradicional de produção agrícola 21,5 Mg/ha/ano. BERTONI et al. (1982), citados por STOCKING (1983), sintetizaram dados sobre a produção da maioria das culturas produzidas no Brasil, de acordo com estes, as práticas culturais e o cultivo contínuo de uma mesma cultura, interferem na produtividade. Solo sob cultivo contínuo de soja em Pindorama produziu 498 Kg/ha e em rotação de cultura 732 Kg/ha.

Com a erosão, o material de origem fica progressivamente mais próximo da superfície; os constituintes do solo (MO e partículas finas) são removidos e a produção inevitavelmente declina. O declínio está associado à degradação do meio ambiente. As conseqüências das perdas na produtividade são manifestas pelos efeitos diretos percebidos sobre a física, química e estrutura natural do solo. O ciclo orgânico é interrompido e sob intenso revolvimento, os nutrientes são perdidos, chegando a quase exaustão (STOCKING, 1983).

PERRENS & TRUSTUM (1984) ressaltam que, para a quantificação da inter-relação entre degradação do solo e produtividade, é recomendável determinar como o crescimento de uma cultura é influenciado pela densidade, profundidade, pH, textura e CTC do solo. Para medir os efeitos da erosão passada sobre a produtividade atual dos solos, deve-se também comparar a variação de umidade do solo no perfil (DANIELS, et al., 1987).

Muitas características do solo se modificam com a erosão, sendo a redução na produção apenas parte da expressão da planta, devido a perda de nutrientes (LAL, 1976). Numerosos fatores, como o clima e o potencial genético da planta controlam a produção da cultura em uma área. No entanto, as condições físico-químico-biológicas do solo são as que mais influenciam na determinação da produtividade das culturas, pelo ambiente que oferecem ao crescimento das raízes. Raízes pouco profundas, são conseqüências do alto conteúdo de argila, acidez ou presença de materiais muito densos. WHITE et al. (1985) observaram que a erosão do solo pode causar mudanças na cor, textura, taxa de infiltração de água e fertilidade. Encontraram taxas de infiltração

menores em solos muito erodidos, em relação aos solos pouco erodidos e os teores de nutrientes também decresceram com a erosão severa, principalmente P, enquanto que as quantidades de K e Mg apresentaram incrementos. Observaram ainda uma correlação entre a cor dos solos e suas fases de erosão, de modo que solos muito erodidos apresentaram cores mais claras. LOWERY et. al. (1995) encontraram correlação linear entre densidade do solo e porosidade; a porosidade decresce com a erosão, conseqüentemente, a condutividade hidráulica saturada também tende a ser menor.

A tecnologia aplicada aos solos pode alterar a magnitude dos efeitos da erosão sobre os rendimentos das culturas, geralmente amenizando-os (PERRENS & TRUSTUM, 1984). O avanço tecnológico, em fórmulas químicas de fertilizantes, melhoria de sementes e tecnologias de produção, retardam os efeitos da erosão sobre a produtividade. Mas a aplicação dessas tecnologias tem cada vez menos efeito contra o declínio da produtividade das terras erodidas (STOCKING, 1983).

## 2.2. EROSÃO SIMULADA

A maioria dos experimentos que demonstram o efeito da erosão sobre os nutrientes e produtividade utilizam a retirada da camada da superfície para simular a erosão. A interpretação desses resultados deve ser cautelosa. Perdas proporcionais de nutrientes são subestimadas e o efeito sobre as produções podem ser menores do que se semelhantes quantidades de erosão ocorressem naturalmente; a limitação da produtividade pela erosão depende da concentração dos elementos no solo (STOCKING, 1983). A retirada de uma camada da superfície do solo subestima o declínio da produção, algumas vezes por um fator 10; significa que ao remover 10 Mg/ha de solo, reproduz-se semelhante declínio da produção com a perda de 1 Mg/ha de erosão natural. A erosão natural é seletiva e retira as partículas mais finas e férteis e no caso de um solo muito arenoso concorre para a remoção significativa de nutrientes (STOCKING, 1983b). A taxa de enriquecimento dos sedimentos erodidos por erosão natural segue a proporção de 3:5 para MO, argila e micronutrientes para as plantas (LAL, 1988). LAL, (1984) avaliando solos na Nigéria, concluiu que a chuva simulada teve em torno de 5 vezes o efeito da retirada da camada superficial, por unidade de perda de solo.

A retirada artificial da camada superficial afetou a produção de grãos em Alfisols na Nigéria em 16,25 vezes em comparação a erosão natural. Em solos com fertilidade química restrita à superfície, o efeito da remoção é mais drástico (LAL, 1988). DEDECEK (1987), trabalhando com Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa em experimento de erosão simulada, observou que Ca, Mg, Al e C orgânico mostraram melhores correlações com a produção de soja. A redução na

produtividade depende da capacidade do solo em resistir a extração de nutrientes pelas colheitas; solos que apresentam subsolo fértil são mais estáveis, mantendo-se produtivos (PIERCE et al., 1984). A remoção da superfície do solo até 18 cm em um solo não alterou a quantidade de água disponível e N incorporado a massa seca de trigo (TANAKA, 1995). VERITY et al. (1990) observaram menores produções de grãos nas parcelas do solo erodido fertilizado e relacionaram-nas aos menores teores de MO encontrados, como sendo o principal fator no processo de redução da qualidade do solo. RIPEY et al. (1961) mostraram que o suprimento de nutrientes ao subsolo exposto não restaura a produtividade do solo. Estes, ao removerem 15 cm da superfície, verificaram decréscimo de 58 % na produtividade do centeio (*Hordeum vulgare*) sem fertilizantes e redução de 46 % com fertilizantes.

RHOTON (1990) associou as perdas com a menor quantidade de água disponível às plantas em períodos de estiagem. SPAVOREK et al. (1991) em ensaio com erosão simulada em um solo Podzólico Vermelho – Escuro latossólico endoálico, de textura argilosa, observaram queda no rendimento de grãos de milho com a remoção de terra. A correção da acidez do solo e a fertilização química tiveram menor êxito do que a adubação mais calagem e esterco. Este último supriu, pelo menos em parte, a MO perdida pela remoção.

MURRAY (1969), citado por YOUNG (1978), concluiu que a retirada é o mais importante fator para estabelecer a produtividade do milho. Como consequência das perdas de MO pelo processo erosivo, há a redução na taxa de infiltração de água (YOUNG, 1978). Com a retirada da superfície do solo pela erosão, a capacidade produtiva do solo é reduzida, principalmente em solos com material de origem pouco férteis e quando este foi misturado a camada superficial, afetou fortemente a capacidade de retenção de água, nas classes de erosão moderada e severa (LOWERY et al., 1995 e NIZEYIMANA, 1988).

Grandes prejuízos no rendimento das culturas podem ocorrer quando o processo erosivo faz com que o horizonte B textural fique exposto ou próximo a superfície, por este apresentar propriedades químicas e físicas desfavoráveis (BRUCE et al., 1988 e LOWERY et al., 1995). O aumento da acidez do solo disponibiliza elementos tóxicos que inibem o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente reduz o volume de solo explorado (NIZEYIMANA, 1988). Podem ocorrer menor estabilidade dos agregados em água e maior suscetibilidade ao encrostamento superficial em solo submetido a remoção de seu horizonte superficial (SADLER, 1984).

A simulação da erosão pode se feita de 2 maneiras:

a) pela remoção de uma determinada espessura da superfície, ou

b) pelo estabelecimento de parcelas à campo em áreas que perderam um determinado horizonte ou parte deste.

A maior dificuldade deste último tipo de simulação é estabelecer quanto da camada original do solo foi perdida, pois em uma área podem ocorrer variações no desgaste do horizonte. DANIELS et al. (1985) afirmam que existem inter-relações entre a classe de erosão do solo e a posição que ocupa no declive; bem como entre posição na paisagem, umidade durante o ciclo de crescimento e rendimento das culturas. Tais influências criam dificuldades para a quantificação dos efeitos da erosão sobre a produtividade. Há tendência da posição que o solo ocupa na paisagem estar associada com determinadas classes de erosão e com a declividade da rampa (BOONE, 1988). DANIELS et al. (1987) ressaltam a influência do formato da paisagem onde o solo ocorre sobre a umidade e produtividade do mesmo. SINAI (1981) cultivaram trigo em solos com declive de 12 % e obteve rendimento de 1734 kg/ha, em pendentes côncavas e 408 kg/ha em convexas.

Muitos autores enfatizam que a redução na capacidade de suprimento de água para as plantas é a principal causa da queda na produtividade de solos erodidos, a qual, por sua vez, está relacionada com a posição que ocupa na paisagem (NATIONAL SOIL EROSION, 1981; FRYE et al., 1982 e VERITY & ANDERSON, 1990). KLINGELHOETS & BEATTY (1961, citados por YOUNG, 1978), associaram a erosão ao declive, afirmando que esses dois fatores são altamente correlacionados com a profundidade do horizonte A e conseqüentemente, com a produção de milho. Solo com zona de raízes não profundas – tanto os solos rasos quanto os que apresentam camadas restritivas abaixo da profundidade de preparo – tem menor capacidade de retenção de água disponível às plantas, fator determinante na produtividade do solo (LEEPER et al. 1964, citados por YOUNG 1978). Solos severamente erodidos, localizados em locais declivosos, geralmente tem menor quantidade de água disponível às plantas que os levemente erodidos, encontrados no topo da paisagem (ONSTAD et al., 1985). Aqueles situados em cotas mais baixas, podem receber água das partes mais elevadas e apresentam maiores rendimentos, mesmo quando mais erodidos (STONE et al., 1985). CIHA (1984) verificou as maiores produtividades de trigo em situação de topo; nos solos situados no terço médio da paisagem obteve as menores produções. No entanto e nos solos do terço inferior os autores observaram produções intermediárias, pela contribuição de água das partes mais elevadas, evidenciando que a água é mais importante para a produtividade que a classe de erosão (DANIELS, 1987). A erosão normalmente degrada a capacidade do solo armazenar água disponível para as plantas (LARSON et al., 1985). No entanto, STONE et al. (1985), encontraram maiores

quantidades de água disponível em um Podzólico textura areno-argilosa moderadamente erodido do que no mesmo solo pouco erodido.

### 2.3. EROSÃO E PROPRIEDADES QUÍMICAS

A erosão pode alterar as propriedades químicas de diversas maneiras. STONE et al. (1985), avaliando um Podzólico, textura areno-argilosa e moderadamente erodido, encontraram aumento no teores de matéria orgânica e de P fixado na superfície em relação ao Podzólico pouco erodido, em função do aumento nos teores de argila provenientes do horizonte Bt, Em Alfisols siltosos com erosão moderada foram encontrados menores quantidades de P disponível (FRYE et al., 1982).

SADLER (1984) encontrou menor teor de carbono em Podzólico Cinzento pela mistura com o horizonte sub-superficial e reduções ainda mais significativas nas quantidades de N. Em Alfisols siltosos também foram detectadas pequenas diferenças de carbono (0,2 a 0,4%) entre as fases moderadamente erodida e não erodida (FRYE et al., 1982). Solos cultivados 75 anos, em Saekatchewan – Canadá, tiveram decréscimo de 4,8% para 1 % no teor de carbono (VERITY e ANDERSON, 1990). A mistura de horizontes pelo cultivo interfere na disponibilidade de nutrientes, contribuindo para variações na fertilidade (BOONE, 1988) e na água disponível (NIZEYIMANA, 1988).

Pesquisas indicam que 70% das variações na produtividade da soja são explicadas pela textura e pH, tensão de água no solo e teores de Ca, K, Mg, Al e C orgânico. As variáveis que mais tiveram influência na produtividade da soja foram os teores de argila e C orgânico, principalmente nos solos muito erodidos, além do pH, aliados à tensão de água no solo e precipitação (BRUCE et al., 1988); CTC (< 4 meq/100 g) na camada até 50 cm e deficiências de N, P e K, (STOCKING, 1983).

Avaliando os efeitos da erosão, ONSTAD et al. (1985) deram ênfase para a densidade, pH e disponibilidade de água do solo. Pesquisando os efeitos da erosão sobre as propriedades de Alfisol, textura siltosa, FRYE et al. (1982), concluíram que o horizonte Ap dos solos pouco erodidos apresentavam maiores percentagem de argila e valores de densidade aparente e os menores teores de carbono e níveis de fertilidade. SPAVOREK et al. (1993) concluíram que a MO e o pH (0 - 10 cm) tem grande influencia na produção de um Podzólico Vermelho-Amarelo. O pH foi o fator mais importante na camada sub-superficial (10-80 cm) devido a sua relação com o alumínio tóxico que

inibe o enraizamento profundo. Reduções nas quantidades de silte e areia muito fina e nos teores de carbono, N, P e S foram encontradas por VERITY e ANDERSON (1990) em função da erosão.

#### 2.4. EROSÃO E PROPRIEDADES FÍSICAS

As operações de preparo modificam a densidade do solo, a distribuição e tamanho de poros do solo, essas propriedades determinam o regime de água no solo. A estrutura é uma das propriedades do solo que mais fácil e profundamente é alterada pelo cultivo do solo (SCHAFER e JHOSON, 1982).

MEEUWIG (1970, citado por YOUNG, 1978) afirma que com a evolução da erosão ocorre aumento da densidade e redução da agregação do solo e na proporção que a densidade do solo aumenta, a capacidade de água disponível no solo decresce. A classe textural influencia no valor da densidade crítica para o desenvolvimento das plantas. Em solos com teores acima de 45 % de argila, a densidade crítica é de  $1,39 \text{ Mg/m}^3$ , enquanto a limitante é de  $1,47 \text{ Mg/m}^3$ . Solos mais arenosos toleram maiores densidades, de modo que se o conteúdo de argila for de 35 a 45 %, tem densidades crítica e limitante de 1,49 e  $1,58 \text{ Mg/m}^3$ , respectivamente (ESTADOS UNIDOS, 1975). Os valores críticos de resistência a penetração, nos quais o crescimento radicular é impedido, variam de 3 MPa (TAYLOR & GARDNER, 1963) a maiores que 5 MPa (EHLERS et al., 1983).

A compactação excessiva reduz o desenvolvimento das raízes e a velocidade dos fluxos de ar e água no solo (BOWEN, 1981; UNGER et al., 1986; WOLF & HADAS, 1984). A caracterização do grau de compactação, pode ser feita através da quantificação de uma ou mais características do sistema poroso afetadas. Dois parâmetros indiretamente relacionados a estas geralmente são utilizados – a densidade do solo e a impedância mecânica determinada por penetrômetro. A determinação da densidade do solo, apesar de ser simples, necessita que se observe alguns pontos (CASSEL, 1982), tais como:

- a) as amostras retiradas devem ser suficientes para abranger a maioria dos tamanhos de poros existentes;
- b) as avaliações da densidade em solos cultivados, deve contemplar locais específicos onde o desenvolvimento das raízes, possam estar comprometido;
- c) a variação da densidade do solo com o tempo deve ser observada.

O preparo contínuo na profundidade de 10 cm, em solos de textura franco-arenosa, propicia boa penetração de raízes nesta camada, podendo haver impedimento abaixo desta devido a compactação promovida pelas máquinas utilizadas no preparo. Observou-se que em densidade do



solo de  $1,88 \text{ Mg/m}^3$  e resistência a penetração de  $2,9 \text{ MPa}$ , as raízes de algumas espécies conseguem se desenvolver. TAYLOR & BURNETT (1964) notaram que as raízes de algodão conseguiram penetrar até quando este apresentou IC de  $1,9 \text{ MPa}$  na capacidade de campo e densidade do solo de  $1,73 \text{ Mg/m}^3$ . Estes autores citam ainda que as raízes da maioria das espécies não conseguem explorar solos com resistência maior que  $2,6 \text{ MPa}$ , exceto por fendas que ofereçam baixa resistência.

OLIVEIRA et al. (1990) avaliaram o efeito do sistema de preparo nas características físicas e químicas do solo e no rendimento de trigo e soja em Latossolo Roxo. Concluíram que o tipo de preparo interfere no grau de desestruturação do solo. Preparos em que se utilizam grande movimentação e tráfego de máquinas contribuem para o aumento da densidade do solo e decréscimo na estabilidade de agregados em água, macroporosidade, infiltração e quantidade de água acumulada. EAVIS & PAYNE (1969) consideraram solos soltos, moderadamente compactados e compactados, os que apresentavam densidades de  $1.1$ ,  $1.4$  e  $1.6 \text{ Mg/m}^3$ , respectivamente. No entanto, o grau de compactação avaliado somente pela densidade do solo, não é suficiente para definir a resistência que o solo oferece ao crescimento radicular da planta (ADAMS et al., 1960).

Quando o conteúdo de água no solo é reduzido, o efeito direto do estresse hídrico sobre a fisiologia da planta pode causar mais prejuízos que os efeitos indiretos provocados pelo aumento da resistência do solo a penetração (DANIELS, 1987). GRUPTA & KATHAVATE (1972) ao avaliarem um solo franco-arenoso, cultivado com arroz, associaram o aumento da densidade do solo, com a redução da porosidade total e incremento da resistência a penetração. A variação na densidade do solo de  $1.46$  para  $1.82 \text{ Mg/m}^3$ , causou diferenças de  $0.43$  para  $0.28$  e  $1.5$  para  $4.2 \text{ MPa}$ , respectivamente, na porosidade e resistência a penetração. Como consequência, a produção caiu de  $58,4$  para  $36,9 \text{ g/vaso}$ .

Resultado da relação entre a força exercida para fazer penetrar um cone metálico no solo e sua área basal, a resistência à penetração é expressa em índice de cone (IC). Os resultados devem ser interpretados levando em consideração as características físicas do solo no momento da amostragem, em especial a densidade e a umidade do solo.

Os penetrômetros, tendo maior amplitude, possibilitam uma avaliação mais precisa dos tratamentos quando comparados com a densidade do solo (CASSEL et al., 1978); enquanto que a densidade do solo em estudos variam entre  $< 1,0$  e  $> 1,7 \text{ g/cm}^3$ , valores de IC variam entre  $0$  e  $>$

8,83 MPa (CASSEL, 1982); pela alta variação nos valores lidos, torna-se necessário maior número de pontos amostrados, para que haja compensação da variabilidade espacial e temporal.

Alguns pesquisadores acham que os penetrômetros são inadequados para avaliar a impedância mecânica. Por terem diâmetros maiores do que as raízes, penetrarem no solo mais rapidamente e por não serem capazes de desviarem-se de partículas e agregados do solo. Para BARLEY (1976), a resistência a fricção deveria ser subtraída da resistência total como forma de melhorar as estimativas, pois as raízes não a encontram devido a ação lubrificante das mucilagens exudadas das células da coifa. TOLHNER & VERNA (1984) argumentaram que o cone ao penetrar no solo encontra uma resistência que pode ser atribuída a 2 fatores: resistência a compressão e a fricção ao longo das paredes do cone; este último pode ser responsável pela maior parte da resistência total (GROENEVELT et al., 1984). O tamanho e a convexidade do sistema poroso podem ser mais importantes que a densidade e a resistência mecânica do solo (TROUSE, 1978). LINDBERG & PETERSON (1985) observaram, em experimento com cevada, que a aplicação de 0,02 MPa reduziu 40% no crescimento das raízes; redução que ocorreu somente quando as raízes não encontraram poros iguais ou maiores que o seu diâmetro. COMIN (1992) observou que os penetrômetros medem uma resistência de 2 a 8 vezes maior que as raízes realmente encontram no solo. Observações com penetrômetros sugerem que a resistência tem efeito mínimo na elongação de raízes, salvo se a resistência exceda a 0,4 MPa (MAZURAK & POLMAN, 1968; GREACEN & OH 1972, citados por HILL et al., 1990).

As raízes das plantas podem também penetrar em camadas aparentemente restritivas através de macroporos (NASCH & BALIGAR, 1974); tais vias não são detectadas por penetrômetros ou pela determinação da densidade do solo.

A produtividade das culturas é altamente dependente da distribuição da precipitação em situações onde o alongamento das raízes é limitado devido a compactação. Com chuvas bem distribuídas ou suplementadas durante o crescimento da cultura e condições moderadas de compactação não afetam a produtividade (VOOHERS et al., 1985). O rendimento em solos pouco compactados pode ser menor devido a excessiva perda de água (VOORHEERS, 1989). Em casos de precipitação deficiente em solo de densidade muito baixa ( $< 1,0 \text{ g/cm}^3$ ), certo grau de compactação é benéfico por aumentar o volume de água retido (SIDIRAS & VIEIRA, 1984 e LOWERY, 1995). A penetrometria pode ser usada para determinar a necessidade de revolvimento do solo e avaliar os efeitos do manejo e seqüência de culturas sobre as propriedades do solo (GERARD et al., 1982).

Do ponto de vista funcional, o espaço poroso é importante quando se considera os fluxos de ar e água e a penetração de raízes. A estabilidade dessa estrutura é essencial para o funcionamento do sistema. Interferem no suprimento de  $O_2$  fatores como continuidade, tortuosidade, tamanho de poros e espaçamento entre poros cheios de ar (CANNEL & JACKSON, 1981). Havendo poros grandes o suficiente, as raízes podem se desenvolver em solos com alta resistência (WIERSUM, 1957; UBERTIN & KARDOS, 1965). Outra interferência da compactação e descontinuidade dos poros é sobre o nível de oxigênio no solo. As plantas necessitam de  $O_2$  para realizar seu metabolismo. A necessidade mínima para o desenvolvimento das plantas é 10% do volume dos poros do solo cheios de ar quando este está na capacidade de campo, e que haja pelo menos 10% de  $O_2$  nesses poros (DEXTER, 1988 e PIERCE et al., 1983). EHLERS (1983) observou que índices de cone de 3,6 MPa impediram o crescimento de aveia no horizonte Ap. Para o plantio direto, o valor crítico foi de 5 MPa no subsolo, devido à presença de poros contínuos, formados por canais oriundos de raízes anteriores e túneis de minhocas, que não foram detectados pelo penetrômetro. VEPRASKAS (1984) demonstrou que são também importantes a distribuição e o tamanho de poros. CASSEL (1982) sugeriu que a determinação seja feita quando o solo esteja próximo a capacidade de campo.

Tem-se associado a impedância mecânica com diferentes sistemas de preparo do solo. Para CASSEL (1982), a magnitude da impedância mecânica está relacionada com a intensidade e profundidade de mobilização; GOODERHAM (1976), citado por CASSEL (1983) afirma que o preparo profundo do solo altera a densidade de todo o perfil mobilizado, e conseqüentemente reduz no IC em todo o perfil, enquanto que preparos até 20 - 25 cm não foram capazes de evitar altos valores de densidade e de IC.

A identificação de valores de IC à campo restritivos ao crescimento radicular é difícil para a maioria dos solos, porque grande parte dos dados provém de experimentos que identificaram valores de IC no qual o crescimento radicular praticamente cessou, ou teve a sua taxa de alongação muito reduzida (GERAD, 1972). Os valores que limitam o desenvolvimento de raízes variam com o tipo de penetrômetro, grau de desenvolvimento da estrutura do solo, tipo de raiz e umidade do solo no momento da determinação. HENDERSON (1989) adotou como valor crítico o IC de 1MPa em modelos para prever os efeitos da compactação sobre o crescimento do trigo.

As formas e tamanhos dos poros variam desde alguns microns de separação entre as partículas de argila, até vários centímetros das rachaduras causadas por ressecamento ou túneis formados pela mesofauna (ROLOFF, 1986). A representatividade das amostras obtidas a campo com relação aos

poros amostrados é discutível, pois as amostras subestimam os macroporos, devido à menor probabilidade destes ocorrerem em amostras com pequenas dimensões e por serem os poros maiores que 0,005 mm, muito mais sensíveis a manipulação (LAL, 1979). BEVEN e GERMANN, (1982) definiram macroporos àqueles com diâmetro suficiente para que ocorra fluxo canalizado em condições de não equilíbrio. Microporos resultam da diferença entre o volume total de poros e o volume de macroporos. Os macroporos são poros de transmissão, importantes para o fluxo de água e ar. A retenção de água, difusão de ar e nutrientes no solo são funções dos microporos (DEXTER, 1988).

ALLMARAS et al. (1982), demonstraram que o cultivo de um solo por 50 anos causou redução nos poros maiores da camada superficial (0 a 35 cm), ocasionando redução de 10 vezes na condutividade em potenciais maiores que  $-10$  kPa em comparação com campo nativo. A continuidade e a ocorrência de poros de transmissão estão estreitamente ligados a presença e à atividade das raízes e minhocas, principalmente, em solos que não apresentam, em grau significativo, a formação de fissuras pelo processo de expansão-contracção, associados aos ciclos de secagem-molhamento. Outra característica física, de grande importância para o rendimento e qualidade das produções é a aeração do solo, a qual não deve ser inferior a 10 % do espaço poroso do solo. Os meristemas radiculares geralmente são incapazes de entrarem em poros rígidos e menores que seu diâmetro (WIERSUM, 1957). No entanto, em solo deformável, as raízes podem ser capazes de alargar os poros existentes, absorvendo deles água e nutrientes. Raízes com diâmetros menores  $10 \mu\text{m}$  são importantes na absorção de nutrientes e não conseguem formar seus próprios poros, requerendo assim poros preexistentes, iguais ou maiores do que elas próprias (DEXTER, 1988). Quando a raiz encontra um poro menor do que o seu diâmetro, só se expandirá se for capaz de exercer pressão suficiente para dilatar o poro, ou diminuir o seu diâmetro para passar através dele. Na realidade, o diâmetro da raiz aumenta quando encontra tais obstáculos (RUSSEL, 1977).

#### 2.4.1. Influência do Preparo nas Propriedades Físicas e na Produtividade do Solo

Dos fatores ambientais que influenciam o crescimento e a produção das culturas, aqueles que afetam o ambiente radicular são especialmente importantes, em condições de campo. Desse modo, a estrutura física, caracterizada pela porosidade, aeração, continuidade dos poros e densidades, interferem na capacidade das raízes penetrarem e se ramificarem no perfil e, conseqüentemente, no aproveitamento da água e nutrientes (ORTOLANI et al., 1982) e as operações de preparo, tendem a perturbar os poros que são naturalmente contínuos, e promovem o surgimento de uma ou mais

camadas estruturalmente descontínuas (ROLOFF, 1986). SIDIRAS et al. (1983) estudaram durante 3 anos as interferências dos preparos convencional, alternado e plantio direto nas características físicas do solo e concluíram que, na capacidade de campo, o solo cultivado com soja no sistema plantio direto, apresentou teor de água 4 a 5 % superior ao convencional, na camada de 0 a 20 cm. A produtividade média da soja em plantio direto foi 33 % superior ao convencional. MIELKE et al. (1986) estudando o ambiente físico próximo a superfície de solos arados e não preparados, verificaram que as maiores diferenças nas características físicas do solo entre as práticas de preparo ficaram restritas a camada superficial de 7,5 cm. A densidade do solo foi maior e a porosidade total na camada superficial foi 10% menor. ZOBECK et al. (1995) citam a redução de 40 % no conteúdo de MO, em um campo cultivado por 60 anos, no Kansas; a menor MO ocasionou aumento na densidade do solo e reduções na condutividade hidráulica saturada e água disponível as plantas (LOWERY, 1995). Preparos feitos com equipamentos pesados, além de desestruturar a camada movimentada e contribuir para a formação de uma camada adensada, a qual restringe a penetração das raízes e os fluxos de água e ar. Preparos convencionais deixam a superfície desprotegida das gotas da chuva, no período compreendido entre o preparo e o pleno estabelecimento da cultura, contribuindo para o aumento das perdas de solo por erosão. Chuvas de alta intensidade nesse período, causam o encrostamento superficial e a compactação (MONEGAT, 1991), as quais interferem na emergência das plântulas e desenvolvimento (vigor) inicial da cultura (DENARDIN & KOCHLANN, 1993) e contribuem para a redução da infiltração e conseqüente aumento da enxurrada (PROVE, 1990). A erosão também influencia no tempo de emergência das plântulas (PETTRY et al., 1985), altura (WHITE et al., 1985) e número de plantas (OLSON & CARMER, 1990). Como resultado tem-se menores volume e qualidade da produção.

A macroporosidade, responsável pela drenagem em profundidade, é mais estável em sistemas de preparo que não revolvem o solo (PROVE et al., 1990). Para REICHERT, VEIGA e CABEDA (1993) a estabilidade de agregados do solo tem influencia considerável nas perdas de água e de solo sob chuvas. Em sistemas de preparo que não perturbam a estrutura do solo, ocorre redução na porosidade total e há alteração na distribuição e tamanho de poros. Com a redução do número de poros maiores e predominância dos menores, a água disponível às plantas aumentou até 3 vezes em relação aos preparos que movimentaram o solo até a profundidade de 30 cm (HILL et al., 1985). Implementos de preparo, produzem macroporos na camada revolvida, mas reduzem a sua continuidade no perfil (GOSS et al., 1984). A condutividade hidráulica entre a camada arada e o subsolo é reduzida (LOWERY, 1995). Em geral a aração reduziu-a a um terço, com efeitos maiores

em solos argilosos. A continuidade dos macroporos também é importante para a drenagem do solo, pois os canais de drenagem apresentam eficiência reduzida na presença de uma camada compactada contribuindo para o aumento nas perdas de solo pelo escoamento superficial, pois a infiltração será maior quanto maior for o número de poros contínuos, grandes e orientados verticalmente, que estejam abertos para a superfície do solo (BOONE, 1988).

O crescimento e a formação das raízes, bem como a drenagem do solo, dependem de um adequado número de macroporos contínuos ( $> 50 \mu\text{m}$ ). Para GOSS et al. (1984), relacionaram o volume e a continuidade dos macroporos com o desenvolvimento e atividade radicular, sendo os primeiros, prejudicados quando a continuidade dos poros foi reduzida e contribui decididamente para variações na produtividade em períodos em que a distribuição das chuvas foi irregular, sendo assim, solos que permitem enraizamento mais profundo são mais estáveis na produção (BECHER, 1983).

CASSEL (1980) estudou, durante 15 anos, os efeitos da profundidade de preparo e profundidade de incorporação de calcário e fósforo sobre algumas propriedades físicas e químicas de dois solos franco-argilosos, observou que preparos mais profundos aumentaram a condutividade hidráulica instaurada nas profundidades de 18 a 38 e de 38 a 51 cm nos potenciais mais baixos de água no solo, isto devido a maior umidade volumétrica, a qual resultou de densidade do solo mais elevada do material de textura mais fina na matriz do solo. Assim, a produtividade pode ser alterada pela variação na capacidade de armazenamento de água disponível nos solos preparados em maiores profundidades.

#### 4.2.2. Influência do Manejo do Solo no Desenvolvimento das Culturas

A habilidade das plantas em absorver a água e nutrientes contidos em um horizonte de solo depende da concentração de raízes neste horizonte. Raízes profundas fazem com que a planta seja menos vulnerável a períodos de seca (SPAVOREK et al., 1993). As plantas tem baixa capacidade de estocar água e um eventual estresse hídrico, tem-se como resposta o acionamento de mecanismos que visam diminuir as perdas, seja pelo fechamento dos estômatos, ou enrolamento das folhas, isso resulta em menor produtividade pela redução na produção de fotossintetados. Algumas plantas são mais susceptíveis ao estresse que outras e algumas fases do desenvolvimento são mais críticas do que outras (florescimento).

A mudança na capacidade do solo armazenar e conduzir água (EAVIS & PAYNE, 1969), interfere no desenvolvimento do sistema radicular, o qual é dependente do ambiente que o solo lhe

oferece. A planta para desenvolver o seu sistema radicular explora os poros de tamanho adequado existentes ou deve fazer novos poros, vencendo a resistência do solo e deslocando a ponta da raiz para frente, via aumento de pressão de crescimento. As raízes contribuem, juntamente com outros fatores químicos e biológicos, no processo de formação e estabilização dos agregados do solo, fornecem também substrato para o desenvolvimento da fauna do solo, dando condições para o aumento das populações (TISDALL & OADES, 1982).

Para STOCKING (1983), tem-se compensado as perdas na produtividade pelo aumento do uso de agroquímicos no sistema de produção agrícola, ocasionando duas conseqüências básicas:

- a) decréscimo na cobertura do solo por inços, conseqüentemente, maior erosão;
- b) aumento no período de estabelecimento da cultura, como causa das menores fertilidade natural e qualidade da estrutura do solo.

Citam-se como causas dos efeitos de curto prazo da erosão sobre a produtividade do solo, as variações que ocorrem no horizonte A, notadamente perdas de MO e conseqüente perda da fertilidade, redução da capacidade de retenção de água em tensões disponíveis às plantas, empobrecimento da estrutura, redução da taxas de infiltração (STOCKING, 1983) e baixa atividade biológica, são mais susceptíveis a compactação e mostram sérios prejuízos estruturais (KEMPER & DERPSCH, 1981). A longo prazo, os efeitos da erosão sobre a produtividade são causados pela redução da profundidade da zona de raízes – profundidade efetiva de raízes (STOCKING, 1983).

BARBER (1976) observou que quando um solo franco siltoso foi arado anualmente, as raízes de milho desenvolveram-se mais extensivamente do que onde não foi preparado ou este realizado até a profundidade de 5 cm.

A redução na disponibilidade de água e a limitação a expansão das raízes - limitando-as a camadas pouco profundas – tem os maiores efeitos na redução do potencial produtivo do solo. Em muitos solos ocorrem camadas – naturais ou formadas pelo manejo – que impedem a penetração das raízes (STOCKING, 1983).

DERPSCH et al. (1991) afirmam que a compactação superficial progressiva como efeito do tráfego de máquinas pesadas em área sob plantio direto pode, como conseqüência, pode apresentar a longo prazo restrição ao desenvolvimento radicular; também como efeito da redução da MO, ocorre redução nas taxas de infiltração e há menos água disponível às plantas. A restrição ao crescimento das raízes das plantas ocorre solos com estrutura destruída, ou que apresentam naturalmente uma camada compactada. DERPSCH et al., (1991) concluíram que todos os métodos contribuem para a compactação em Latossolo Roxo. E que a profundidade desta varia conforme o sistema de manejo

utilizado; no plantio direto as maiores densidades ocorreram na camada de zero a 20 cm do perfil do solo, ao passo que no sistema convencional de preparo ocorreu o “pé-de-arado” entre 20 e 30 cm. Para Latossolo, a maior densidade no plantio direto foi responsável pela maior retenção de água devido ao aumento da proporção de poros menores. SIDIRAS e VIEIRA (1984) observaram que tanto o trigo quanto a soja desenvolveram-se melhor e com maior rendimento nos sulcos compactados pela passagem das rodas do trator. Supõem-se que seja devido a melhor condução de água em solo mais compactado. Isto porque os Latossolos, pela sua estruturação retém menor quantidade de água e uma leve compactação contribui para aumentar estes valores, como resultado tem-se maior produtividade quando ocorre períodos de precipitações irregulares.

A erosão ocorre em maior ou menor grau, de acordo com as características do solo, espécies cultivadas, manejos adotados e o tempo no qual o solo vem sendo explorado e pode alterar diversas características, porém, nem sempre ocorre redução na produtividade. As menores produtividades ocorrem quando horizontes poucos férteis, ou que apresentam substâncias tóxicas às plantas, são expostos. Sobre este assunto, muitos pesquisadores referem-se aos menores volume e qualidade da produção em solos erodidos, como resultado da redução na disponibilidade de água no solo.



## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1. DESCRIÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA EXPERIMENTAL

#### 3.1.1. Localização

O experimento foi realizado no campo experimental do Polo Regional do IAPAR em Ponta Grossa, PR, onde, desde 1977 até 1994, foi conduzido um trabalho de quantificação das perdas de solo e água, sob diferentes cultivos. O solo, caracterizado como Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, apresenta horizonte A proeminente, de textura muito argilosa e relevo suave ondulado (6 %). O clima da região é caracterizado como Cfb, de acordo com a classificação de Koeppen. Os volumes de perdas de solo no período de 17 anos (1977-1994), foram transformados em espessuras da camada superficial e constituíram-se nos tratamentos da erosão simulada.

#### 3.1.2. Tratamentos

##### a) Erosão natural

Segundo IAPAR (1995), os tratamentos de manejo do solo, cujas as perdas foram medidas, em faixas de 3,5 m de largura no sentido do declive, foram:

1. solo descoberto em tratamento de 22 m de comprimento e preparo convencional;
2. solo descoberto em tratamento de 11 m de comprimento e preparo convencional;
3. sucessão trigo/soja em tratamento de 11 m e preparo do solo convencional;
4. sucessão trigo/soja em tratamento de 11 m e plantio direto;
5. sucessão de cultivos incluindo trigo e soja em tratamento de 11 m e sistema de preparo do solo reduzido, constando de escarificação no inverno e plantio direto no verão;
6. sucessão de cultivos incluindo trigo e soja em tratamento de 11 m e sistema de preparo do solo reduzido, constituído de escarificação e duas gradagens leves.

Para determinar a espessura da camada superficial perdida por erosão IAPAR (1995), foi considerada uma densidade do solo de  $1,00 \text{ Mg/m}^3$ . Os resultados foram: tratamento 1 – 6 cm,

tratamento 2 – 3,2 cm, tratamento 3 – 0,4 cm e tratamento 4 – 0,05 cm. As tratamentos 5 e 6 foram incluídas em 1990, e considerando-se os manejos e os cultivos usados apresentaram perdas totais menores ou iguais ao tratamento 4.

b) Erosão simulada

Com o objetivo de comparar o efeito da simulação e da erosão sob chuva natural, instalou-se os tratamentos da erosão simulada, baseando-se nos valores apresentados pelo IAPAR (1995), para os 17 anos de erosão natural. Procurou-se retirar da superfície do solo, espessuras semelhantes as que foram retiradas pela erosão natural; desta maneira os tratamentos da erosão simulada ficaram assim constituídos:

1. Remoção 0 cm;
2. Remoção 3 cm;
3. Remoção 6 cm;
4. Remoção 14 cm.

A retirada de uma camada de 14 cm foi incluída para simular a perda de todo o horizonte Ap deste solo. Estes tratamentos foram estabelecidos em área ao lado dos tratamentos sob chuva natural, qual permaneceu durante este período coberta com invasoras, predominando as gramíneas nativas. O delineamento experimental foi em faixas com 3 repetições e parcelas de 3,5 x 3,5 m, com o mesmo tamanho de parcelas e número de repetições das de perdas de solo por chuva natural, com 11 metros de comprimento, exceto o tratamento descoberto 22 m que teve 6 repetições.

### 3.1.3. Adubação e correção

Por haver níveis diferentes de fertilidade do solo nas parcelas, considerando-se que as parcelas descobertas foram preparadas anualmente, mas não receberam fertilizantes, corretivos ou restos das culturas. A adição de restos de culturas também foi diferenciada de acordo com o sistema de preparo do solo nos tratamentos aplicados com a sucessão trigo/soja. Para não haver interferência deste componente, a adubação e correção do solo foram as mesmas para todos os tratamentos, baseadas nas condições do solo da parcela com menor nível de fertilidade, TABELA 01. A correção foi feita a lanço, antes do preparo do solo, com 2 t/ha de calcário dolomítico, PRNT 100%, incorporada até a profundidade de 20 cm com arado e grade de discos e em 2 etapas.

TABELA 01. Valores dos níveis de fertilidade apresentada pelos tratamentos no início do experimento, média de 3 repetições.

Tratamentos	Profundidad e	meq/100 cm <sup>3</sup> de solo						
		pH (CaCl)	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Ca + Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P (ppm)	C org
01	0 a 20	4.0	2.4	11.26	1.7	0.13	4.0	2.72
01	20 a 4	4.2	1.3	9.35	1.7	0.04	0.6	2.25
02	0 a 20	4.1	1.65	11.26	2.15	0.08	1.4	2.88
02	20 a 40	4.3	1.1	9.01	1.7	0.03	0.6	2.18
03	0 a 05	5.5	0.0	4.96	10.55	0.68	138.6	3.89
03	05 a 10	5.1	0.0	6.67	6.85	0.75	138.6	3.03
03	15 a 20	4.7	0.55	7.76	3.8	0.19	4.8	2.72
04	0 a 05	5.0	0.5	7.20	3.65	0.07	1.5	2.64
04	10 a 15	5.1	0.2	6.21	4.05	0.07	1.2	2.41

Fonte: IAPAR – Ponta Grossa, PR.

### 3.1.4. Preparo do solo

Para o trigo e a soja, o preparo foi o convencional, constando de uma aração e uma gradagem leve; procedidos no sentido contrário ao declive.

### 3.1.5. Implantação das Culturas

#### a) Trigo

O trigo foi semeado no espaçamento de 0,2 m entre linhas, com 70 sementes por metro linear, da cultivar IAPAR 41, entre 15 e 20 de junho de 1995. A semeadura foi mecanizada, perpendicular ao declive; com adubação na linha, usando-se 12 de N, 90 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 de K<sub>2</sub>O Kg/ha, na formulação 4-30-10. Aos 60 dias do plantio o trigo fez-se adubação de cobertura, com uréia na dosagem de 60 Kg/ha. A colheita e a trilha foram feitas manualmente, pesando-se além dos grãos, a palha de trigo produzida.

#### Soja

Semeada no espaçamento de 0,5 m entre linhas, com 30 sementes por metro linear, da cultivar BR 38, no dia 28 de novembro de 1995. A semeadura foi mecanizada, em curva-de-nível; aplicando-se 0 de N e 60 Kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O como fertilizante químico da formulação 0-20-20. A colheita e a trilha foram manuais.

## 3.2. AVALIAÇÕES PROCEDIDAS

Foram avaliados:

### a) Na planta:

altura de plantas de trigo e soja, massa e distribuição de raízes, peso hectolítrico (trigo), peso de 1000 sementes (soja), matéria seca total e produção de grãos.

### b) No solo:

capacidade de retenção de água no solo, condutividade hidráulica saturada, densidades do solo e de partículas, granulometria, porosidade total, resistência a penetração e umidade do solo no período do início do florescimento ao enchimento de grãos.

### 3.2.1. Coletas de amostras

Para as determinações da condutividade hidráulica saturada, curva de retenção de água no solo, densidades do solo e de partículas e porosidade total, coletou-se amostras indeformadas de solo, utilizando anéis volumétricos, e amostras deformadas para as análises granulométricas e químicas. Para a amostragem de raízes, altura e largura respectivamente, na cultura do trigo; na soja, trado holandês com 6 cm de diâmetro e 17 cm de altura.

#### 3.2.1.1. Amostragens

Por terem sido amostradas ao final do encerramento do trabalho de perdas do solo – para as análises químicas – a amostragem do solo foi efetuada apenas nos tratamentos da simulação de erosão. Para as análises de densidade do solo e de partículas, resistência a penetração, curva de retenção de umidade, macro e microporosidades e raízes, todas os tratamentos foram amostradas nas profundidades: 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, no pleno florescimento do trigo; as de massa seca parte aérea foram feitas no pleno florescimento e maturação fisiológica e a produção de massa seca de grãos e palha foram determinadas na colheita das culturas.

#### 3.2.1.2. Umidade do solo

Foram procedidas duas amostragens de solo por semana, no período compreendido entre o início da floração e o estágio de grão leitoso, constituindo-se da coleta de uma amostra composta por parcela, por profundidade do perfil.

### 3.3.MÉTODOS ANALÍTICOS

#### 3.3.1. Análises Físicas

Com as amostras indeformadas de solo coletadas em anéis volumétricos determinou-se, em laboratório a curva característica de água no solo, porosidade total, macro e microporosidades nos diferentes tipos de preparos do solo. As análises foram feitas no laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Para umidade do solo, durante o período do início do florescimento ao estágio de grão leitoso das culturas, as análises foram procedidas pelo laboratório Solos do IAPAR - Ponta Grossa. Os resultados estão expressos nos ANEXOS 01 e 02.

##### 3.3.1.1. Determinações Procedidas:

###### a) Análise granulométrica

A análise granulométrica das amostras foi realizada através do método BOUYOUCOS, descrita pela EMBRAPA (1979).

b) As determinações da umidade gravimétrica, volumétrica, densidades do solo e de partículas, porosidade total, macro e microporosidades, curva de retenção de água no solo e condutividade hidráulica saturada foram procedidas conforme metodologia descrita pela EMBRAPA (1979).

###### c) Resistência à Penetração

As determinações da resistência à penetração foram feitas após a colheita do soja, utilizando-se um penetrômetro cônico, modelo SOLOTEST S 210, de fabricação brasileira, com ângulo de penetração de 30° e área da base do cone de 6,33 cm<sup>2</sup>. O equipamento mede a força aplicada por unidade de área seccional (esforço) necessária para a introdução no solo.

Foram coletadas amostras deformadas para a determinação da umidade gravimétrica nas profundidades amostradas, simultaneamente às determinações de resistência, para a uniformização dos resultados ao longo do perfil. As leituras foram tomadas até a profundidade de 30 cm, em

intervalos de 10 cm, em 10 pontos dispostos em 3 linhas, no sentido da largura da parcela e distanciados 1m.

No cálculo da resistência a penetração, os valores brutos obtidos a campo foram transformados em índice de cone através de equação de calibração fornecida pela fábrica:

$$IC = 0,00855 + 0,00559LD \quad (1)$$

onde IC é o índice de cone (MPa) e LD é a leitura obtida no campo em centésimos de mm.

Para poder comparar o IC determinado sob umidades diferentes, pesquisadores desenvolveram trabalhos específicos para proceder a calibração dos valores de resistência à penetração. TORMENA (1991) obteve através de equações de regressão uma relação entre a variação de IC e o ln do conteúdo de água no solo (U, em g/g de solo), possibilitando a calibração do IC para um valor padrão de umidade:

$$\phi IC = -4,188 - 4,389. \ln U \quad (2)$$

Neste trabalho a correção do IC foi feita através da equação (2), pois esta foi produzida a partir da avaliação de um Latossolo. Considerou-se os valores de umidade para primeira determinação (maio) de 0,21 g/g solo para a superfície, 0,26 g/g solo para a profundidade 10 cm, 0,29 g/g de solo para 20 cm e 0,32 g/g de solo para 30 cm; para a segunda determinação (junho), 0,34 g/g solo para a superfície, 0,35 g/g solo para a profundidade 10 cm, e 0,38 g de água/g de solo para 20 cm; tomadas como valores médios obtidos durante a seqüências de amostragens realizadas a campo e inferiores a umidade na capacidade de campo, considerada aquela obtida à pressão de 6 kPa : 0,33 g/g na média dos tratamentos. Havendo assim, diferenças no conteúdo de água, medido por ocasião das amostragens em relação àquela umidade padrão, obteve-se um valor a ser adicionado ou subtraído (equação 2) ao IC obtido na equação (1).

### 3.4. ANÁLISES QUÍMICAS

Coletou-se amostras no início do experimento (analisadas pelo laboratório do IAPAR - Ponta Grossa) e no pleno florescimento das culturas de trigo e soja (analisadas pelo laboratório de Química do solo da Universidade Federal do Paraná – UFPR); para determinar o nível da correção da fertilidade do solo na implantação das culturas e determinar o nível destes elementos presentes em cada tratamento, respectivamente.

Tanto as análises físicas quanto as químicas foram feitas de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1979).

### 3.5. ANÁLISES BIOLÓGICAS

#### 3.5.1. Massa de Raízes no Perfil do Solo

##### a) Trigo

A metodologia utilizada para a determinação da massa de raízes consistiu no uso de uma forma de metal com dimensões 30x10x10 cm, a qual foi cravada no solo ao lado da linha da cultura, com o auxílio de marreta; na parte superior da forma utilizou-se proteção de madeira. Em cada tratamento foram retiradas três amostras por profundidade, nos intervalos de 0-10; 10-20 e 20-30 cm. As amostras do solo foram deixadas em uma solução de hidróxido de sódio (25 ml/l água) durante 12 horas para dispersar as argilas e em seguida foram lavadas sobre um conjunto de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,7; 0,2 mm. A separação das raízes de outros materiais, como raízes secas de outras plantas e matéria orgânica, foi realizada manualmente com pinça. Em seguida as raízes foram condicionadas em embalagens de papel e colocadas em estufas 60°C por 48 h. A massa seca de raízes foi determinada usando-se balança de precisão com aproximação da segunda casa decimal.

##### b) Soja

Para a determinação da massa seca de raízes da soja utilizou-se a mesma metodologia empregada na cultura do trigo, exceto o equipamento de coleta. Para coletar as raízes do soja, utilizou-se trado holandês, com 6 cm de diâmetro e 17 cm de altura.

#### 3.5.2. Altura de plantas

Procedeu-se a medição das plantas de trigo quando estas estavam no pleno florescimento. Na soja fez-se 2 medições; a primeira, 65 dias após a semeadura, e a segunda aos 95 dias pós plantio. Utilizou-se régua graduada em mm. No mesmo momento, fez-se a contagem do número de plantas por metro linear.

#### 3.5.3. Determinação da produção

A colheita foi efetuada manualmente. Foram demarcadas 3 parcelas na porção mediana de cada faixa, sendo que no tratamento descoberto 22 m foram colhidas 6 parcelas, tanto na cultura do trigo quanto na do soja. No trigo procedeu-se o corte da planta rente ao solo em de 9 m<sup>2</sup> área (3 x 3 m) por parcela; no soja arrancou-se a planta inteira. Seguindo-se a trilha e a determinação do peso de matéria seca total, palha, grãos. Além destas, verificou-se a massa do hectolítrico para o trigo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. TRATAMENTOS DE CHUVA NATURAL

#### 4.1.1. Cultura do trigo

##### 4.1.1.1. Altura de plantas

Os dados apresentados na TABELA 02 mostram que houve diferença significativa a nível 5%, na altura de plantas, entre o descoberto 22 m, o plantio direto e descoberto 11 m – o primeiro perdeu 6cm, o segundo 0,05 cm e o terceiro 3 cm da superfície – sendo que o primeiro apresentou altura 18,3 e 14,7 % maior, respectivamente. O plantio direto apresentou menor altura de plantas, diferindo do descoberto 22 m, preparo convencional e do preparo alternado e foi semelhante ao descoberto 11 m; estes resultados demonstram não apresentaram uma tendência clara dos efeitos das perdas de solo sobre a altura da plantas, uma vez que o tratamento que teve perdas de 6 cm teve a maior altura, os que perderam 0,4 e 0,05 cm tiveram alturas intermediárias, o que perdeu 3 cm e o que menos perdeu solo tiveram as menores alturas. SPAROVEK et al. (1991) afirmam que este comportamento deve-se provavelmente ao fato de que não tenha ocorrido a perda total do horizonte Ap e ao efeito de compensação que a correção da fertilidade proporciona.

Podem ter contribuído para este comportamento, o ataque mais severo de mal-do-pé (*Geaumannomyces graminis*), podridão comum (*Bipolaris sorokiniana*) e fusárium (*Fusarium graminearum*), ocorrido entre o final do desenvolvimento vegetativo e o início do florescimento – os quais ocasionaram reduções do número, altura de plantas e menor produção de massa seca de raízes. O teor de umidade mais elevado no solo e a sua menor temperatura, juntamente com as temperaturas máximas do ambiente reduzidas, propiciam condições favoráveis para o desenvolvimento dos fitopatógenos, principalmente o *Geaumannomyces graminis* (BUERKERT & MARSCHNER,



1992), também pela presença de estruturas reprodutivas destes fitopatógenos no solo ou em compostos, os quais contribuíram de 3 maneiras para esta redução:

- a) pela colonização das raízes, extraindo fotossintetados,
- b) pela inibição do crescimento através de enzimas e
- c) pelos danos causados nos pontos de crescimento

TABELA 02. Altura de plantas apresentadas pela cultura do trigo no pleno florescimento, para os tratamentos sob erosão natural, média de 3 repetições.

Tratamentos	Altura (cm)
Plantio direto	0.86 c*
Preparo alternado	0.97 abc
Cultivo mínimo	0.95 bc
Preparo convencional	0.99 ab
Descoberto 11 m	0.89 c
Descoberto 22 m	1.01 a
CV	3,80

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

#### 4.1.1.2. Produção

Na avaliação estatística da produção do trigo (TABELA 03), observam-se diferenças entre os tratamentos. Os melhores desempenhos na produção de grãos foram apresentados pelos tratamentos cultivo mínimo, preparo convencional e preparo alternado, os quais tiveram menores perdas de solo. As produtividades foram significativamente superiores aos tratamentos descoberto 22 m, plantio direto, e descoberto 11 m. O preparo convencional com produção de matéria seca total de 5565,4 kg/ha, segundo maior produtor de matéria seca total, 12 % acima da média, diferiu do plantio direto, descoberto 11 m e descoberto 22 m, que tiveram produções menores, 43,1, 19,9 e 15,3 %, respectivamente; produziu também, 6,8 % menos que o cultivo mínimo. Atribuiu-se a redução da produtividade do trigo no plantio direto ao ataque de fitopatógenos.

Também a relação grão/palha na erosão natural foi influenciada pelos tratamentos. Os tratamentos descoberto 22 m, plantio direto e descoberto 11 m apresentaram comportamentos

semelhantes na produção de grãos e palha e na relação grão/palha, sempre com menores valores. Para peso hectolétrico não houve diferenças significativas entre os tratamentos avaliados.

Com exceção do sistema de plantio direto, devido ao ataque de doença fúngica, a produtividade dos tratamentos com perda de camada de solo foi significativamente menor do que naqueles que apresentaram perdas de solo muito pequenas. Considerando-se uma média dos 3 sistemas de preparos conservacionistas que apresentaram perda de uma camada de solo de no máximo 0,4 cm (2006 kg/ha), em relação ao tratamento com perda de 3 cm e ao, com perda de 6 cm, a diferença de produtividade foi de 562 e 620 kg/ha, respectivamente. Pode-se inferir que houve queda na produtividade do trigo de até 100 kg/ha por centímetro de solo perdido; e que a perda de 3 cm da camada superficial foi proporcionalmente mais prejudicial que a perda de uma camada de 6 cm.

TABELA 03. Produção de grãos, massa seca total, peso hectolétrico e relação grão/palha da cultura do trigo nos tratamentos sob erosão natural, média de 3 repetições.

Tratamentos	Grãos	MS Total	Peso	Relação
	Kg/ha		Hectolétrico	Grão/palha
Plantio direto	1402,3 b	3887,0 c	77,2 a	0,57
Preparo alternado	1878,7 a	4922,8 abc	77,7 a	0,62
Cultivo mínimo	2078,5 a	5970,2 a	77,7 a	0,53
Preparo convencional	2060,8 a	5565,4 ab	78,0 a	0,59
Descoberto 11 m	1444,0 b	4642,4 bc	77,7 a	0,45
Descoberto 22 m	1385,0 b	4892,5 abc	79,0 a	0,31
CV (%)	10,7	9,7	0,87	

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

Na FIGURA 01 encontra-se a representação gráfica da regressão polinomial de 2ª ordem entre perdas de solo e produtividade de trigo, em que se obteve um coeficiente de correlação ( $r^2$ ) de 0,79. Nesta análise, foi utilizada a produtividade do trigo nas parcelas do cultivo mínimo para representar a perda de uma camada de solo de 0,05 cm. Optou-se por esta estratégia, uma vez que os dados de produtividade do plantio direto foram prejudicados pelo ataque do mal-do-pé, e por estar

camada de solo por erosão sob chuva natural implicou na perda de 116 kg/ha na produção de trigo, mas o decréscimo é mais acentuado na perda dos primeiros centímetros de solo, chegando a 212 kg/ha/cm nos primeiros centímetros da superfície.

A queda na produtividade na metade inferior do tratamento descoberto com 22 m de comprimento foi visível. Ao ser comparada com a parte superior deste tratamento; observou-se reduções na massa seca de grãos e total produzidas de 230 e 135 Kg/ha respectivamente.

KRAUSS & ALLMARAS (1982, citados por PAPERDICK et al., 1985) observaram reduções de 107,91 Kg/ha na produtividade do trigo para cada centímetro de solo perdido por erosão; com o uso de fertilizantes estas verificaram queda de 54 Kg/ha por centímetro da superfície do solo erodido.

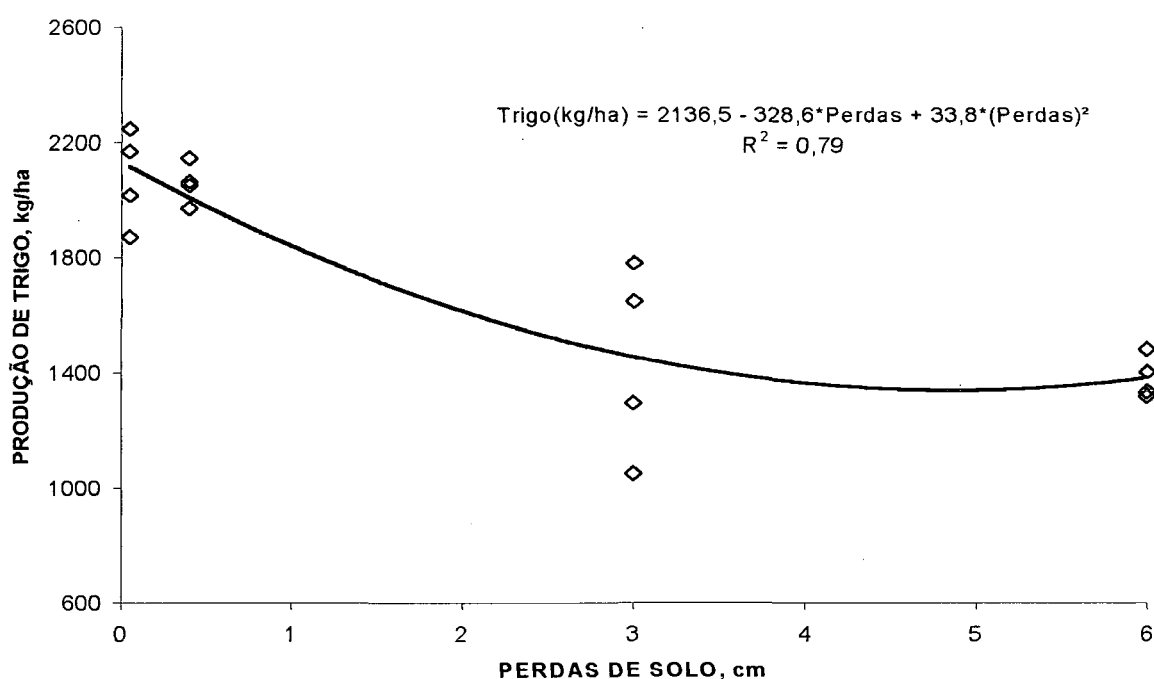


FIGURA 01. Influência das perdas de camadas de solo por erosão sob chuva natural na produtividade do trigo (Regressão polinomial de 2ª ordem, 4 tratamentos e 4 repetições).

#### 4.1.1.3. Raízes do trigo

O tratamento descoberto 11 m, que teve uma das menores médias na produção de grãos, apresentou produção de massa seca das raízes, na camada superficial do solo, significativamente superior ao tratamento plantio direto, alcançando 2,93 vezes mais matéria seca de raízes; foi

semelhante ao descoberto 22 m e preparo alternado. Os tratamentos cultivo mínimo e convencional apresentaram valores intermediários, 1,3 e 1,74 vezes inferiores ao descoberto 22 m (FIGURA 02). No que se refere ao plantio direto, a pouca produção de raízes está relacionada ao ataque de fitopatógenos, que além de inibir o crescimento, destruíram-nas. Para a camada de 10 a 20 cm, o preparo convencional apresentou produção significativamente superior de massa seca de raízes em relação a apresentada pelos tratamentos preparo alternado, plantio direto e descoberto 22 m, representando acréscimo de 190; 179 e 126 %, respectivamente. Descoberto 22 m, plantio direto e preparo alternado apresentaram menores quantidades de raízes em relação a produção de matéria seca do descoberto 11 m e preparo convencional.

O preparo alternado e plantio direto apresentaram as menores perdas de solo e tiveram comportamentos semelhantes na distribuição de raízes de trigo no perfil do solo. Enquanto que o preparo convencional apresentou maior produção de massa seca de raízes na profundidade de 10 a 30 cm; para a camada 20 a 30 cm a produção de raízes do preparo convencional foi semelhante ao descoberto 22 m e descoberto 11 m, superior ao plantio direto, preparo alternado e cultivo mínimo, 305,3; 197,8 e 158,5 % respectivamente.

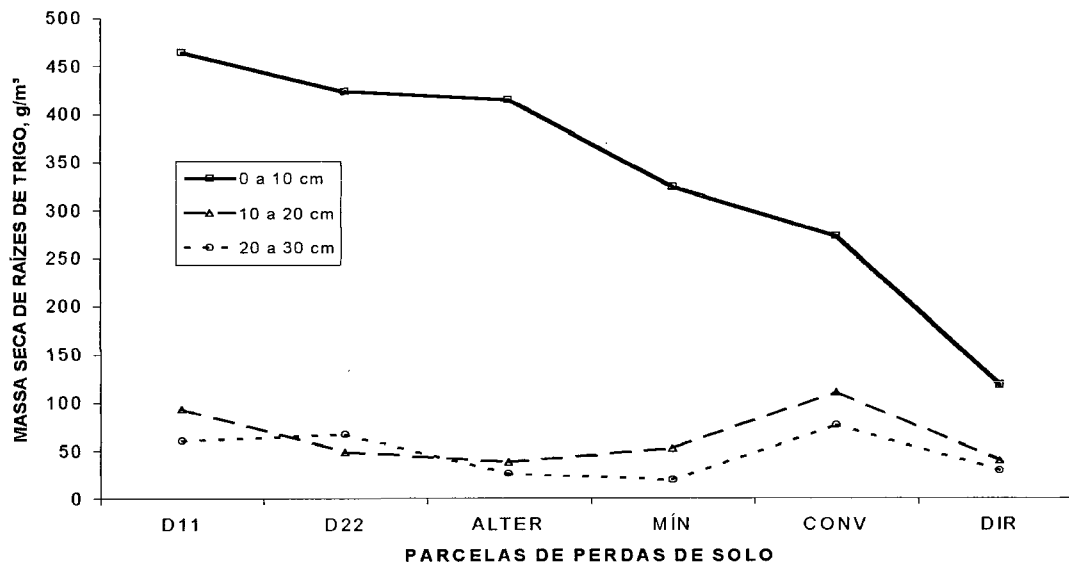


FIGURA 02. Distribuição das raízes do trigo, nos tratamentos sob erosão natural, no perfil do solo analisado, média de 3 repetições.

Observou-se que a distribuição de massa seca de raízes no perfil do solo variou com o tratamento. O preparo alternado apresentou maiores reduções na massa seca de raízes no perfil do solo, entre as camadas superficial e 10 a 20 cm. Os tratamentos preparo convencional e descoberto

11 m, no entanto, tiveram a distribuição de raízes de maneira mais homogênea na profundidade avaliada. Quando procedeu-se uma correlação entre a massa seca de raízes produzida pelos tratamentos da erosão natural e a resistência a penetração na profundidade 20 a 30 cm, para o período seco – maio de 1996 – a melhor correlação obtida foi com uma equação polinomial de segunda ordem, cujo coeficiente foi de média correlação ( $R^2 = 0,41$ ) entre as variáveis (FIGURA 03.A). Após ter chovido – solo úmido – a análise de regressão dos valores de resistência a penetração e produção de massa seca de raízes de trigo na profundidade 10 a 20 cm mostrou o melhor coeficiente de correlação ( $R^2 = 0,44$ ) e equação polinomial de segunda ordem (FIGURA 03.B).

#### **4.1.2. Avaliação da Cultura da Soja**

##### **4.1.2.1. Altura de plantas**

Nas avaliações procedidas durante o período de desenvolvimento da cultura do soja, observou-se que o cultivo mínimo e o plantio direto – que perderam menores espessuras da superfície do solo – apresentaram alturas de plantas significativamente superiores ao tratamento descoberto 22 m, indicando que as plantas nesses tratamentos tiveram maior velocidade de crescimento e alcançaram também alturas médias finais superiores (FIGURA 04 A). As parcelas localizadas no tratamento descoberto 22 m, quando foram avaliadas em separado (duas partes), apresentaram diferenças. A parte inferior apresentou as menores alturas, tanto aos 65 dias após a semeadura, quanto no pleno florescimento (95 dias), indicando haver maiores perdas na capacidade produtiva desta.

##### **4.1.2.2. Massa seca da parte aérea no pleno florescimento**

A produção de matéria seca total da parte aérea foi maior no plantio direto, diferindo estatisticamente do descoberto 22 m, preparo convencional, descoberto 11 m e cultivo mínimo e foi semelhante ao preparo alternado. O peso de vagens no plantio direto apresentou produção significativamente superior ao descoberto 22 m (FIGURA 04 B). O preparo convencional apresentou e os sistemas que mantiveram no período anterior o solo permanentemente descoberto – 11 e 22 m – a menor produção de massa seca da parte aérea. Isto indica que as perdas na camada

superficial do solo ocasionaram menor desenvolvimento nas fases iniciais, o que pode interferir na produção final, caso haja algum fator desfavorável; a cultura pode sofrer mais a competição dos inços, ataque de pragas e déficit hídrico.

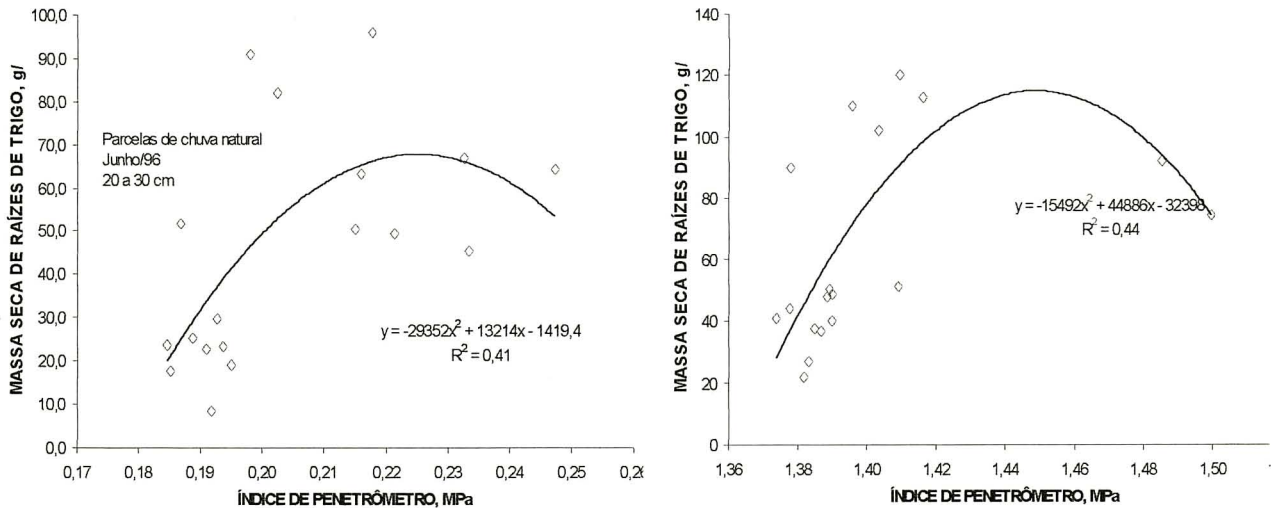


FIGURA 03. A (direita). Gráfico da equação ajustada por regressão para a produção de massa seca de raízes nas parcelas de erosão natural, em função da resistência apresentada pelo solo a penetração, na profundidade de 10 a 20 cm, para a amostragem de maio de 1996 e B (esquerda). Correlação entre produção da massa seca de raízes trigo e resistência do solo a penetração na profundidade 20 a 30 cm, para a amostragem de junho de 1996; média de 3 repetições.

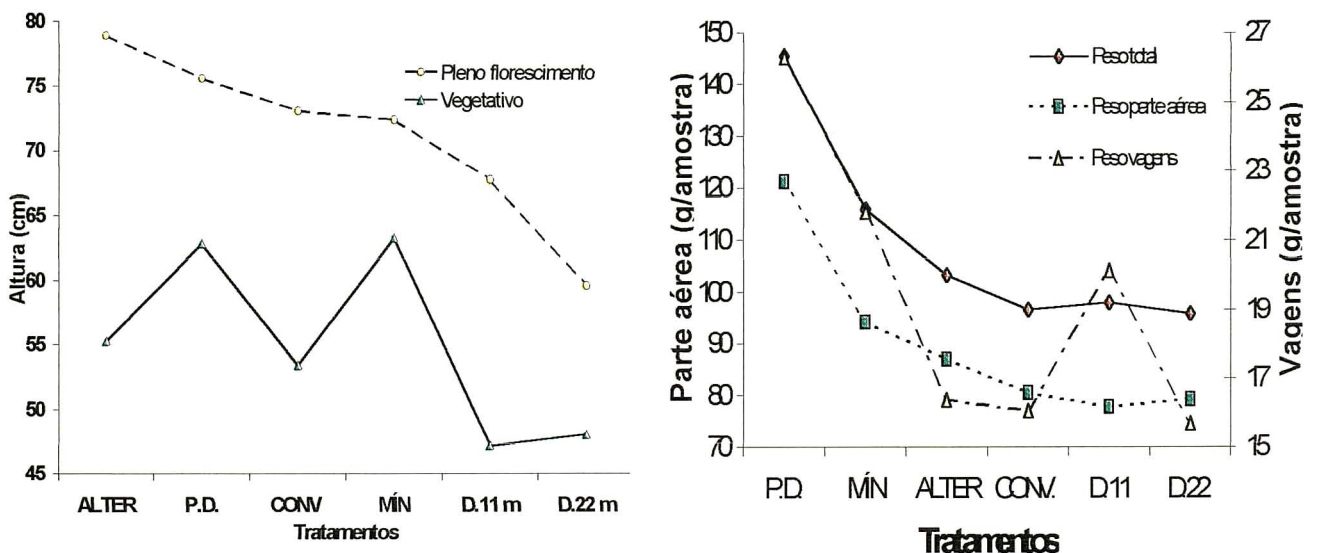


FIGURA 04. A. Altura de planta para a cultura de soja aos 65 dias após a semeadura e no pleno florescimento, nos tratamentos em erosão natural, média de 4 repetições (esquerda) e B. Produção de massa seca partes vegetativas e vagens da cultura do soja no final do florescimento, nos tratamentos sob erosão natural; média de 3 repetições (direita).

### 5.2.2.2. Produção de soja na colheita

Na produção de soja o descoberto 22 m, que perdeu 6 cm da superfície do solo, teve os menores rendimentos de palha e grãos, indicativo de haver perdido parte de seu potencial produtivo. Pode ter contribuído para isso a perda da MO como consequência do desgaste da superfície, sendo esta muito importante nesse solo. Ao avaliar este tratamento – descoberto 22 m – em duas partes, superior e inferior, observou-se que houveram diferenças dentro deste; as parcelas localizadas na parte inferior apresentaram menores vigor, altura de plantas (durante e no final do ciclo), produção de grãos e de palha do que as parcelas situadas na parte superior as quais foram menos desgastadas.

Ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos que perderam 0,05 cm – cultivo mínimo e plantio direto – e o que perdeu 6 cm da superfície do solo – descoberto 22 m (TABELA 04).

TABELA 04. Produção de grãos, massa seca total e relação grão/palha da cultura do soja nos tratamentos sob erosão natural, média de 3 repetições.

Tratamentos	Grãos	Palha	MS Total	grão/palha
	Kg/ha			
Plantio direto	2959 a	2817 ab	5776	1,05
Cultivo alternado	2914 ab	2756 ab	5670	1,06
Cultivo mínimo	3319 a	2586 ab	5905	1,28
Preparo convencional	2772 ab	2411 ab	5183	1,15
Descoberto 11 m	2609 ab	3457 a	6067	0,75
Descoberto 22 m	2113 b	1882 b	3994	1,12
CV (%)	10,5	14,7	-	-

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

A produção média dos três tratamentos que tiveram perdas de camadas de solo de apenas 0,05 cm (plantio direto, preparo alternado e cultivo mínimo) foi de 3064,4 kg/ha. Comparando-se esta produtividade com àquelas dos tratamentos com perdas de 3 cm (D11) e de 6 cm (D22), a diferença

chegou a 150 Kg/ha por centímetro de solo perdido, mantendo-se a mesma proporção independente da espessura da camada de solo perdida.

Através de regressão linear foi estabelecida a melhor correlação, mostrada na FIGURA 05, entre produtividade de soja e as perdas de camadas de solo por ação da erosão causada pela chuva natural. Com base na correlação alcançada ( $R^2 = 0,62$ ), pôde-se estimar que em média, a perda de produtividade da soja foi de 139 kg/ha para cada centímetro de solo perdido por erosão hídrica. A produção de soja usada para corresponder à perda de uma camada de 0,05 cm foi estabelecida pela média obtida nos três sistemas de preparos conservacionistas.

#### 4.1.2.3. Raízes da soja:

Na avaliação da massa seca de raízes do soja, as variações que resultaram da característica da variável analisada, somada a imprecisão do equipamento de amostragem utilizado (trado holandês), que mostrou-se inadequado, pois contribuiu para elevar o coeficiente de variação. Valores muito dispersos foram encontrados, dando mostras de que o sistema não foi capaz de reproduzir a realidade da área do experimento. Isso fica evidente nos resultados do cultivo mínimo, onde, para a camada superficial não foram encontradas raízes e estas apresentam aumento com a profundidade (TABELA 05).

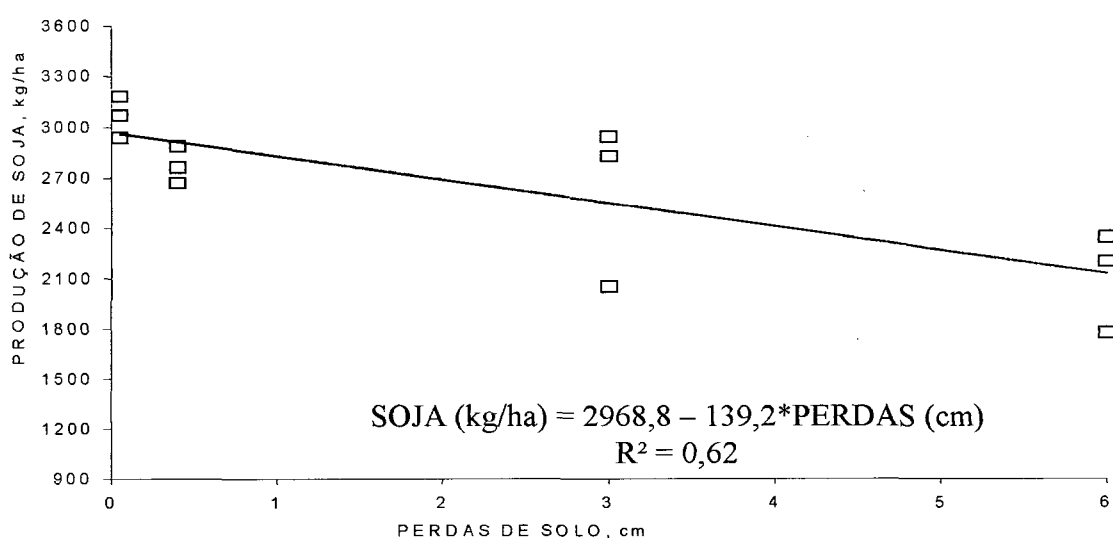


FIGURA 05. Correlação entre os valores de produtividade apresentados pela soja e a espessura de solo perdida por erosão natural; média de três repetições.



TABELA 05. Distribuição da massa seca de raízes da cultura do soja, em 3 profundidades, nos tratamentos sob erosão natural, média de 3 repetições. Valores em  $\text{g/m}^3$ .

Tratamentos	Profundidades		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
	$\text{g/m}^3$		
Plantio direto	16.98 a	40.32 a	13.79 a
Preparo alternado	9.55 a	6.37 a	2.47 a
Cultivo mínimo	descartado	1.06 a	6.01 a
Preparo convencional	10.96 a	43.86 a	3.18 a
Descoberto 11 m	49.16 a	17.68 a	5.31 a
Descoberto 22 m	21.57 a	4.24 a	3.18 a
CV (%)	87,67	110,35	109,21

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

#### 4.1.3. CARACTERÍSTICAS DO SOLO

##### 4.1.3.1. Física do solo

Os valores de densidade do solo nas parcelas dos tratamentos sob erosão natural apresentaram diferenças significativas apenas na camada superficial; o tratamento preparo convencional apresentou maior densidade do solo que ao demais. Os resultados (TABELA 06) indicam que o nível de compactação do solo não restringiu o crescimento das raízes, pois foram bem abaixo do valor crítico determinado para Latossolo Vermelho-Escuro, de  $1,6 \text{ Mg/m}^3$  de solo (ESTADOS UNIDOS, 1975). O maior valor foi apresentado pelo tratamento descoberto 22 m ( $1,15 \text{ Mg/m}^3$ ) na camada entre 20 e 30 cm de profundidade; estes resultados concordam com DERPSCH (1991). Os resultados da determinação da densidade de partículas são apresentados no ANEXO X; as variações ocorridas foram atribuídas a alteração nos teores de C orgânico.

Na TABELA 06, pode-se verificar que os tratamentos tiveram efeito significativo sobre a porosidade total e espaço aéreo do solo. Dentre os sistemas de preparo testados, o plantio direto que teve a menor perda de solo, apresentou a maior porosidade total na camada superficial, diferindo significativamente de todos os tratamentos, com exceção do preparo alternado; nesta profundidade, para as tensões de 1 e 3 kPa, este último, juntamente com o sistema convencional de preparo

apresentaram as menores porosidades de aeração na camada entre 10 e 20 cm, indicativo de que o manejo do solo contribuiu para a redução na macroporosidade. O cultivo mínimo teve a maior porosidade total entre 20 e 30 cm, enquanto que o preparo convencional apresentou comportamento semelhante ao descoberto 22 m, caracterizado pela menor porosidade total. Os tratamentos não diferiram significativamente na porosidade de aeração na camada superficial para as tensões 1 e 3 kPa. O tratamento preparo convencional – 3 cm de perdas – apresentou maior porosidade de aeração em ambas as tensões e os que perderam 0,4 e 0,05 cm – preparos convencional e alternado – apresentaram as menores aerações nestas tensões.

Na FIGURA 07 encontram-se as representações gráficas das regressões poligonais de 2ª ordem, entre a macroporosidade do solo nos diversos níveis de perdas da camada superficial e as produtividades de trigo e soja. Na medida em que aumentou a macroporosidade, diminuiu a produtividade do trigo ( $R^2 = 0,516$ ) e a da soja tendeu a aumentar ( $R^2 = 0,25$ ). Um dos fatores que pode ter contribuído para este comportamento das culturas, deve-se ao fato que no desenvolvimento do trigo ocorreu distribuição irregular das precipitações na fase de florescimento/enchimento de grãos, fato que não ocorreu na soja.

Os efeitos da perda da camada superficial sobre as características físicas do solo não são claros. Enquanto que a densidade do solo aumentou com a intensidade de preparo, a porosidade total e de aeração não apresentaram interação significativa com a espessura da camada superficial perdida. As águas retida e disponível na camada de 0 a 20 cm do solo também não foram significativamente afetadas pelas perdas e na profundidade entre 20 e 30 cm, o preparo convencional teve o menor volume de água disponível, enquanto que o Descoberto 11 m apresentou o maior volume (FIGURAS 06 e 08; TABELA 07).

Para a porosidade de aeração (FIGURA 09), os tratamentos apresentaram valores superiores a 10 % na capacidade de campo. O tratamento descoberto 11 m apresentou o maior valor na superfície e o menor – abaixo de 10 % - na profundidade 20 a 30 cm. Para os níveis de perdas as parcelas avaliadas apresentaram porosidade de aeração superior a 10 % na capacidade de campo, não havendo problemas graves de aeração nesta área, característico de Latossolos – bem drenados e com boa estrutura – o que propicia bom arejamento. Quando avaliou-se o efeito das variações das propriedades físicas do solo sobre a produtividade do trigo, observou-se que com o aumento da saturação de água, macro e microporosidades na superfície do solo e volume de água de 10 a 20 cm, diminuiu a produtividade do trigo (FIGURA 11 B). THOMAS & CASSEL (1979) encontraram valores semelhantes para Alfisols.

TABELA 06. Densidade do solo, porosidades total e de aeração do solo nos tratamentos sob erosão natural, em 3 profundidades, média de 3 repetições.

Tratamentos	Densidade do solo	Porosidade total	Porosidade de aeração	
	Mg/m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> / cm <sup>3</sup>	1 kPa	3 kPa
				%
Profundidade de 0 a 10 cm				
Plantio direto	0,8 b*	68,2 a	9,7 b	20,1 ab
Preparo alternado	0,88 ab	65,1 ab	5,2 d	13,0 c
Cultivo mínimo	0,91 ab	61,8 ab	10,2 b	16,5 bc
P. convencional	0,97 a	58,3 b	5,8 cd	12,2 c
Descoberto 11 m	0,92 ab	61,9 ab	13,9 a	21,5 a
Descoberto 22 m	0,95 ab	61,4 b	9,3 bc	19,3 ab
Profundidade de 10 a 20 cm				
Plantio direto	0,96 a	68,2 a	11,3 a	16,8 a
C. mínimo	0,98 a	61,8 ab	14,1 a	19,3 a
Alternado	1,03 a	65,1 ab	8,7 a	11,5 a
Convencional	1,09 a	61,3 ab	8,4 a	12,8 a
Descoberto 11 m	1,045 a	59,3 b	10,0 a	11,5 a
Descoberto 22 m	1,11 a	58,3 b	11,4 a	13,9 a
Profundidade de 20 a 30 cm				
Plantio direto	0,97 a	57,3 a	11,1 a	15,5 a
Alternado	1,03 a	57,1 a	10,3 a	15,3 a
C. mínimo	0,96 a	58,1 a	12,7 a	14,9 a
Convencional	1,12 a	50,0 bc	9,3 a	11,3 a
Descoberto 11 m	1,03 a	56,0 ab	9,5 a	11,3 a
Descoberto 22 m	1,15 a	49,1 c	12,5 a	14,2 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

Na camada superficial os valores de retenção de água no solo foram semelhantes para os tratamentos, com exceção do cultivo mínimo que apresentou maior água retida. Para a profundidade de 10 a 20 cm o cultivo mínimo e o preparo convencional tiveram os maiores valores de água retida. A quantidade de água retida a tensões menores que 100 kPa foi superior a 25 % nas profundidades avaliadas. Na profundidade de 0 a 20 cm a capacidade de retenção de água em todas as tensões foi

maior no cultivo mínimo. De 20 a 30 cm o plantio direto apresentou a maior capacidade de retenção de água nas tensões até 100 kPa, em 300 kPa.

TABELA 07. Características da distribuição de água no solo sob os tratamentos de erosão natural em sistemas de manejos que contribuíram para diferentes níveis de perdas da camada superficial do solo, em 3 profundidades, média de 3 repetições. Valores em  $\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$ .

Tratamentos	Água na Saturação	Água total a 6 kPa	Água total a 300 kPa	Água disponível
	$\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$			
Profundidade de 0 a 10 cm				
Plantio direto	63,0 a	40,3 a	29,6 a	10,6 a
Preparo alternado	66,6 a*	44,4 a	36,0 a	8,4 a
Cultivo mínimo	55,1 a	37,4 a	30,2 a	7,1 a
Convencional	60,2 a	43,6 a	35,6 a	8,0 a
Descoberto 11 m	64,3 a	40,1 a	28,4 a	11,8 a
Descoberto 22 m	62,6 a	39,0 a	32,2 a	6,7 a
Profundidade de 10 a 20 cm				
Plantio direto	57,4 a	40,8 a	29,4 a	11,4 a
Preparo alternado	59,7 a	45,7 a	41,1 a	4,5 a
Cultivo mínimo	57,9 a	37,2 a	28,6 a	8,6 a
Convencional	59,4 a	43,9 a	41,1 a	4,7 a
Descoberto 22 m	57,1 a	40,9 a	32,0 a	8,8 a
Descoberto 11 m	53,1 a	40,3 a	32,4 a	7,9 a
Profundidade de 20 a 30 cm				
Plantio direto	62,2 a	46,3 a	37,9 a	8,3 ab
Preparo alternado	59,0 a	42,9 a	35,3 a	7,6 ab
Cultivo mínimo	58,3 a	40,8 a	27,9 a	12,9 a
Convencional	56,3 a	42,9 a	38,3 a	4,6 b
Descoberto 11 m	55,5 a	43,4 a	30,3 a	13,0 a
Descoberto 22 m	59,1 a	43,9 a	35,8 a	8,1 ab

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

De uma maneira geral os Latossolos, quando comparados com outros solos, apresentam menor capacidade de retenção de água e os não erodidos ou moderadamente erodidos tem menor água retida que os Latossolos mais erodidos. Os Latossolos por serem profundos e bem drenados geralmente apresentam menor proporção de água retida em baixas tensões. HSIEH et al. (1972) afirmaram que é desejável que haja o máximo volume de água retida nestas tensões. RACHWAL (1992) avaliando a capacidade de retenção de água dos solos do Município de Contenda PR, observou que os Latossolos não e levemente erodidos tiveram menor retenção nas tensões superiores a 100 kPa do que os Cambissolos. Percebe-se que nos Latossolos onde o teor de MO é maior, a quantidade de água retida é geralmente menor. ABRÃO (1977) encontrou correlação negativa entre o teor de MO e o volume de água retida. As FIGURAS 07 e 08 ilustram as diferenças na retenção de água e água disponível nas profundidades analisadas.

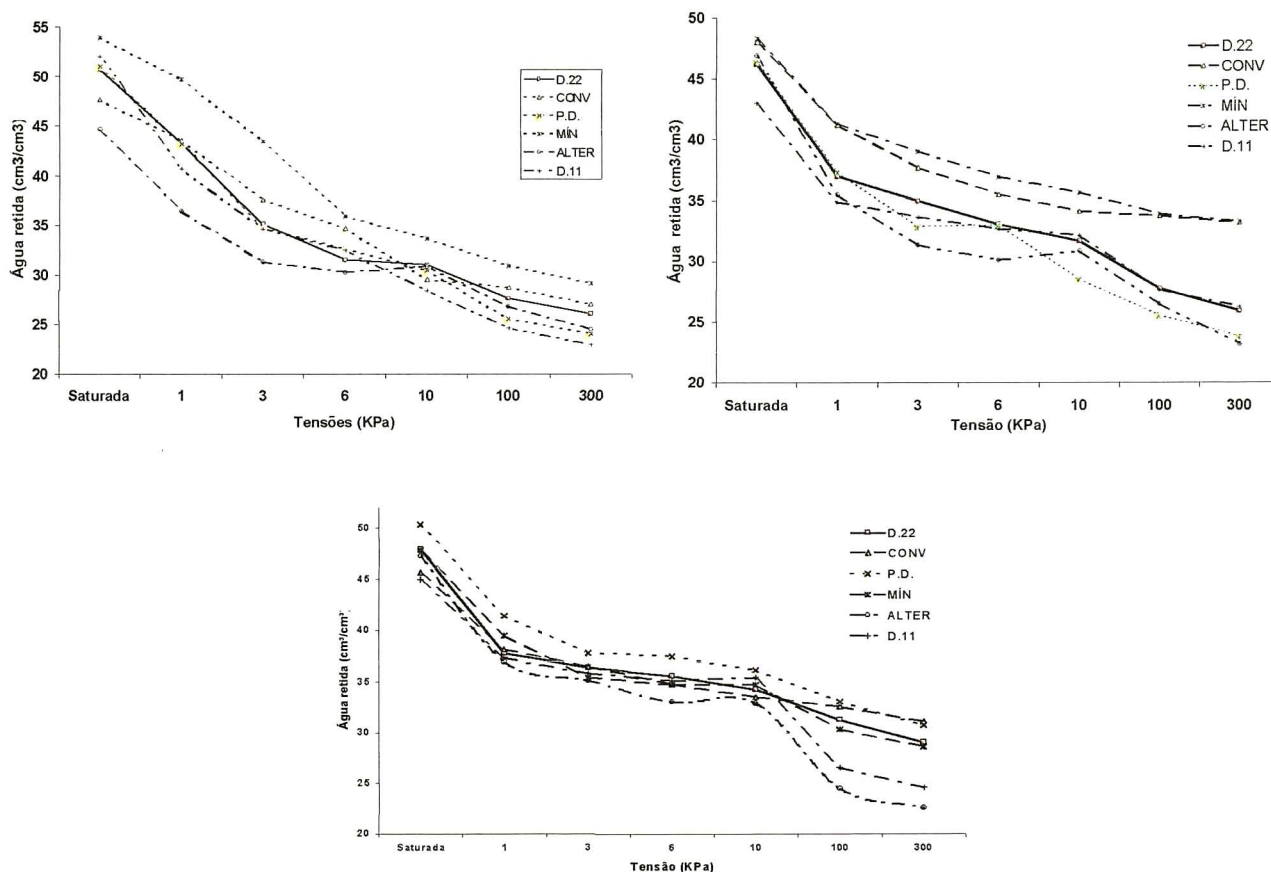


FIGURA 06. Água retida no solo ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) sob o processo erosivo natural;  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , na profundidade de 0 a 10 cm (esquerda), 10 a 20 cm (direita) e 20 a 30 cm (abaixo). Valores das tensões em KPa; média de 3 repetições.

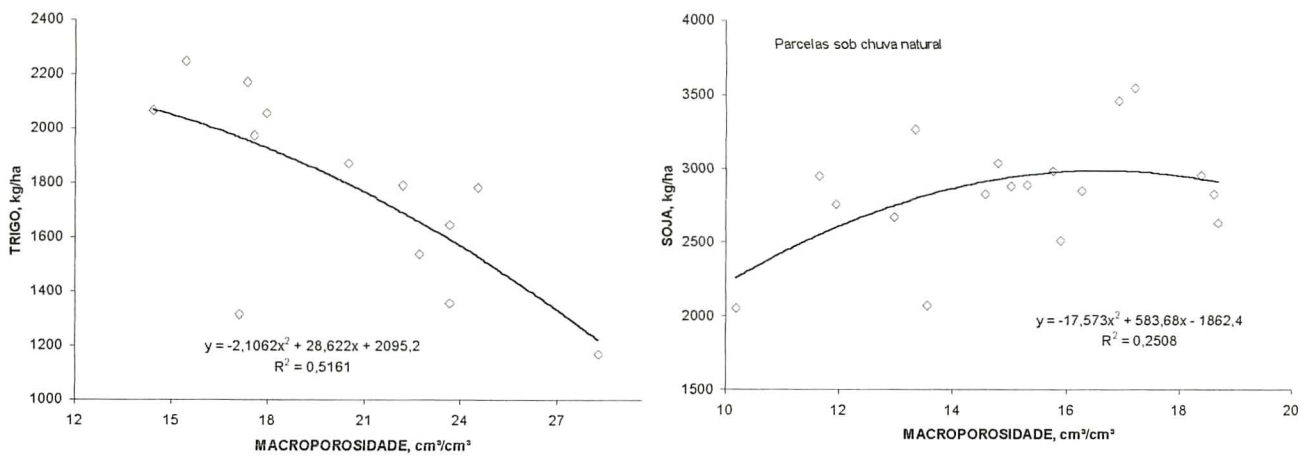


FIGURA 07. Influência da macroporosidade do solo sob os tratamentos de erosão natural, sobre a produtividade do trigo (esquerda) e da soja (direita).

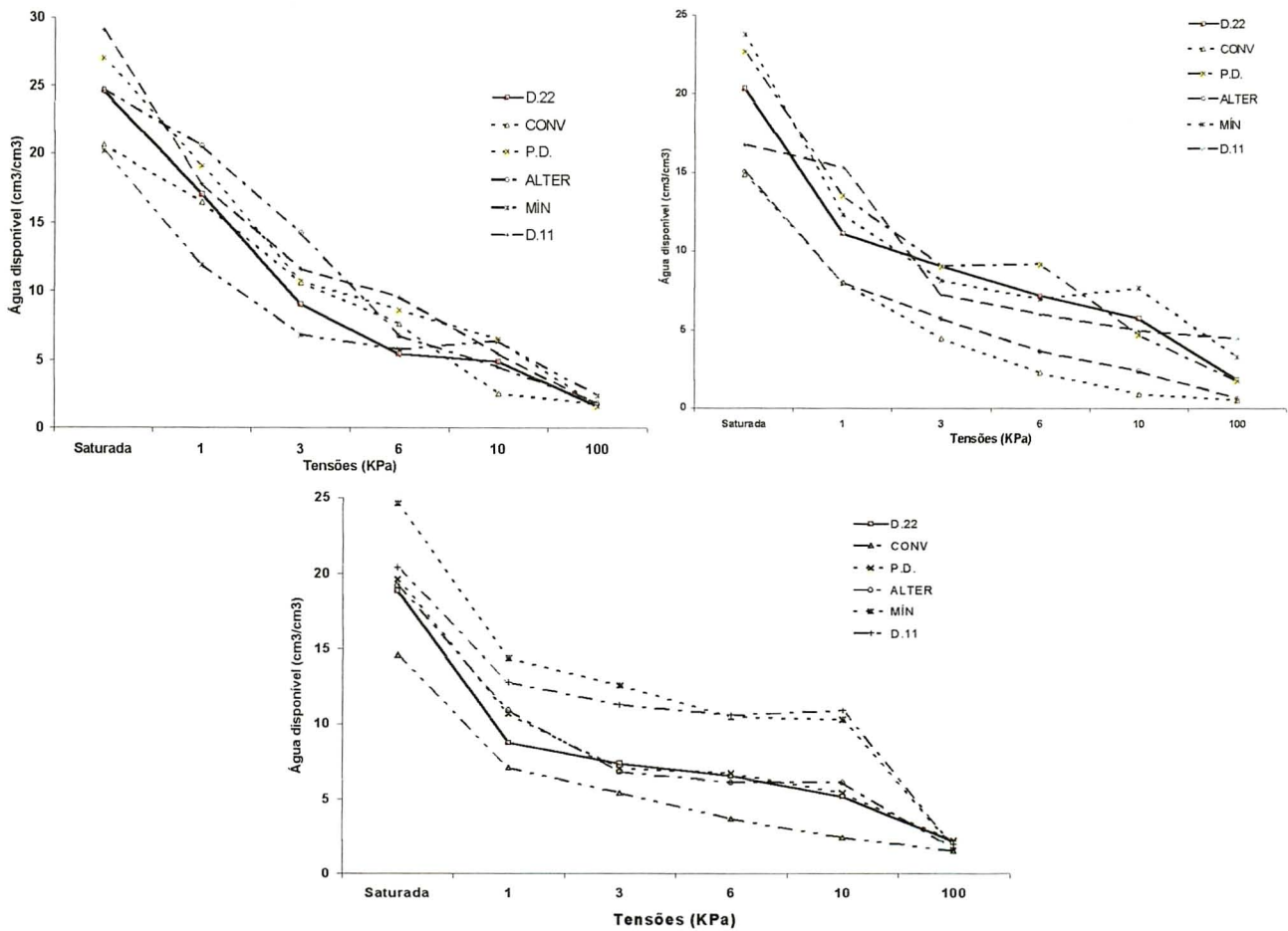


FIGURA 08. Valores de água disponível entre o volume de água na tensão referida e o volume de água a 300 kPa no solo na profundidade 0 a 10 cm (acima e a esquerda) 10 a 20 cm (acima e a direita) e 20 a 30 cm (abaixo); média de 3 repetições.

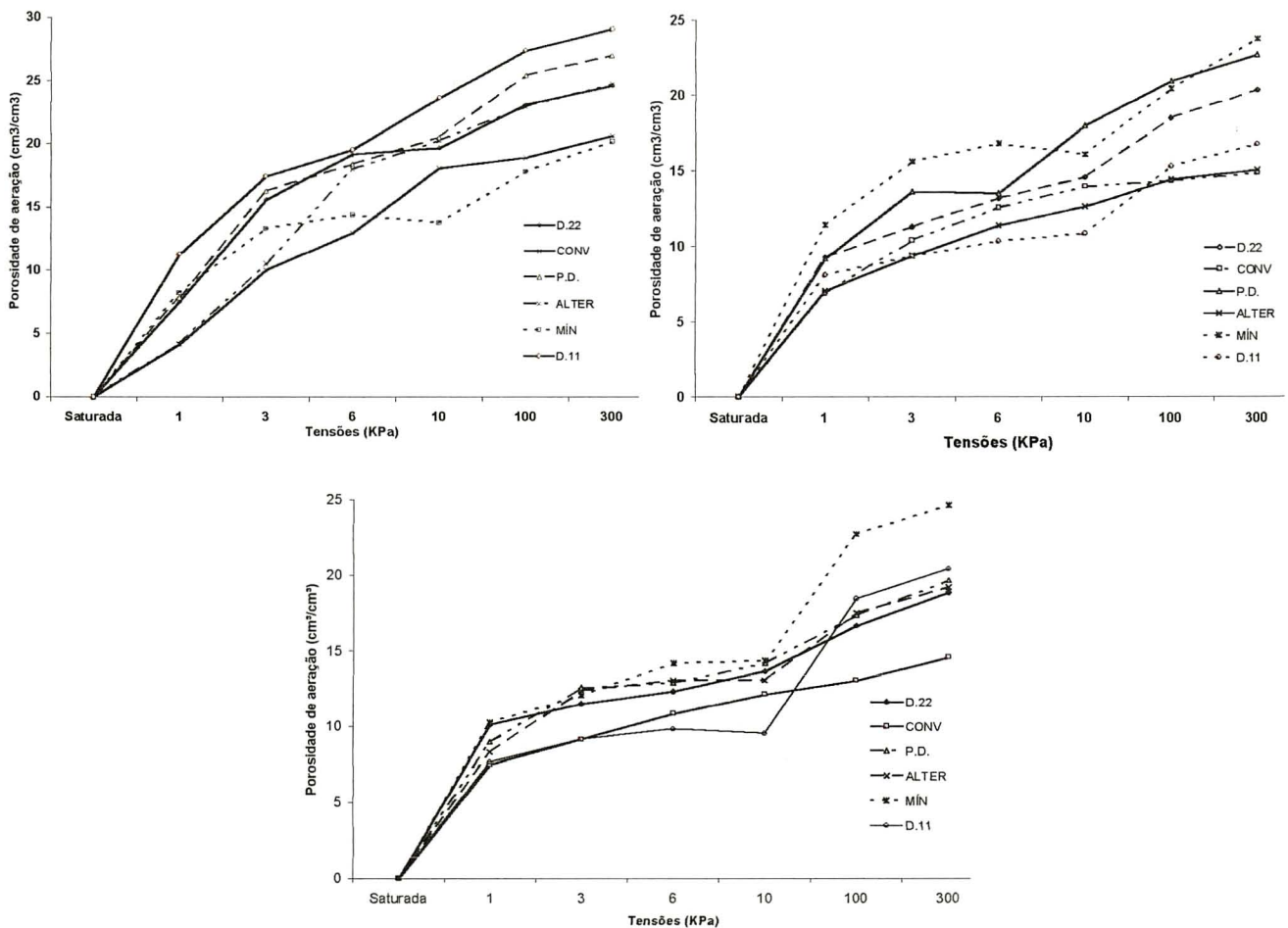


FIGURA 09. Porosidade de aeração ( $\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$ ) da camada superficial do solo (acima e a esquerda), 10 a 20 cm (acima e a direita) e 20 a 30 cm (abaixo), nas tensões de 0 a 300 kPa.

A resistência do solo à penetração foi determinada em maio e junho, em período seco e após haver chovido respectivamente, para avaliar os efeitos dos tratamentos sobre a resistência do solo a penetração. Seus resultados revelaram um pico de resistência entre as profundidades 0-10 e 10-20 cm, com valores de IC de 2,98 MPa na superfície do solo, no tratamento preparo alternado; 1,95 e 1,47 MPa a 10 e 20 cm de profundidade no descoberto 11 m, respectivamente; resultado dos manejos anteriores. Considera-se que os valores elevados. O preparo que consistiu de aração e gradagens até 20 cm de profundidade foi o mais suscetível a compactação em superfície; mas na camada entre 10 e 20 cm, da amostragem de junho, a análise estatística evidenciou diferenças devido o nível da compactação, causado provavelmente pela destruição da estrutura dos agregados de maior tamanho, por ação dos implementos, utilizados no preparo do solo, agravada principalmente quando procedido em umidade inadequada; HILL et al. (1990) encontraram resultados semelhantes.

Na amostragem de maio, as alterações nos valores de resistência a penetração não foram estatisticamente diferentes. O preparo alternado apresentou a maior resistência na superfície; descoberto 11 m de 10 a 20 cm. Ao gradiente de resistência existente entre as profundidades amostradas (ANEXO XII).

Na superfície do solo não houveram diferenças significativas entre os tratamentos após ter chovido (junho). Para a camada entre 10 e 20 cm o tratamento descoberto 11 m apresentou resistência significativamente superior aos tratamentos dos preparos convencional, alternado e descoberto 22 m; porém sem haver restrição ao desenvolvimento das raízes. Na profundidade de 20 cm, os tratamentos descobertos – 11 e 22 m – diferiram estatisticamente dos preparos conservacionistas, com resistência 21 e 14 % respectivamente, superior aos mesmos (TABELA 08). O plantio direto, na profundidade 10 cm apresentou o menor IC. Estas parcelas sofreram arações periódicas, isto contribuiu para a compactação apresentada na camada entre 10 a 20 cm de profundidade.

TABELA 08. Valores de Índice de Cone na determinação após ter chovido, em 3 profundidades, nos tratamentos sob erosão natural, média de 11 repetições. Valores em MPa.

Tratamentos	Profundidades		
	Superfície	10 cm	20 cm
MPa			
Plantio direto	0,66 a	0,55 b	0,19 c
Preparo alternado	0,66 a	0,56 b	0,19 c
Cultivo mínimo	0,66 a	0,56 b	0,19 c
Preparo convencional	0,66 a	0,56 b	0,21 bc
Descoberto 11 m	0,67 a*	0,58 a	0,23 a
Descoberto 22 m	0,66 a	0,57 ab	0,22 ab

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

#### 4.1.3.2. Química do solo

Analisando a TABELA 09, observa-se que houveram diferenças nos teores de C orgânico em todas as profundidades avaliadas. Os tratamentos que mais perderam solo por erosão natural, apresentaram maior redução. O tratamento descoberto 22 m que mais sofreu erosão por estar



permanentemente sem cobertura por 17 anos e ter o maior comprimento de rampa, apresentou o valor de C orgânico da superfície semelhante aos níveis dos tratamentos plantio direto, preparo alternado e cultivo mínimo na camada 20 a 30 cm. Isto representa uma perda média de 32,9 % quando comparados com os valores destes mesmos tratamentos na superfície. Perdas de K também foram significativas no tratamento descoberto 22 m, considerando que o K quando ligado ao C orgânico está menos vulnerável (FRYE et al., 1985).

No que se refere aos teores de P, ocorreram diferenças significativas nos valores encontrados no solo, especialmente na camada superficial. Os manejos que menos revolveram o solo, apresentaram maiores teores, mesmo porque a incorporação dos fertilizantes foi realizada em menor profundidade pois o P é um nutriente com pouca mobilidade no solo. Comparando o plantio convencional com as parcelas do tratamento descoberto 22 m observou-se significativa redução nos valores de P. O preparo alternado apresentou os maiores níveis e diferiu dos tratamentos descoberto 22 m, preparo convencional e descoberto 11 m em todas as profundidades avaliadas. A produção do trigo apresentou redução coincidente com a redução nos teores de P da superfície, C orgânico da profundidade entre 10 e 20 cm (FIGURA 10 A).

Observou-se que o tratamento descoberto 22 m que apresentou os menores teores de C orgânico, manteve o seu índice de pH acima de 5 nas profundidades observadas, podendo ser resultado dos menores teores de C orgânico presentes neste tratamento pela redução do seu poder tampão. Os valores de pH da superfície não foram restritivos para o desenvolvimento das raízes das culturas analisadas, o que pode ter ocorrido nas camadas subsequentes para o plantio direto, cultivo mínimo e descoberto 11 m. Apesar de ter sofrido o desgaste de uma camada estimada em 6 cm e de ter reduzido o seu teor de C orgânico a 67 % dos valores médios observados nos tratamentos conservacionistas, o descoberto 22 m apresentou CTC na superfície do solo semelhante a estes; o efeito da perda de C orgânico na variação da CTC pode ter sido atenuado pela aplicação de calcário. Entre 10 e 20 cm diferiram os tratamentos preparo alternado e descoberto 11 m e de 20 a 30 cm o plantio direto apresentaram maior CTC do que os tratamentos mais desgastadas.

Na FIGURA 11.A apresenta-se a representação gráfica de uma regressão linear entre a produtividade do trigo e os teores de C orgânico na profundidade de 10 a 20 cm. Com um coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 0,35, observou-se que a produtividade do trigo aumentou com o incremento do C orgânico e quando ajustou-se uma equação de correlação entre a produtividade da soja e a CTC do solo para a camada de 20 a 30 cm (FIGURA 11.B), a melhor correlação ocorreu em função de uma equação polinomial de segunda ordem, cujo coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 0,50,

indica que o aumento da CTC até valores superiores a 10 meq/100 g de solo, promoveu aumento na produtividade.

Para Ca + Mg os tratamentos não apresentaram diferenças na camada superficial. De 10 a 20 cm os tratamentos descoberto 22 m e o preparo alternado apresentaram valores superiores aos tratamentos plantio direto, descoberto 11 m. Na camada 20 a 30 cm o descoberto 22 m apresentou níveis mais elevados, diferindo significativamente de todos os tratamentos. Em todas as camadas o descoberto 11 m apresentou as menores concentrações.

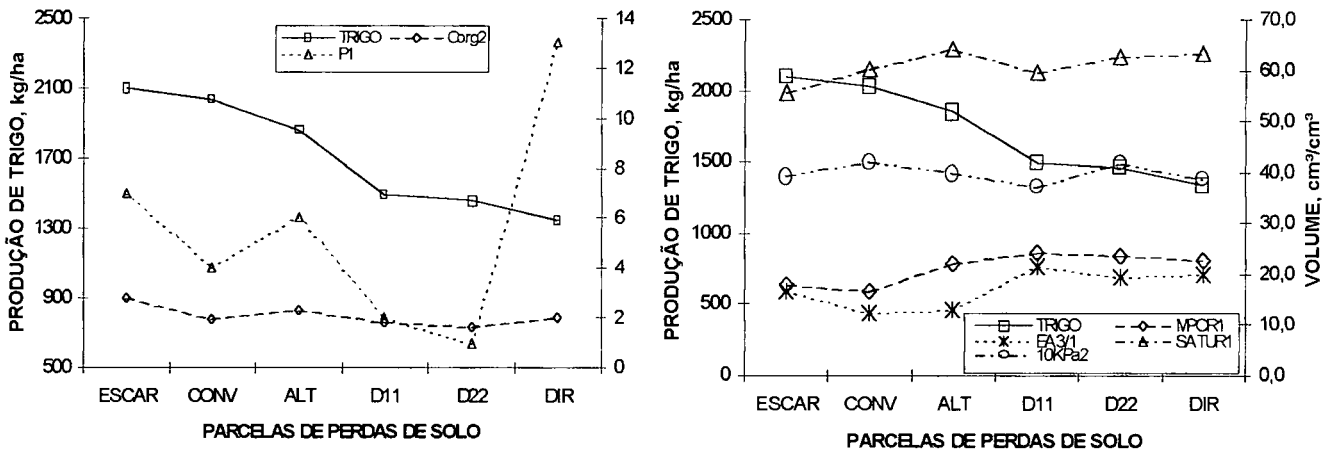


FIGURA 10. **A.** Produção da soja e níveis de concentração de P(ppm) e C orgânico(%) no solo (esquerda) e **B.** Relação entre produção do trigo e as características físicas do solo nos tratamentos sob erosão natural (direita); médias de 3 repetições (número após o símbolo do elemento químico indica a profundidade: 1. superfície, 2. 10 a 20 cm e 3. 20 a 30 cm).

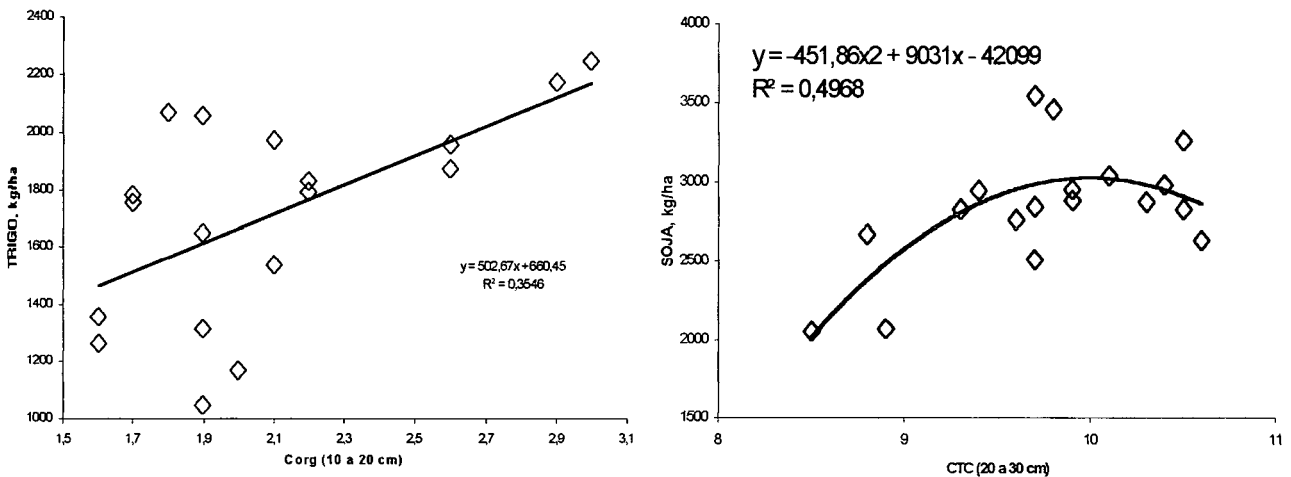


FIGURA 11. **A.** Gráfico da equação ajustada da produção do trigo em função dos teores de C orgânico(%) na profundidade de 10 a 20 cm, nas parcelas de erosão natural (esquerda) e **B.** Correlação entre a produção da soja e a CTC(meq/100g solo) na camada de 20 a 30 cm de profundidade, para as parcelas da erosão natural (direita); média de 3 repetições.

TABELA 09. Resultados das avaliações das propriedades químicas do solo nos tratamentos sob erosão natural, em 3 profundidades, média de 3 repetições.

Tratamentos	C orgânico	K	P	pH	CTC	Ca + Mg
	(%)	(meq/100 g)	(ppm)	-	-	(meq/100 g)
Profundidade de 0 a 10 cm						
Plantio direto	2.6 abc	0.27 a	13 a	5.5 ab	12.8 a	8.7 a
P. alternado	2.9 ab*	0.17 ab	7 b	5.4 ab	13.4 a	9.8 a
Cultivo mínimo	3.0 a	0.20 a	6 bc	5.0 b	13.5 a	8.5 a
Convencional	2.3 cd	0.17 ab	4 cd	5.8 a	11.9 a	7.9 a
Descoberto 11 m	2.5 bc	0.21 a	2 de	5.1 b	12.5 a	7.3 a
Descoberto 22 m	1.9 d	0.09 b	1 e	5.6 ab	12.2 a	8.8 a
Profundidade de 10 a 20 cm						
Plantio direto	2.0 bc	0.18 a	3 ab	4.5 cd	11.2 ab	2.6 b
P. alternado	2.8 a	0.12 b	5 a	5.1 ab	11.4 a	5.6 a
Cultivo mínimo	2.3 b	0.08 bc	3 ab	4.7 bcd	11.0 ab	3.7 ab
Convencional	1.9 bc	0.07 bc	2 b	4.9 abc	10.7 ab	3.7 ab
Descoberto 11 m	1.8 c	0.07 bc	1 b	4.3 d	9.8 b	1.2 b
Descoberto 22 m	1.6 c	0.03 c	1 b	5.2 a	9.9 ab	5.6 a
Profundidade de 20 a 30 cm						
Plantio direto	1.8 ab	0.17 a	1 b	4.2 b	10.5 a	1.3 bc
P. alternado	1.9 a	0.06 b	1.7 a	4.5 b	9.8 abc	2.0 bc
Cultivo mínimo	1.9 a	0.05 b	1 b	4.4 b	10.3 ab	1.9 bc
Convencional	1.5 b	0.03 b	1 b	4.5 b	9.4 bc	2.4 b
Descoberto 11 m	1.5 b	0.05 b	1 b	4.2 b	9.1 c	0.9 c
Descoberto 22 m	1.5 b	0.03 b	1 b	5.2 a	9.4 bc	4.1 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

## 4.2. SIMULAÇÃO DE EROSÃO

### 4.2.1 Cultura do trigo

#### 4.2.1.1. Altura de plantas

Para os tratamentos da erosão simulada, as parcelas em que foram removidos 3 cm da superfície apresentaram maiores alturas média de plantas que o sem remoção (0 cm) e remoção 6 cm e foi semelhante ao remoção 14 cm (TABELA 10). Similarmente, SPAVOREK et al. (1991), trabalhando com milho em diversos níveis de perdas, observaram que a perda de parte do horizonte Ap não foi tão grave quanto a sua remoção total. Na primeira situação, a adubação e o uso de tecnologia tem maior eficiência na manutenção das características morfológicas e conseqüentemente da produtividade da planta. A perda total deste horizonte faz a produtividade declinar, mesmo usando fertilizante e tecnologia, devido a alteração do ambiente que o solo proporciona ao desenvolvimento das plantas.

TABELA 10. Altura de plantas apresentadas pela cultura do trigo no pleno florescimento, para os tratamentos de simulação de erosão; média de 3 repetições.

Tratamentos	Altura (cm)
Sem remoção	0.69 cd*
Remoção 3 cm	0.83 a
Remoção 6 cm	0.74 bc
Remoção 14 cm	0.77 ab
CV (%)	3,80

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

#### 4.2.1.2. Produção do trigo

Os valores de produção do trigo (TABELA 11) indicam maior produção de grãos para o tratamento sem remoção. Embora não tenha havido diferenças significativas para os itens avaliados;

observou-se que os tratamentos sem remoção e remoção 6 cm tiveram comportamentos semelhantes, tanto na altura quanto no rendimento de grãos e de palha.

A produtividade apresentada pelo trigo nas parcelas de simulação foi muito inferior, aproximadamente 50 %, da apresentada pelas parcelas erodidas por chuva natural. Com isto, a diferença de produtividade entre a área sem remoção e aquela que teve 14 cm de sua superfície removida foi de 140 Kg/ha, o que resulta em uma redução média de apenas 10 Kg/ha por centímetro de solo perdido. WETTER (1977, citado por PAPERDICK, 1985) observou perdas de 54 Kg/ha por centímetro de remoção e encontrou resposta linear entre a produtividade e a espessura de solo perdida. A redução provocada pela simulação de erosão na produtividade do trigo foi quinze vezes menor quando comparada à redução causada pela erosão por chuva natural. Não foi possível estabelecer uma regressão significativa entre produtividade de trigo e remoção de camadas artificiais. Acredita-se que tenham contribuído para isto, as baixas produtividades obtidas mesmo no tratamento sem remoção de solo e o ataque de doença fúngica (mal-do-pé).

TABELA 11. Produção de grãos, massa seca total, peso hectolítrico e relação grão/palha da cultura do trigo nos tratamentos sob erosão simulada, média de 3 repetições.

Tratamentos	Grãos	MS Total	Peso Hectolítrico	Relação Grão/palha
	Kg/ha			
Sem remoção	1025 a*	3033 a	79,2 a	0,51
Remoção 3 cm	969 a	3350 a	76,0 a	0,41
Remoção 6 cm	1011 a	3325 a	78,5 a	0,44
Remoção 14 cm	886 a	3117 a	77,7 a	0,40

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

#### 4.2.1.3. Raízes do trigo

Avaliando a camada superficial, observou-se que com o aumento da remoção, a planta aumentou significativamente a massa seca de raízes (FIGURA 12). Nos tratamentos remoção 3 cm e remoção 6 cm houve redução abrupta na quantidade de raízes entre a camadas superficial e a subsequentes, indicando haver restrições ao seu desenvolvimento normal e na profundidade de 20 a 30 cm não ocorreu diferenças significativas entre os tratamentos. Pode-se concluir que o trigo apresentou, através de um aumento no volume de raízes, uma resposta às condições de fertilidade

deficiente, por isto explorou um volume de solo maior. Este pode ser um dos motivos pelo qual não houve diferença de produtividade entre os tratamentos testados.

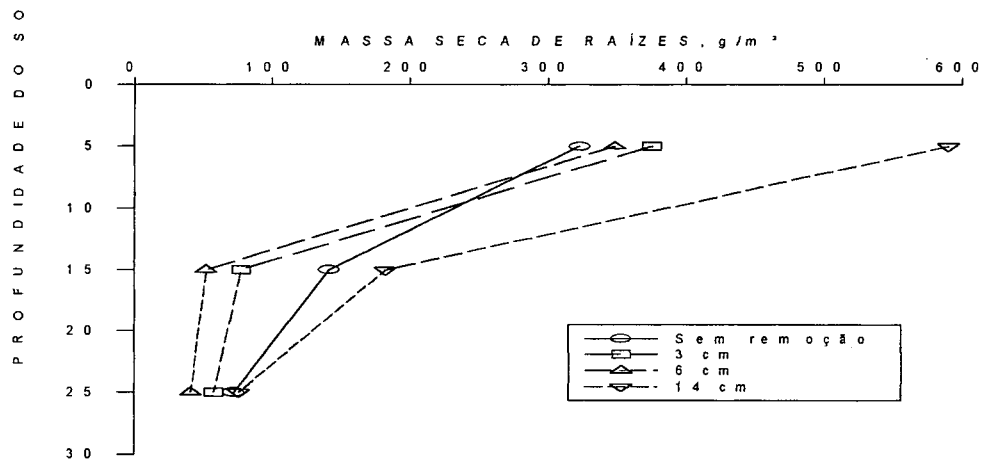


FIGURA 12. Distribuição da massa seca de raízes da cultura do trigo em 3 profundidades, nos tratamentos sob erosão simulada, média de 3 repetições. Valores em  $g/m^3$ .

#### 4.2.2. Cultura da soja

##### 4.2.2.1. Altura de plantas

O tratamento sem remoção apresentou a maior altura de plantas nas duas avaliações procedidas durante o ciclo de desenvolvimento do soja e diferiu estatisticamente dos demais tratamentos na avaliação realizada aos 65 dias após a semeadura (TABELA 12).

TABELA 12. Altura de plantas de soja em 2 épocas (65 e 95 dias após a semeadura), nos tratamentos sob erosão simulada, média de 3 repetições.

Tratamentos	Altura (cm)	
	Aos 65 dias	Aos 95 dias
Sem remoção	62.1 a*	77.1 a
Remoção 3 cm	52.4 b	70.9 a
Remoção 6 cm	48.1 b	72.1 a
Remoção 14 cm	50.7 b	70.1 a
CV (%)	4,8	9,26

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

A soja apresentou redução da altura de plantas com o incremento da remoção, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento e a retirada de 3 cm da superfície do solo ocasionou maior redução média de 3,23 e 2,07 cm na altura de plantas do que a remoção de 6 cm superficiais que reduziram-na em 1,9 e 1,17 cm à cada centímetro da superfície do solo retirado, aos 65 dias e pleno florescimento, respectivamente.

#### 4.2.2.2. Produção

A produtividade no tratamento sem remoção é quase o dobro daquela alcançada pelo tratamento com remoção de todo o horizonte Ap (14 cm). Pode-se inferir até que para cada centímetro de solo removido houve uma redução aproximada de 100 Kg/ha de produção de soja. Na erosão simulada, mesmo não havendo diferenças significativas; o tratamento sem remoção teve maior produção de palha; foi significativamente mais produtivo do que os tratamentos remoção 6 cm (38 %) e remoção 14 cm (84,4 %), para massa seca de grãos (TABELA 13). Observou-se que as características das plantas (altura, massa seca de raízes, palha e grãos) foram alteradas com a retirada progressiva da superfície do solo. A cultura da soja mostrou-se mais sensível à esta remoção do que o trigo.

TABELA 13. Produção de grãos, massa seca total e relação grão/palha da cultura do soja nos tratamentos sob erosão simulada, média de 3 repetições.

Tratamentos	Grãos	Palha	Massa Seca Total	Grão/palha
	Kg/ha			
Sem remoção	3227 a *	2829 a	6056	1,14
Remoção 3 cm	2642 ab	2280 a	4922	1,16
Remoção 6 cm	2338 bc	2229 a	4567	1,05
Remoção 14 cm	1750 c	2485 a	4235	0,70

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

A produtividade apresentada pelas parcelas de simulação é muito semelhante àquela obtida pelas parcelas erodidas por chuva natural. Tomando-se a produção obtida no tratamento sem como máximo, temos uma redução de 190 Kg/ha por centímetro de camada de solo perdida, para a profundidade 0 a 3 cm; 148 Kg/ha quando considerou-se a camada entre 0 e 6 cm e 105 Kg/ha, para a remoção total do horizonte Ap (0 a 14 cm). Diferentemente das parcelas erodidas por chuva natural, estas com remoção artificial apresentaram um menor decréscimo na produção a medida que

aumentou a camada de solo removida. A melhor correlação possível de ser estabelecida entre a produtividade da soja e a remoção artificial de camadas de solo foi a polinomial de segunda ordem, conforme mostrado na FIGURA 13. O coeficiente de correlação obtido é alto (0,83) e observou-se a tendência de reduzir a queda da produtividade na medida que aumentou a camada de solo removida. Este seria o resultado esperado, uma vez que, principalmente as características químicas do solo, tendem a apresentar maiores valores na superfície do solo.

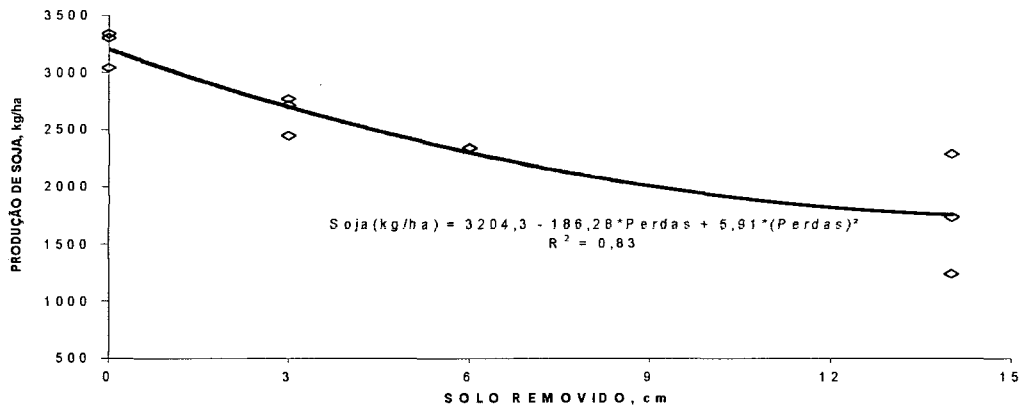


FIGURA 13. Correlação entre a produção da soja e a espessura de solo removido pela simulação de erosão.

#### 4.2.2.3. Massa seca de raízes

Para os tratamentos em erosão simulada, a remoção 6 cm produziu mais massa seca de raízes do que o remoção 14 cm nas profundidades avaliadas (TABELA 14). Entre os tratamentos, na camada superficial, não houveram diferenças significativas. A remoção de 6 cm produziu 3,12 mais raízes que o remoção 14 cm e 1,6 vezes que a remoção 3 cm. Apesar da imprecisão do sistema de coleta, observou-se a mesma tendência ocorrida no trigo, dos tratamentos que sofreram maior retirada da superfície tenderem a apresentar maior massa seca de raízes. Ao comparar as profundidades avaliadas, observou-se que, na erosão simulada, as raízes de soja se distribuíram mais homogêneas no perfil do solo, apresentando diferenças significativas somente entre as camadas superficial e 20 a 30 cm.

Mesmo com o método de amostragem apresentando alta variação, pôde-se observar que o trigo e a soja possuem diferentes capacidades de adaptação às condições adversas. A produtividade da soja foi severamente afetada (- 40 %) pela remoção de 14 cm superficiais do solo, enquanto o trigo não apresentou diferença de produtividade. A quantidade de raízes do trigo, na camada de 0 a



10 cm, no tratamento com remoção de 14 cm de solo foi 80% maior do que a apresentada pelo tratamento sem remoção artificial de solo.

TABELA 14. Distribuição da massa seca de raízes da cultura da soja em 3 profundidades, nos tratamentos sob erosão simulada, média de 3 repetições. Valores em g/m<sup>3</sup>.

Tratamentos	Profundidades		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
	g/m <sup>3</sup>		
Sem remoção	15,2 a*	11,6 ab	6,9 ab
Remoção 3 cm	13,7 a	9,4 ab	2,5 bc
Remoção 6 cm	35,7 a	21,5 a	9,3 a
Remoção 14 cm	8,7 a	0,3 b	Perdida c
CV (%)	91,76	164,74	70,26

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

#### 4.2.3. CARACTERÍSTICAS DO SOLO

##### 4.2.3.1. Física do Solo

Os tratamentos não apresentaram diferenças significativas na camada de 0 a 20 cm, no entanto o remoção 6 cm teve os valores mais elevados de densidade do solo em toda a profundidade amostrada e diferiu estatisticamente dos tratamentos remoção 3 cm e remoção 14 cm, na profundidade 20 a 30 cm (TABELA 15). A porosidade total apresentou pouca variação com a remoção; somente na profundidade 20 a 30 cm é que ocorram diferenças significativas entre o tratamento remoção 14 cm – com maior porosidade total – e o remoção 6 cm, indicativo de que na camada abaixo de 40 cm, o efeito do tráfego durante o preparo, tratos culturais e colheita tiveram efeitos mínimos ou nulos na alteração da estrutura do solo. Os resultados concordam com a LITERATURA, que classifica este solo como um sistema poroso profundo, o que lhe confere boa drenagem.

Nas profundidades avaliadas houve boa disponibilidade de água facilmente retirada pelas plantas e porosidade de aeração adequada (TABELA 16 e FIGURA 14). Os tratamentos sem remoção e 3 cm alcançaram 10 % da porosidade de aeração na tensão 1 KPa e todos tiveram porosidade de aeração superior a 15 % na capacidade de campo. Os resultados concordam com a

LITERATURA que classifica os Latossolos como bem drenados e mais resistentes a compactação excessiva devido a maior estabilidade dos agregados. O revolvimento e a compactação promovidas no preparo praticamente não alteram o volume dos poros dentro dos agregados, constituídos, em sua maioria de poros menores (CURRIE, 1984). Os macroporos são os que mais sofrem alterações com o preparo, no entanto, nestes tratamentos não apresentaram efeitos significativos.

A progressiva remoção da superfície do solo ocasionou redução na condutividade hidráulica saturada da camada superior do solo (TABELA 17). Tal fato pode ter ocorrido pela existência de uma camada de maior resistência ao fluxo vertical de água entre a profundidade 10 e 30 cm da superfície original. Com a remoção pode-se ter retirado sucessivamente maior parte da camada superficial que apresentava maior condutividade hidráulica saturada.

TABELA 15. Densidade do solo, porosidades total e de aeração do solo nos tratamentos sob erosão simulada, em 3 profundidades, média de 3 repetições.

Tratamentos	Densidade do solo	Porosidade total	Porosidade de aeração	
	Mg/m <sup>3</sup>	%	1 kPa	3 kPa
			%	
Profundidade de 0 a 10 cm				
Sem remoção	0,88 a*	62,4 a	13.2 a	21.6 a
Remoção 3 cm	0,92 a	58,8 a	12.6 a	19.0 a
Remoção 6 cm	0,94 a	61,5 a	9.3 a	16.2 a
Remoção 14 cm	0,96 a	57,7 ab	8.2 a	15.3 a
Profundidade de 10 a 20 cm				
Sem remoção	1,07 a	55,3 a	10.7 a	13.7 a
Remoção 3 cm	1,03 a	55,7 a	9.0 a	11.4 a
Remoção 6 cm	1,12 a	51,0 a	7.4 a	10.2 a
Remoção 14 cm	0,97 a	58,7 a	5.9 a	8.5 a
Profundidade de 20 a 30 cm				
Sem remoção	1,02 ab	57,9 ab	11.7 a	14.3 a
Remoção 3 cm	0,99 b	58,5 ab	9.7 a	12.7 a
Remoção 6 cm	1,09 a	53,2 b	8.4 a	12.7 a
Remoção 14 cm	0,91 c	62,2 a	9.8 a	12.9 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

TABELA 16. Características físicas do solo nas parcelas de simulação de perdas de solo, por tratamento e em 3 profundidades, média de 3 repetições.

Tratamentos	Água na saturação	Água total		Água disponível
		6 kPa	300 kPa	
%				
Profundidade de 0 a 10 cm				
Sem remoção	62,5 a *	35,8 a	32,9 a	4,1 a
Remoção 3 cm	56,7 a	33,4 a	23,0 a	10,4 a
Remoção 6 cm	56,9 a	38,1 a	33,2 a	4,9 a
Remoção 14 cm	55,3 a	32,0 a	26,7 a	5,3 a
Profundidade de 10 a 20 cm				
Sem remoção	53,9 ab	37,6 b	33,7 a	4,0 b
Remoção 3 cm	55,1 ab	41,9 ab	33,3 a	8,5 ab
Remoção 6 cm	48,7 b	36,6 b	30,5 a	6,1 ab
Remoção 14 cm	63,9 a	53,8 a	40,1 a	13,7 a
Profundidade de 20 a 30 cm				
Sem remoção	53,1 a	37,4 bc	28,6 a	8,8 a
Remoção 3 cm	58,9 a	44,5 a	36,1 a	8,4 a
Remoção 6 cm	45,3 b	27,4 c	19,2 a	8,2 a
Remoção 14 cm	58,8 a	42,2 ab	31,2 a	11,0 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

TABELA 17. Condutividade hidráulica saturada do solo, nos tratamentos sob erosão simulada, média de 3 repetições. Valores em mm/h.

Tratamentos	Profundidades		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
mm/h			
Sem remoção	59,54 a	2,10 a	3,83 b
Remoção 3 cm	46,58 a	4,65 a	1,34 b
Remoção 6 cm	22,34 b	4,24 a	26,70 a
Remoção 14 cm	28,94 ab	0,79 b	4,24 b

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

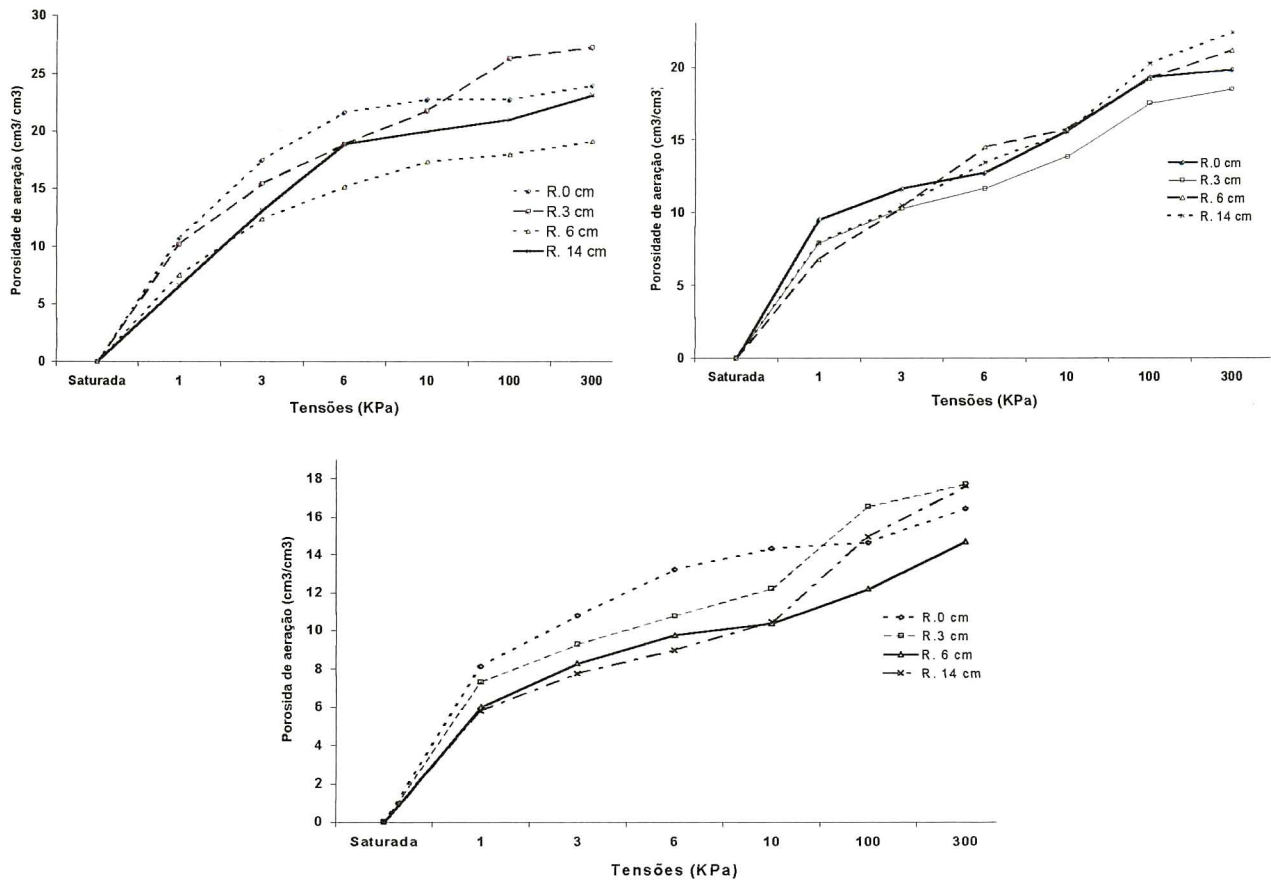


FIGURA 14. Porosidade de aeração para os tratamentos da erosão simulada, profundidade 0 a 10 cm **A** (acima e a esquerda), 10 a 20 cm **B** (acima e a direita) e 20 a 30 cm **C** (abaixo).

A TABELA 19 mostra os valores de água disponível para as culturas, considerando que a maior parte da água disponível está armazenada até a tensão de 300 kPa. O tratamento remoção 3 cm apresentou maiores conteúdos nas tensões inferiores a 10 kPa. Nas profundidades avaliadas o conteúdo da água disponível não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos da erosão simulada. A medida que aumentou a espessura da camada superficial removida, ocorreu redução na macroporosidade e a água disponível tendeu a aumentar. Quando se correlaciono estas duas características físicas com a produtividade da soja, a equação polinomial de segunda ordem apresentou alta correlação ( $R^2 = 0,60$ ) entre a produtividade e água disponível e correlação de 0,49 para a correlação entre produtividade e macroporosidade (FIGURA 15).

O tratamento remoção 14 cm apresentou maior volume de água disponível na profundidade 20 a 30 cm, o de remoção 3 cm na camada superficial e de 10 a 20 cm. O remoção 0 cm teve o maior volume de água disponível em baixas tensões (0 a 1 kPa) e o remoção 14 cm nas tensões

subsequentes, indicando haver variações na proporção macro-microporos com a remoção. Estes resultados podem estar relacionados com as variações da qualidade da estrutura do solo, principalmente com a presença de microporos. Quando foi comparada a produtividade do trigo com os teores de umidade, obteve-se uma equação exponencial que correlaciona ( $R^2 = 0,40$ ) a variação da produção com o volume de água no solo na saturação (FIGURA 16). Maiores volumes de água representaram menores rendimentos nesta cultura, devido esta ter se desenvolvido em período seco.

TABELA 18. Valores da curva de retenção de água no solo em 3 profundidades; média de 3 repetições; valores em  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ .

Tratamentos	Tensões (MPa)						
	Saturada	1	3	6	10	100	300
	$\text{cm}^3/\text{cm}^3$						
	Profundidade de 0 a 10 cm						
Sem remoção	42,6 a	33,6 a	27,9 a	24,4 a	23,4 a	22,5 a	21,8 a
Remoção 3 cm	38,7 a	30,1 a	25,7 a	22,8 a	20,4 a	16,5 a	15,7 a
Remoção 6 cm	38,8 a	32,5 a	28,4 a	26,0 a	24,2 a	23,6 a	22,7 a
Remoção 14 cm	37,8 a	32,2 a	26,7 a	21,8 a	20,9 a	20,0 a	18,2 a
CV (%)	9.0	13.3	12.64	18.8	17.91	21.8	22.72
	Profundidade de 10 a 20 cm						
Sem remoção	38,8 ab	31,9 ab	29,7 ab	27,6 ab	26,7 a	26,4 a	24,9 a
Remoção 3 cm	37,6 ab	31,5 ab	29,8 ab	28,6 ab	27,3 a	23,7 a	22,7 a
Remoção 6 cm	33,2 b	28,2 b	26,2 b	25,0 b	26,5 a	22,9 a	20,8 a
Remoção 14 cm	41,8 a	36,9 a	35,2 a	34,2 a	33,0 a	29,2 a	26,9 a
CV (%)	8.41	11.05	11.52	12.23	16.10	6.58	16.51
	Profundidade de 20 a 30 cm						
Sem remoção	36,2 ab	28,2 a	26,47 a	25,53 a	23,07 a	20,00 a	19,5 a
Remoção 3 cm	40,2 a	33,5 a	31,53 a	30,40 a	28,55 a	25,43 a	24,6 a
Remoção 6 cm	30,9 b	25,2 a	22,20 a	18,70 a	17,65 a	14,70 a	13,1 a
Remoção 14 cm	40,1 a	33,4 a	31,30 a	28,80 a	27,02 a	23,03 a	21,3 a
CV (%)	7.43	9.50	28.17	16.72	13.14	22.40	24.28

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey

TABELA 19. Valores de água disponível no solo em 3 profundidades; média de 3 repetições; valores em  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ .

Tratamentos	Tensões (kPa)						
	Saturada	1	3	6	10	100	300
	$\text{cm}^3/\text{cm}^3$						
Profundidade de 0 a 10 cm							
Sem remoção	20,9 a*	11,9 a	6,1 ab	2,6 a	1,7 a	0,7 a	-
Remoção 3 cm	23,0 a	14,4 a	10 a	7,1 a	4,7 a	0,8 a	-
Remoção 6 cm	16,1 a	9,8 a	5,7 b	3,4 a	1,5 a	1,0 a	-
Remoção 14 cm	19,5 a	13,9 a	8,4 ab	3,6 a	2,6 a	1,8 a	-
Profundidade de 10 a 20 cm							
Sem remoção	24,9 a	13,8 a	7,0 a	4,7 a	2,7 b	1,8 a	-
Remoção 3 cm	14,9 b	8,8 a	7,1 a	5,8 a	4,6 ab	1,0 a	-
Remoção 6 cm	12,4 b	7,3 a	5,4 a	4,2 a	5,6 ab	2,1 a	-
Remoção 14 cm	14,8 b	10 a	8,3 a	7,3 a	6,0 a	2,2 a	-
Profundidade de 20 a 30 cm							
Sem remoção	16,7 a	8,7 a	6,9 a	6,0 a	3,5 a	0,5 a	-
Remoção 3 cm	15,5 a	8,9 a	6,9 a	5,8 a	3,9 a	0,8 a	-
Remoção 6 cm	17,8 a	12,1 a	9,1 a	5,6 a	4,5 a	1,6 a	-
Remoção 14 cm	18,8 a	12,1 a	10 a	7,5 a	5,7 a	1,7 a	-

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey

A resistência a penetração oferecida pelo solo no período seco, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, foi superior ao valor determinado como limitante (2,2 MPa) para o trigo (HENDERSON, 1989), e decresceu com a profundidade em função do aumento da umidade (TABELA 20). Para a avaliação procedida com solo úmido os valores foram menores, assemelhando-se aos registrados na profundidade de 30 cm do período seco.

Ao comparar a produção de massa seca de raízes da camada 20 a 30 cm com a resistência a penetração em solo seco, a melhor correlação foi obtida por uma equação poligonal de segunda ordem e com alto coeficiente de correlação ( $R^2 = 0,56$ ), indicando que o crescimento das raízes foi influenciado pela resistência oferecidas pelo solo (FIGURA 17 A); para o solo úmido, a melhor

equação poligonal apresentou alta correlação ( $R^2 = 0,74$ ) entre a massa seca de raízes da camada 10 a 20 cm e a resistência a penetração (FIGURA 17 B).

TABELA 20. Resistência do solo a penetração avaliada durante o período seco (maio de 1996), com penetrômetro, em 3 profundidades, nos tratamentos sob erosão simulada, média de 10 repetições e após ter chovido (junho de 1996), em 3 profundidades, nos tratamentos sob erosão simulada, média de 11 repetições. Valores em MPa, corrigidos para a umidade padrão.

Tratamentos	Profundidades						
	Superfície		10 cm		20 cm		30 cm
	Tensão (MPa)						
	Maio	Junho	Maio	Junho	Maio	Junho	Maio
Sem remoção	2,81 a	0,66 a	1,89 a	0,59 a	1,39 a	0,21 a	0,95 a
Remoção 3 cm	2,81 a	0,67 a	1,89 a	0,56 a	1,38 a	0,19 a	0,94 a
Remoção 6 cm	2,79 a	0,67 a	1,87 a	0,56 a	1,37 a	0,19 a	0,94 a
Remoção 14 cm	2,79 a	0,69 a	1,87 a	0,56 a	1,38 a	0,19 a	0,93 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

#### 4.2.3.2. Química do solo

A retirada progressiva da camada superficial do solo afetou a produtividade da soja e ao relacionar estas com a CTC e C orgânico da camada de 20 a 30 cm, teores de fósforo de 10 a 20 cm e Ca + Mg na superfície do solo, observou-se que estes seguiram a mesma tendência, ou seja, diminuíram com o incremento da remoção (FIGURA 17 A) e os valores de C orgânico não diferiram significativamente nas parcelas de erosão simulada (TABELA 21). As variações apresentadas na superfície não foram proporcionais a espessura da camada removida; para a profundidade 20 a 30 cm o C orgânico e a produtividade do trigo tenderam a diminuir com a remoção (FIGURA 17 B). e apresentaram correlação positiva ( $R^2 = 0,37$ ) (FIGURA 19 B); enquanto que para a soja ocorreu alta correlação ( $R^2 = 0,69$ ) entre a produtividade e os teores de Ca + Mg da camada superficial (FIGURA 19 A).

Como importante elemento nos processos bioquímicos dentro da planta, importante na formação dos grãos, principalmente em gramíneas, o K no solo pode ser facilmente lixiviado quando grandes quantidades de calcário são aplicadas (MASHNER 1992). Nas parcelas do tratamento remoção 14 cm este elemento apresenta teor significativamente superior ao remoção 3 cm, o que pode ter compensado a perda da camada superficial (horizonte Ap).

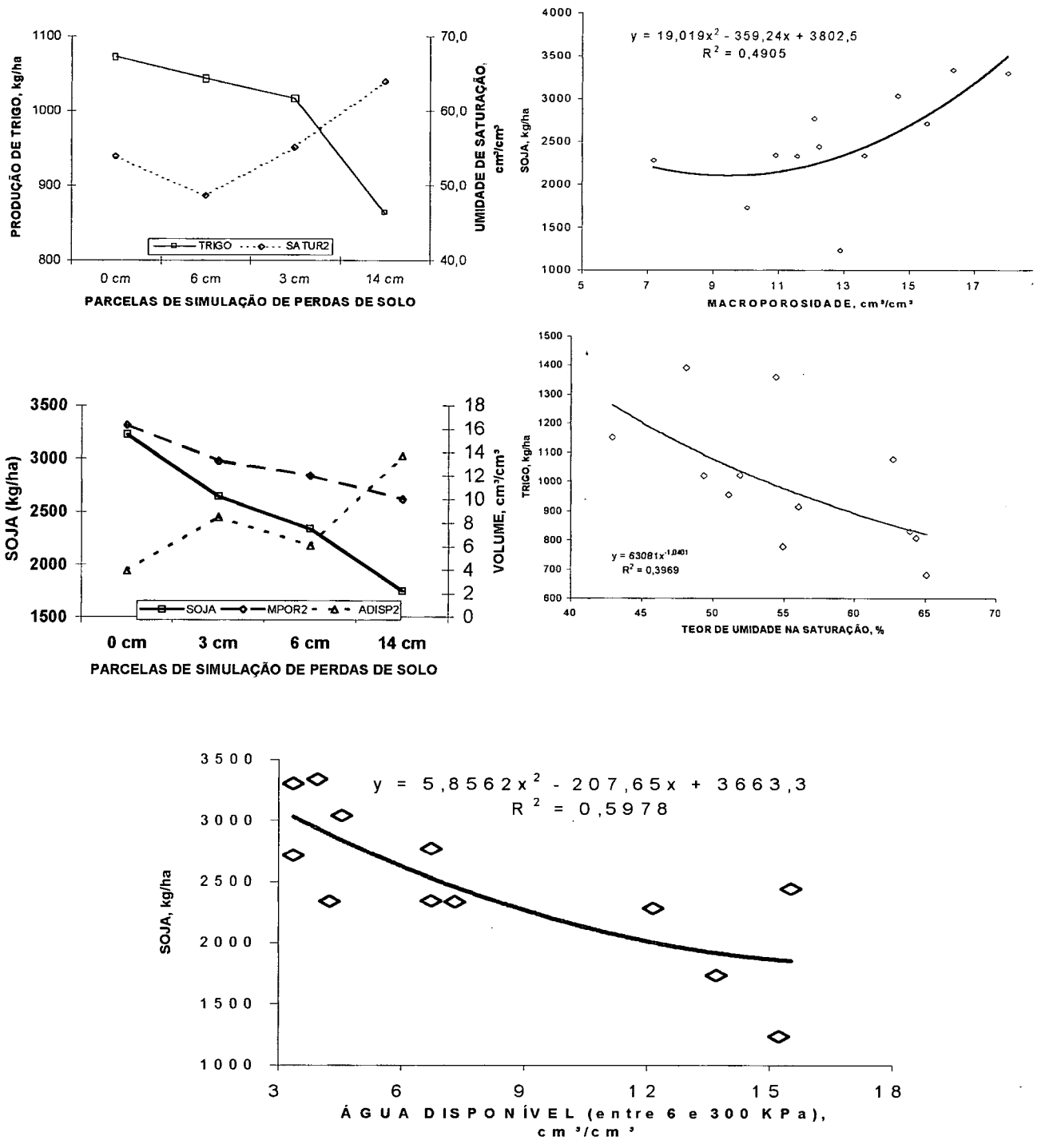


FIGURA 15. Correlação entre características físicas do solo e produtividade do trigo e da soja nas parcelas de simulação de erosão



TABELA 21. Resultados das avaliações das propriedades químicas do solo nos tratamentos sob erosão natural, em 3 profundidades, média de 3 repetições.

Tratamentos	C orgânico (%)	K (meq/100 g)	P (ppm)	pH	CTC	Ca + Mg (meq/100 g)
Profundidade de 0 a 10 cm						
Sem remoção	3,1 a*	0,2 ab	4,7 ab	5,3 a	13,9 a	10,1 a
Remoção 3 cm	3,5 a	0,11 b	2,2 b	5,1 a	12,9 a	5,87 a
Remoção 6 cm	2,6 a	0,14 ab	2,3 ab	5,0 a	12,8 a	8,47 a
Remoção 14 cm	3,1 a	0,24 a	4,0 a	5,2 a	12,8 a	5,90 a
Profundidade de 10 a 20 cm						
Sem remoção	2,5 a	0,14 a	2,0 a	4,5 a	10,9 a	2,20 a
Remoção 3 cm	2,3 a	0,08 b	1,7 ab	4,6 a	10,2 ab	2,03 a
Remoção 6 cm	1,9 a	0,05 b	1,0 b	4,9 a	9,9 ab	3,26 a
Remoção 14 cm	2,2 a	0,09 b	1,0 b	4,7 a	9,3 b	1,97 a
Profundidade de 20 a 30 cm						
Sem remoção	1,9 a	0,09 a	1,0 b	4,2 a	10,8 a	1,46 a
Remoção 3 cm	1,9 a	0,06 b	1,3 b	4,5 a	9,7 ab	1,60 a
Remoção 6 cm	1,6 a	0,04 b	2,0 a	4,8 a	9,4 b	3,83 a
Remoção 14 cm	1,4 a	0,05 b	1,0 b	4,6 a	9,0 b	3,83 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

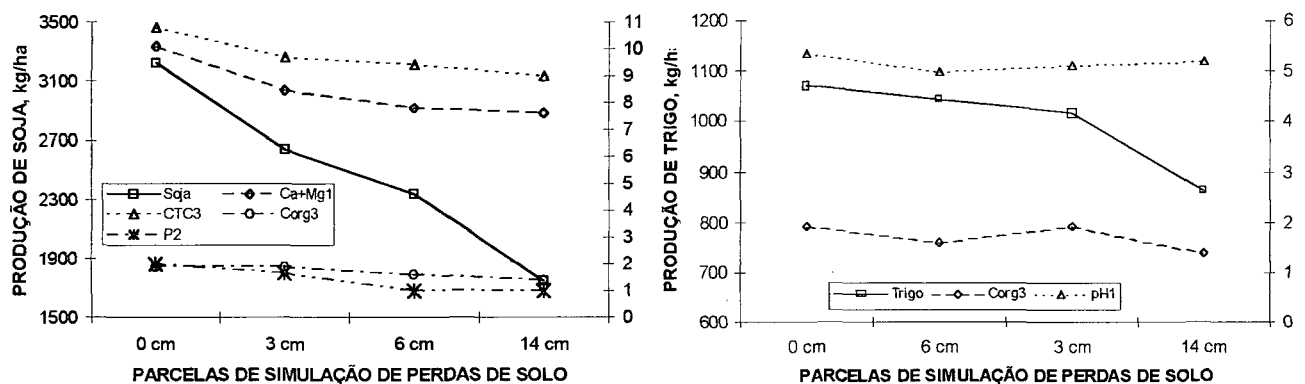


FIGURA 16. A. Produção da soja e relação entre os valores de C orgânico, CTC, Ca + Mg e P do solo (esquerda) e B. Produção de grãos de trigo em função dos teores de C orgânico na profundidade de 20 a 30 cm e pH na superfície do solo (direita), nas parcelas de simulação de erosão. (Números que seguem a legenda indicam a profundidade: 1. superficial, 2. 10 a 20 cm e 3. 20 a 30 cm).

DEDECEK (1987) trabalhando com Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa encontrou resultados semelhantes e observou que houve maior correlação entre produtividade da soja e os teores de Ca + Mg, associados com o C orgânico. Os valores de P encontrados nos tratamentos do experimento de simulação de erosão, em Ponta Grossa, apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos sem remoção, remoção 6 e 14 cm; estes níveis requerem a suplementação para melhorar a performance das culturas na produtividade. Os valores de pH foram favoráveis apenas na superfície, embora ainda não tenha atingido o valor de 5,5. Nas profundidades subsequentes, os valores de pH apresentados pelo solo, pode ter havido inibição do desenvolvimento das raízes, pela disponibilização de Al na solução do solo (ROLAS, 1994). No entanto, estatisticamente, os tratamentos tiveram condições semelhantes de pH do solo. Observou-se que os tratamentos apresentaram bons níveis de Ca + Mg na superfície e baixos valores nas profundidades 10 a 30 cm; sem apresentarem diferenças significativas.

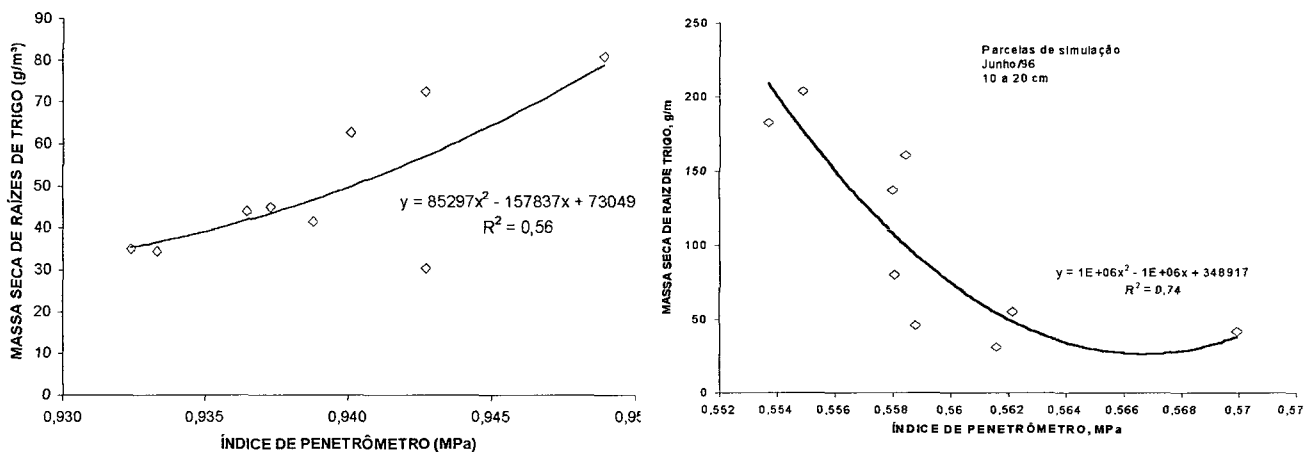


FIGURA 17. A.(esquerda): Produção de massa seca de raízes em função da resistência oferecida pelo solo a penetração, na profundidade de 30 cm, em solo seco B.(direita): Produção de massa seca de raízes em função do IC, na profundidade de 10 a 20 cm e umidade próxima a capacidade de campo, em parcelas de simulação de erosão.

PETTRY et al. (1985) associaram a redução na produtividade com a espessura do horizonte A do solo e observaram que o rendimento da soja foi 35,4 Kg/ha menor a cada centímetro removido. Em solos severamente erodidos do Sudoeste de Kansas, a produtividade do trigo foi reduzida a menos da metade com a redução de 30 a 35 % dos teores de C orgânico (HADAS, et al., 1977), citados por BURNETT et al. (1985). Estes autores julgam que a C orgânico como a principal mantenedora da estrutura do solo, além de atuar como fonte de nutrientes às plantas.

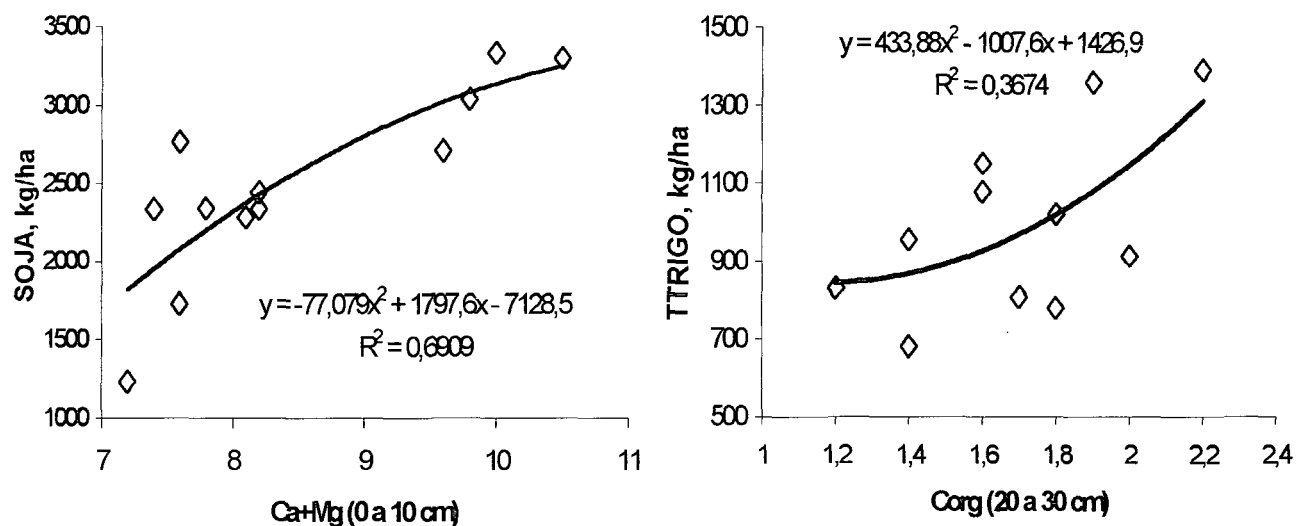


FIGURA 18. **A.** Gráfico da equação ajustada por regressão associando a produção da soja com os teores de Ca + Mg na camada superficial do solo (esquerda) e **B.** Produção do trigo e teores de C orgânico na profundidade entre 20 e 30 cm (direita), nas parcelas de simulação de erosão.

### 4.3. COMPARAÇÃO ENTRE PARCELAS DE SIMULAÇÃO E PARCELAS SOB CHUVA NATURAL

#### 4.3.1. Cultura do trigo

##### 4.3.1.1. Altura de plantas

A comparação entre as alturas de plantas do trigo das parcelas de simulação de erosão com as parcelas que tiveram semelhantes espessuras de solo perdidas por erosão natural, indica que os tratamentos da erosão natural tenderam a ter maiores alturas, embora não tenha ocorrido diferenças significativas (TABELA 22).

TABELA 22. Altura de plantas apresentadas pela cultura do trigo no pleno florescimento, para os tratamentos sob erosão natural, média de 3 repetições.

Tratamentos	Altura (cm)
Descoberto 11 m	0.89 ab*
Remoção 3 cm	0.83 ab
Descoberto 22 m	1.01 a
Remoção 6 cm	0.74 b
Remoção 14 cm	0.77 ab

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

##### 4.3.1.2. Produção

Ao comparar os tratamentos da erosão simulada com os da erosão natural, observou-se que a retirada artificial de uma camada de solo apresentou maior efeito sobre a produção do que a retirada ocorrida pela erosão natural (TABELA 23). Quando comparou-se os tratamentos que tiveram semelhantes espessuras perdidas, observou-se que o efeito da remoção sobre a produtividade do trigo foi mais acentuado. Os tratamentos descoberto 22 m e remoção 6 cm, que tiveram perdas de espessuras semelhantes, o primeiro teve maior produtividade. Mesmo quando comparado com as

parcelas da parte inferior (mais erodidas), redução de 20 % foi observada. Valores ainda mais elevados foram encontrados quando comparou-se o remoção 6 cm com as parcelas da parte superior deste tratamento (33 %). Os resultados das avaliações procedidas para determinar a espessura perdida indicam perdas médias de 6 cm de espessura da camada superficial para o tratamento descoberto 22 m. No entanto, a enxurrada proveniente das parcelas acima certamente contribuiu para o incremento da espessura perdida na parte inferior.

As produtividades do trigo obtidas nos tratamentos descobertos, quando comparadas com as parcelas do tratamento que não houve remoção artificial foram superiores. Isto indica que a simulação não demonstrou ser indicada para avaliar os efeitos das perdas de solo na produtividade desta cultura.

TABELA 23. Produção de grãos, massa seca total, peso hectolétrico da cultura do trigo nos tratamentos sob erosão simulada, média de 3 repetições.

Tratamentos	Grãos	MS Total	Peso hectolétrico
	Kg/ha		
Descoberto 11 m	1444 ab	4642 abc	78
Remoção 3 cm	969 c	3350 bc	76
Descoberto 22 m	1502 a*	4960 a	79
Remoção 6 cm	1011 bc	3325 bc	79
Remoção 14 cm	886 c	3117 c	78

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

#### 4.3.1.3. Massa de raízes

Os tratamentos comparados na FIGURA 21 tiveram produções de massa seca de raízes semelhantes na profundidade de 10 a 30 cm, indicando haver comportamentos semelhantes das raízes de plantas no solo com perdas de solo, com exceção da camada superficial. Os tratamentos que perderam naturalmente 3 cm produziram metade da massa seca de raízes do que o tratamento da simulação e os que perderam 6 cm naturalmente tiveram produção de massa seca de raízes 7 % superior as parcelas de simulação. Perdas de 14 cm de remoção apresentaram produção semelhantes ao tratamento que teve 6 cm da superfície erodidos naturalmente –descoberto 22 m.

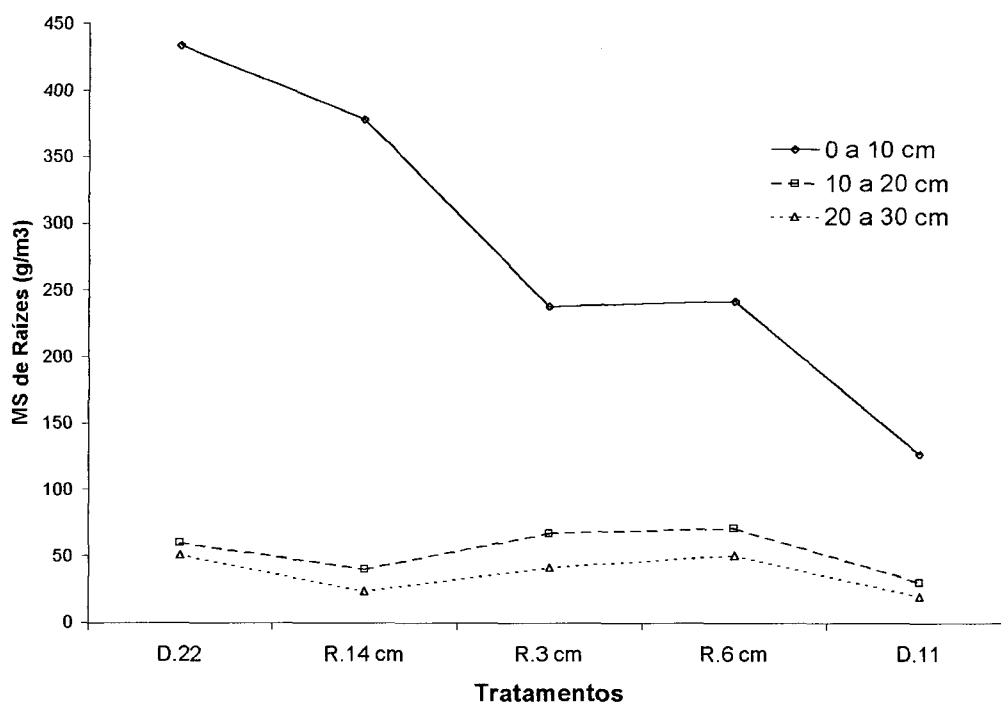


FIGURA 19. Massa seca de raízes da cultura do trigo, comparadas as erosões natural e simulada, em 3 profundidades, média de 3 repetições.

### 4.3.2. Cultura da soja

#### 4.3.2.1. Altura de plantas

Ao comparar as alturas de plantas dos tratamentos da erosão natural com os da simulação de erosão (FIGURA 22) observa-se que no final do ciclo, o tratamento descoberto 22 m teve altura significativamente menor do que o tratamento remoção 6 cm. A remoção por simulação de três centímetros e as perdas naturais de semelhante espessura da superfície não apresentaram diferenças significativas.

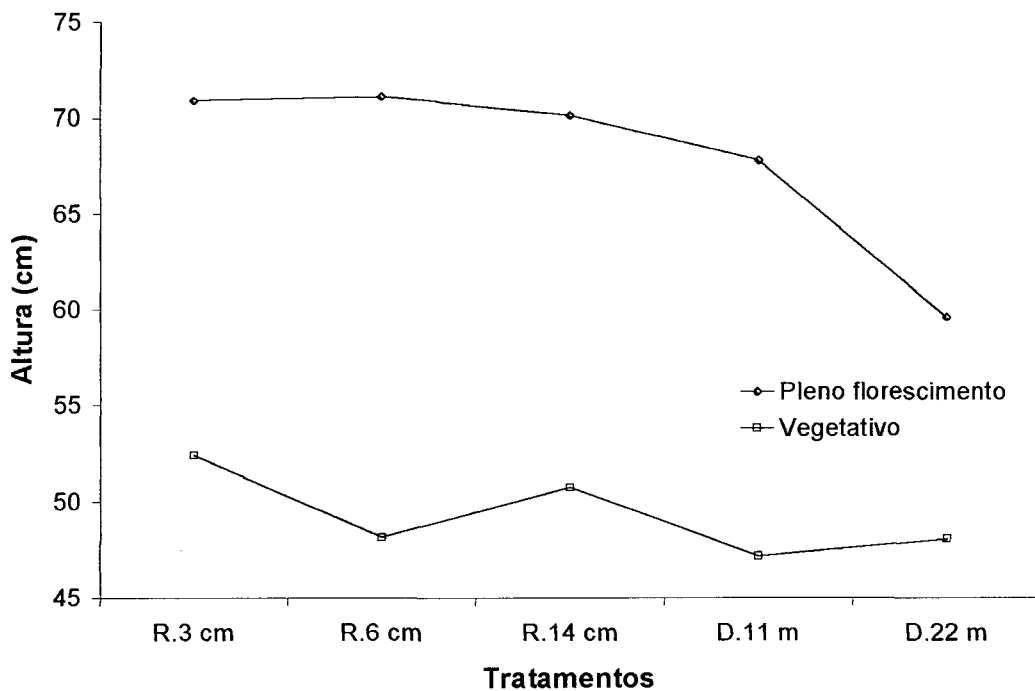


FIGURA 20. Comparação das alturas de planta do soja dos tratamentos sob erosão natural e simulada, para a primeira amostragem e para a amostragem realizada no pleno florescimento.

#### 4.3.2.2. Produção

Ao comparar os tratamentos que tiveram semelhantes espessuras erodidas; estes apresentaram produções de grãos também semelhantes (TABELA 24). Isto ocorreu entre os tratamentos descoberto 11 m e remoção 3 cm, e, descoberto 22 m com remoção 6 cm. Estes resultados indicam que para a cultura da soja, a remoção produziu, efeito parecido com a erosão natural. Para a produção de palha o descoberto 11 m apresentou massa seca superior, assemelhando-se ao remoção 14 cm, mostrando que houve alteração na relação grão/palha deste, fator que dá indícios de que a planta se adaptou as condições existentes. A perda de 3 cm da superfície do solo ocasionou redução da produção na cultura da soja de 175 e 194,5 kg/ha por centímetro de solo perdido por erosão natural e simulação de erosão, respectivamente; e a retirada de uma camada de 6 cm reduziu o rendimento da cultura em 176 e 148 Kg/ha por centímetro perdido, respectivamente. Os resultados indicam que as maiores perdas na produção da soja ocorrem pela remoção da superfície do solo. A melhor correlação entre a água disponível no solo nas parcelas erodidas e retiradas por simulação com a produtividade da soja está apresentada na FIGURA 23. O coeficiente

de correlação ( $R^2$ ) de 0,38, embora pouco baixo, indica que a produtividade foi afetada pela retirada da superfície do solo.

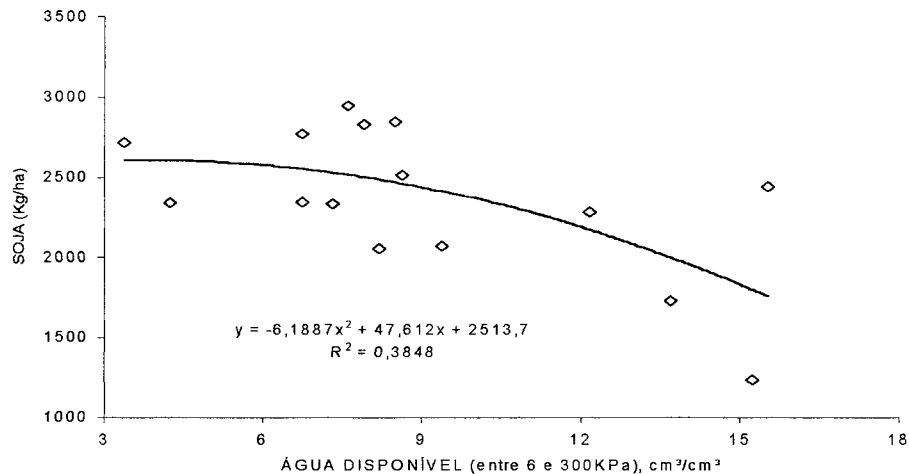


FIGURA 21. Correlação entre a produção da soja nos tratamentos com perdas de semelhantes espessuras de solo – por erosão natural e simulação de erosão - e o volume de água disponível no solo; média de 3 repetições.

#### 4.3.2.3. Massa seca de raízes

Ao comparar as perdas por erosão natural com as da simulada, notou-se que na camada de 0 a 20 cm, o tratamento remoção 6 cm tendeu acompanhar o tratamento descoberto 11 m na produção de massa seca de raízes e o incremento da remoção até 6 cm, tendeu a aumentar a massa seca de raízes, enquanto que a retirada de 14 cm (horizonte Ap) acarretou a redução na massa seca das mesmas (FIGURA 25).

TABELA 24. Comparação entre a produção de grãos, massa seca de palha da cultura do soja nos tratamentos sob erosão simulada e natural, média de 3 repetições.

Tratamentos	Grãos	Palha
	Kg/ha	
Descoberto 11 m	2610 a	3457 a
Remoção 3 cm	2642 a	2280 b
Descoberto 22 m	2113 b	1882 b
Remoção 6 cm	2338 ab	2229 b
Remoção 14 cm	1750 b	2485 ab

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.



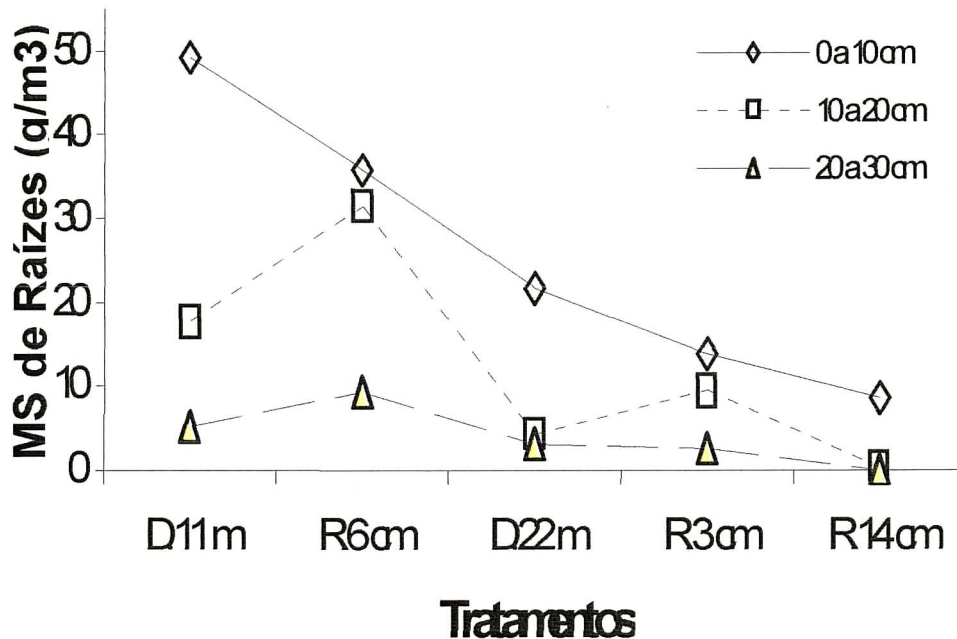


FIGURA 22. Distribuição da massa seca de raízes da cultura do soja, em 3 profundidades, nos tratamentos sob erosão natural, média de 3 repetições. Valores em  $g/m^3$ .

#### 4.3.3.1. Física do solo

Observa-se na TABELA 25 que a densidade do solo na profundidade de 10 a 30 cm, onde o tratamento remoção 6 cm e o descoberto 22 m apresentaram as maiores densidades e remoção 14 cm a menor. Os valores de densidade do solo superiores nos primeiros tratamentos podem ser consequência da compactação, ocasionada pelos equipamentos de preparo do solo; outros fatores físicos, tais como a água disponível e a porosidade de aeração, tiveram maior influência na produção destas culturas (FIGURA 26); o primeiro tendo correlação ( $R^2$ ) de 0,38 e o segundo 0,37 com a produtividade da soja e do trigo, respectivamente. A análise da TABELA 26 mostra que os valores das porosidades total e de aeração tenderam a decrescer com o incremento da remoção, isso é mais evidente na camada superficial. Estes poros tem importância decisiva na produção das culturas, pois são os condutores de água e ar no solo e porque as raízes crescem – em sua maioria – através destes. As diferenças na porosidade de aeração, água disponível, C orgânico, K, Ca e Mg, CTC e P, além do

pH (TABELA 26), mostraram ter maior peso na definição da produção do trigo, uma vez que os valores de densidade apresentados pelo solo não são restritivos ao crescimento de raízes.

TABELA 25. Densidade do solo, porosidades total e de aeração do solo na comparação entre os tratamentos de simulação de erosão e os sob erosão natural, em 3 profundidades, média de 3 repetições.

Tratamentos	Densidade do solo	Porosidade total	Porosidade de aeração	
	Mg/m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> / cm <sup>3</sup>	1 KPa	3 KPa
				%
Profundidade de 0 a 10 cm				
Descoberto 11 m	0,92 a	61,9 a	13,9 a	21,5 a
Remoção 3 cm	0,92 a	58,8 a	12,6 ab	19,0 a
Descoberto 22 m	0,95 a	61,4 a	9,3 ab	19,3 a
Remoção 6 cm	0,94 a	61,5 a	9,3 ab	16,2 a
Remoção 14 cm	0,96 a	57,7 a	8,2 b	15,3 a
Profundidade de 10 a 20 cm				
Descoberto 11 m	1,04 a	59,3 a	10,0 a	11,5 a
Remoção 3 cm	1,03 a	55,7 ab	9,0 a	11,4 a
Descoberto 22 m	1,11 a	58,3 ab	11,4 a	13,9 a
Remoção 6 cm	1,12 a	51,0 b	7,4 a	10,2 a
Remoção 14 cm	0,97 a	58,7 ab	5,9 a	8,5 a
Profundidade de 20 a 30 cm				
Descoberto 11 m	1,03 abc	56,0 ab	9,5 a	11,3 a
Remoção 3 cm	0,99 bc	58,5 ab	9,7 a	12,7 a
Descoberto 22 m	1,15 a	49,1 c	12,5 a	14,2 a
Remoção 6 cm	1,09 ab	53,2 b	8,4 a	12,7 a
Remoção 14 cm	0,91 c	62,2 a	9,8 a	12,9 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

TABELA 26. Comparação das características da distribuição de água no solo sob os tratamentos de erosão natural e simulação de erosão, em sistemas de manejos que contribuiram para diferentes níveis de perdas da camada superficial do solo; em 3 profundidades, média de 3 repetições. Valores em  $\text{cm}^3 / 100 \text{ cm}^3$ .

Tratamentos	Água na Saturação	Água total a 6 KPa	Água total a 300 KPa	Água disponível
	$\text{cm}^3 / 100 \text{ cm}^3$			
Profundidade de 0 a 10 cm				
Descoberto 11 m	64,3 a	40,1 a	28,4 a	11,8 a
Remoção 3 cm	56,7 a	33,4 a	23,0 a	10,4 a
Descoberto 22 m	62,6 a	39,0 a	32,2 a	6,7 a
Remoção 6 cm	56,9 a	38,1 a	33,2 a	4,9 a
Remoção 14 cm	55,3 a	32,0 a	26,7 a	5,3 a
Profundidade de 10 a 20 cm				
Descoberto 11 m	53,1 ab	40,3 ab	32,4 a	7,9 a
Remoção 3 cm	55,1 a	41,9 a	33,3 a	8,5 a
Descoberto 22 m	57,1 ab	40,9 ab	32,0 a	8,8 a
Remoção 6 cm	48,7 b	36,6 b	30,5 a	6,1 a
Remoção 14 cm	63,9 ab	53,8 ab	40,1 a	13,7 a
Profundidade de 20 a 30 cm				
Descoberto 11 m	55,5 a	43,4 a	30,3 ab	13,0 a
Remoção 3 cm	58,9 a	44,5 a	36,1 a	8,4 a
Descoberto 22 m	59,1 a	43,9 a	35,8 a	8,1 ab
Remoção 6 cm	45,3 b	27,4 b	19,2 b	8,2 a
Remoção 14 cm	58,8 a	42,2 a	31,2 ab	11,0 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A FIGURA 27 mostra a comparação entre tratamentos de erosão natural e simulada; observou-se que para as profundidade 0 a 10 cm, a remoção da camada superficial causou redução no volume de água retido em tensões até 100 KPa.

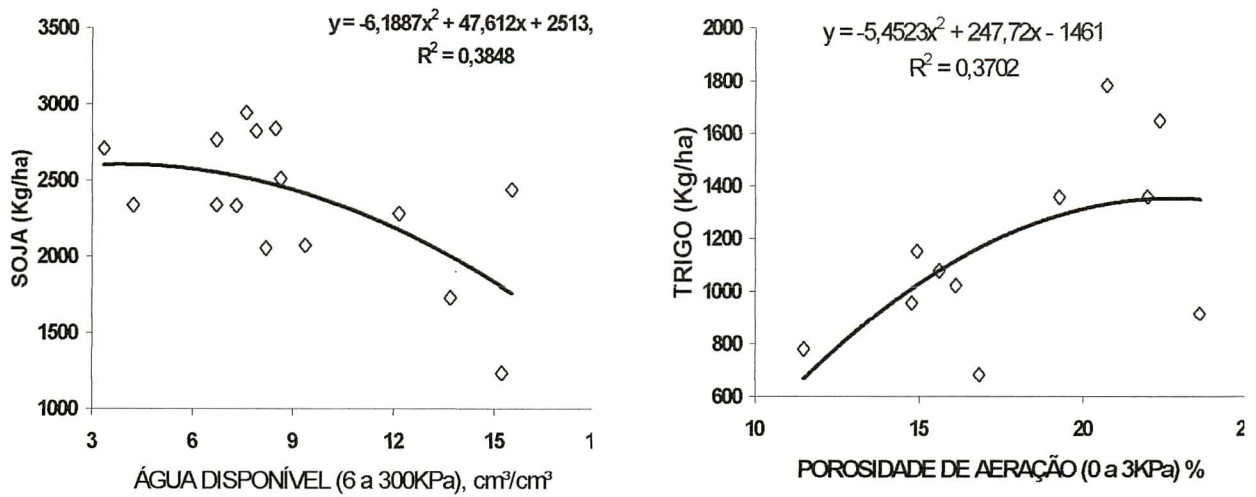


FIGURA 26. A. Correlações entre a água disponível e a produção da soja (esquerda) e B. Porosidade de aeração e produção do trigo, na comparação entre a erosão natural e a simulação de erosão, em Latossolo Vermelho-Escuro; médias de 3 repetições.

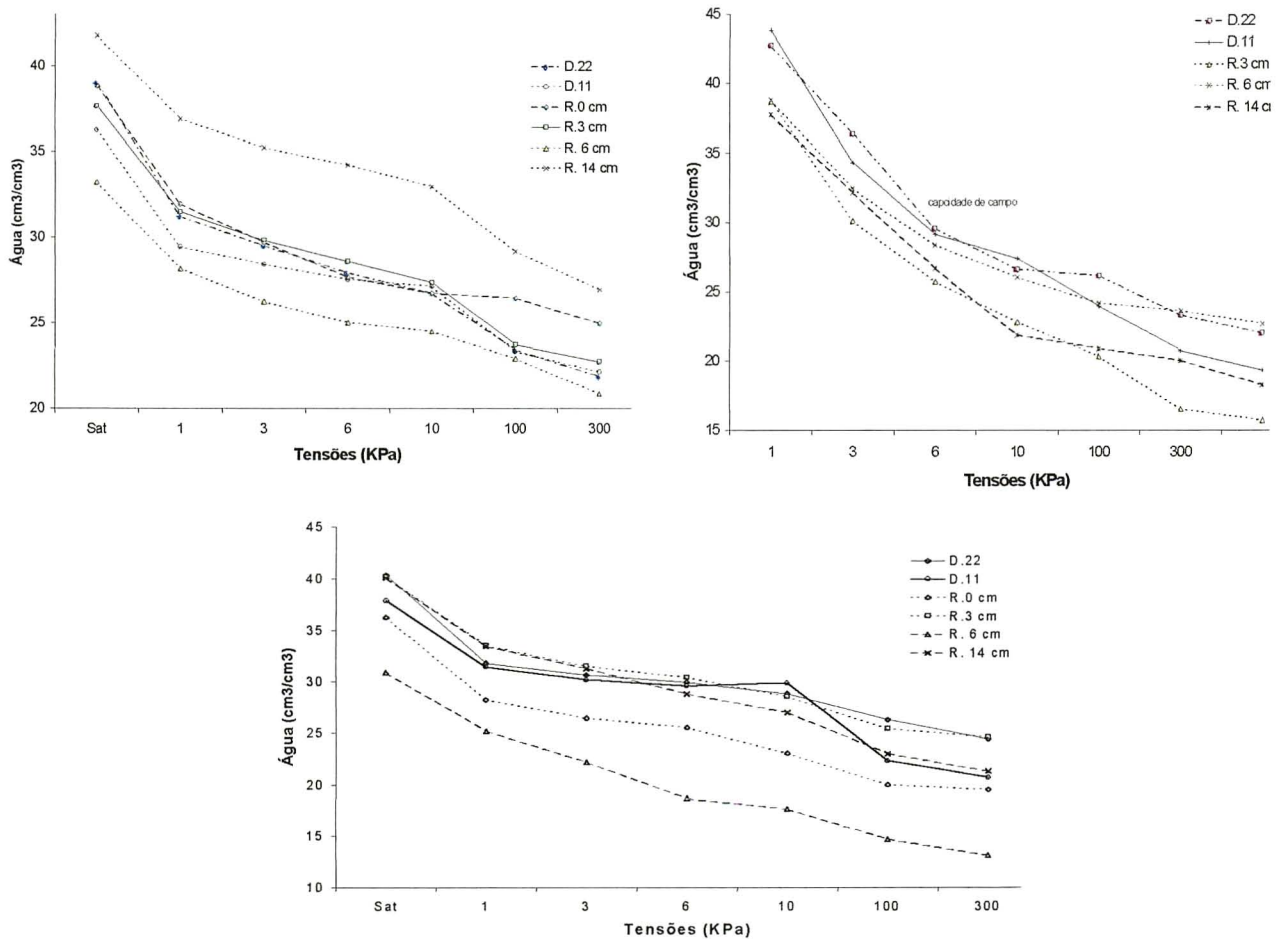


FIGURA 28. Valores da curva de retenção de água no solo na profundidade 0 a 10 cm (acima e a esquerda), 10 a 20 cm (acima e a direita) e 20 a 30 cm (abaixo); média de 3 repetições.

#### 4.3.3.2. Química do solo

As diferentes quantidades de C orgânico, potássio, fósforo, Ca + Mg, pH e CTC nos tratamentos são mostradas na TABELA 26. Observa-se que a simulação do processo erosivo pela remoção da superfície ocasionou maior efeito na produtividade do que semelhante espessura perdida naturalmente. Solos mais intemperizados como os Latossolos, tem sua produtividade baseada em grande parte na quantidade de C orgânico, assim, reduções neste, possivelmente ocasionam redução no potencial produtivo deste solo. Neste experimento não se confirmou esta expectativa, pois os tratamentos descoberto 22 m e descoberto 11 m tiveram menores teores de C orgânico e maiores rendimentos do trigo, uma vez que o solo não perdeu totalmente o seu horizonte Ap que tem em torno de 14 cm de espessura (FIGURA 29).

Sendo o K um elemento muito móvel no solo, onde permanece fracamente ligado devido ao seu grande raio atômico, pode ser facilmente perdido pela lixiviação ou pela água da enxurrada. Quando se comparou os níveis de K da superfície, nos tratamentos de erosão natural e simulada, observou-se que houve variações significativas nos seus teores; o tratamento que sofreu as maiores perdas por erosão natural, descoberto 22 m, apresentou os menores teores, aproximando-se dos valores do tratamento em que ocorreu a remoção de 3 cm da camada superfície, enquanto que o tratamento remoção 14 cm apresentou as maiores concentrações na camada 0 a 20 cm. Observou-se que níveis mais elevados de K ocorreram nas camadas superiores do perfil do solo.

TABELA 26. Resultados das avaliações das propriedades químicas do solo nos tratamentos sob erosão natural e simulada, em 3 profundidades, média de 3 repetições.

Tratamentos	C orgânico (%)	K (meq/100 g)	P (ppm)	pH	CTC	Ca + Mg (meq/100 g)
Profundidade de 0 a 10 cm						
Descoberto 11 m	2,5 a*	0,21 ab	2 de	5,1 a	12,5 a	7,3 a
Descoberto 22 m	1,9 a	0,09 b	1 e	5,6 a	12,2 a	8,8 a
Remoção 3 cm	3,5 a	0,11 b	2,2 b	5,1 a	12,9 a	5,9 a
Remoção 6 cm	2,6 a	0,14 ab	2,3 ab	5,0 a	12,8 a	8,5 a
Remoção 14 cm	3,1 a	0,24 a	4,0 a	5,2 a	12,8 a	5,9 a
Profundidade de 10 a 20 cm						
Descoberto 11 m	1,8 a	0,07 ab	1 b	4,3 c	9,8 b	1,2 c
Descoberto 22 m	1,6 a	0,03 b	1 b	5,2 a	9,9 ab	5,6 a
Remoção 3 cm	2,3 a	0,08 ab	1,7 a	4,6 ab	10,2 a	2,0 bc
Remoção 6 cm	1,9 a	0,05 b	1 b	4,9 bc	9,9 ab	3,3 ab
Remoção 14 cm	2,2 a	0,09 a	1 b	4,7 bc	9,3 b	2,0 bc
Profundidade de 20 a 30 cm						
Remoção 3 cm	1,9 a	0,06 a	1,3 b	4,5 b	9,7 a	1,6 ab
Remoção 6 cm	1,6 a	0,04 ab	2 a	4,8 ab	9,4 b	3,8 a
Descoberto 22 m	1,5 ab	0,03 b	1 b	5,2 a	9,4 b	4,1 a
Descoberto 11 m	1,5 ab	0,05 ab	1 b	4,2 b	9,1 c	0,9 b
Remoção 14 cm	1,4 b	0,05 ab	1 b	4,6 ab	9,0 c	3,8 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

Os valores de pH indicam que para profundidades superiores a 10 cm os seus níveis são baixos, podendo ocorrer Al na solução do solo, elemento inibidor do crescimento das raízes. Os maiores níveis ocorreram no tratamento descoberto 22 m, o qual foi significativamente superior ao tratamento remoção 6 cm na profundidade 10 a 20 cm.

Os tratamentos remoção 3 cm e descoberto 11 m apresentaram diferenças para a profundidade 10 a 20 cm e descoberto 22 m teve maior CTC do que os demais tratamentos no intervalo de 10 a 30 cm de profundidade. Os valores da soma de Ca e Mg foram significativamente diferentes nas profundidades 20 e 30 cm. O tratamento descoberto 22 m teve comportamento

semelhante ao apresentado para a CTC, indicando que uma das possíveis causas de ter registrado maiores CTC e Ca + Mg seja a calagem.

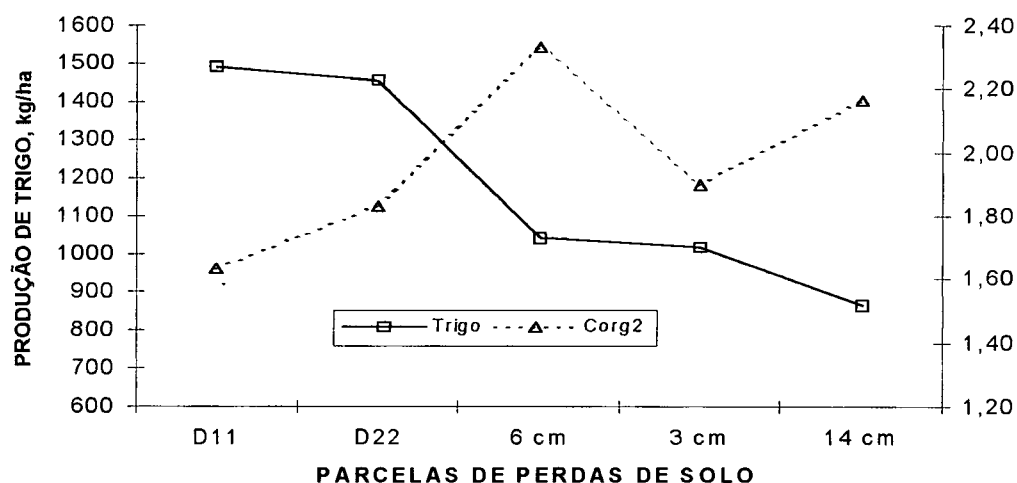


FIGURA 29. Comparação entre a produtividade do trigo e os valores de Carbono orgânico (%), de parcelas de erosão simulada e erosão natural, que tiveram semelhantes espessuras de horizonte de perdas de solo; profundidade 10 a 20 cm.

O efeito da remoção da superfície do solo depende das características do seu perfil. Mesmo não seletiva, ocorre, em muitos casos, que a remoção artificial da parte superior do solo pode afetar mais drasticamente a produtividade do que a remoção lenta pelo processo natural. Em alguns casos pode até aumentá-la, quando o subsolo é mais fértil do que a superfície. SCHMITH et al. (1967, citados por BURNETT et al., 1985), trabalhando num solo Austin argiloso; cultivaram dois grupos de parcelas desde 1931. Removeram 38 cm no primeiro grupo de parcelas nesta data e em 1961 no segundo grupo e verificaram que nos primeiros dois anos após a remoção houve queda na produtividade de sorgo e que esta foi maior nas parcelas do último grupo; a partir do terceiro ano os dois grupos apresentaram produtividades semelhantes. Atribuíram a esta variação a redução dos teores de MO. Solos com pobres condições físicas e químicas no subsolo tem a produtividade reduzida. Mas é difícil separar os efeitos da erosão dos outros fatores que contribuem para a produtividade do solo (PAPERDICK et al., 1985). WETTER (1977, citado por PAPERDICK et al., 1985) observou que a produtividade do trigo decresceu 54 Kg/ha por centímetro retirado e houve uma resposta linear para a remoção de 0 a 61 cm da superfície. No entanto, os maiores efeitos são observados em solos rasos ou que possuam restrições a exploração das camadas mais profundas pelas

raízes. As variações de rendimento verificadas nestes solos são em grande parte devido alterações no suprimento de água – considerado o fator mais importante no processo produtivo.

Solo com perfil que apresentam mais homogêneo a erosão têm efeito menos pronunciado na redução da produção do que solo que variam a fertilidade no perfil. Para o Latossolo Vermelho-Escuro, a perda de até 6 cm pouco interferiu na produtividade.

Apesar de se corrigir a fertilidade do solo considerando o tratamento de menor fertilidade, obteve-se diferenças na produtividade das culturas avaliadas. Indicando que as condições que o solo oferece à cultura é fundamental para o seu desenvolvimento. Entre as características que interferem pode-se destacar o equilíbrio na população de microorganismos, a estrutura propicia a aeração, o fluxo de água e a expansão das raízes no perfil do solo em busca de água e nutrientes. Além de contribui para o empobrecimento da estrutura do solo, grande parte da fertilidade do solo é perdida juntamente com o C orgânico. Portanto, observar, medir e buscar métodos de controle da erosão é vital à manutenção do níveis de produção. Nenhuma tecnologia que não leve em consideração a maneira como o processo erosivo ocorre e maneiras de controle pode ser adotada, pois para recuperar um solo degradado é preciso muitos recursos financeiros e tempo.



## 5. CONCLUSÕES

1. A produtividade do trigo foi influenciada pela perda por erosão sob chuva natural de camadas superficiais do solo.
2. A remoção artificial de camadas superficiais de solo de até 14 cm não reduziu significativamente a produtividade do trigo.
3. O efeito da remoção artificial de camadas da superfície do solo sobre a produtividade do trigo foi menor do que a perda destas camadas pelo processo natural de erosão.
4. O trigo apresentou produção total de raízes maior quanto maior a camada de solo perdida por erosão ou removida artificialmente.
5. A influência da perda de camadas superficiais do solo pela chuva foi maior na cultura da soja, estimando-se uma perda de produtividade de 150 kg/ha/cm de solo perdido.
6. A remoção artificial de uma camada de 14 cm de solo reduziu a produtividade da soja em até 1400 Kg/ha.
7. A perda das camadas mais superficiais do solo produziu maior perda na produtividade da soja.
8. A remoção artificial de camadas superficiais de solo e a perda de camada mesma espessura por erosão hídrica apresentaram produtividades de soja muito semelhantes, permitindo neste caso a simulação para avaliar o efeito da erosão sobre a produtividade da soja.
9. As características químicas do solo – principalmente Ca + Mg e CTC – foram mais influentes na produtividade da soja do que as características físicas, nos tratamentos com remoção artificial do solo.
10. Na produtividade apresentada pelo cultivo de trigo, as características físicas tiveram maior influência do que as características químicas, nas parcelas sob chuva natural.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLMARAS, R. R.; ERIN, L. G.; RICK, R. W. Long term cultivation effects on hydraulic properties of a Walla-Walla silt loam. **Soil and Tillage Research**, 1982, 2: 265-279
2. BARBER, S. A. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays*, L.) root Distribution and morphology. **Agronomy Journal**. Madison, v. 63, p. 724-726, 1971.
3. BARLEY, K. P. Mechanical resistance of the soil in relation to the growth of root and emerging shoots. **Agrochimica**, 1976, 20: 173- 182.
4. BENATI, Jr. R.; BERTONI, J.; MOREIRA, C. A. Perdas por erosão em Plantio Direto e Convencional de milho em dois solos de São Paulo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 1, p. 121-23, 1977.
5. BEVEN, K.; GERMANN, P. Macropores and water flow in soils. **Water Resoucers Research**, 1982, 18: 1311-1325.
6. BOONE, F. R. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, p. 283-342, 1988.
7. BURNETT, E.; STEWART, B. A.; BLACK, A. L. Regional effects of soil erosion on crop productivity – Great Plains **In: Soil Erosion and Crop Productivity**. ASA, Madison, Wisconsin, 288-292 p. 1985.
8. BUERKERT, A. ; MARSCHNER, H. Calcium and temperature effects on seedling exudation and root rot infection of common bean on acid sandy soil. **Plant and Soil**, v. 147, n.2 p. 253-303, 1992.
9. CANNEL, Q. R.; JACKSON, M. B. Alleviating aeration stress. **In: ARKIN, G. F.; TAYLOR, G. M. Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981, p. 141-180.
10. CASSEL, D. K. et al. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Vorfolk sandy loam. **Soil Science Soc. of Am. Journal**, 1978, 42: 116-120.
11. \_\_\_\_\_. Effects of plowing depth and deep incorporation of lime and phosphorus upon physical and chemical properties of two Coastal Plain soils after 15 years. **Soil Science Society Journal**, Madison, v. 44, p. 89-95, 1980.

12. \_\_\_\_\_. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. In: Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. **America Society of Agronomy**, 1982, pp. 145-167.
13. \_\_\_\_\_. Spatial and temporal variability of soil physical properties following tillage of Norfolk loamy sand. **Soil Science Soc. of Am. Journal**, 1983, 47: 196-205.
14. CIHA, A. J. Slope position and grain yield of soft white winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p. 193-196, 1984.
15. COMIN, J. J. **Desenvolvimento radicular do milho e da soja em um Latossolo vermelho escuro após a implantação do plantio direto**. Curitiba, PR, 1992. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Ciências agrárias – UFPR .
16. COOK, F. J.; McQueen. D. J.; HART, P. S. S. Physical properties of surface soil in a topsoil removal area and a nearby-undisturbed site **N. Z. J. Agric. res.**, New Zealand, v. 29, p. 137-42, 1986.
17. CURRIE, J. A. Gas diffusion through soil crumbs: the effects of compaction and wetting. **J. of Soil Sci.** 1984, 35 : 1-10.
18. DANIELS, R. B.; GILLIAN, J. W.; CASSEL, D. K.; NELSON, L. A. Quantifying the effects of past soil erosion on present soil productivity. **J. Soil Water Conserv.** Ankeny, v. 42, p. 183-87, 1987.
19. \_\_\_\_\_. Soil erosion class and landscape position in the north Piedmont. **Soil Society American Journal**, Madison, v. 49, p. 991-995, 1985.
20. DEDECEK, Efeitos das perdas e deposições de camadas de solo na produtividade de um Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 11, p. 323-28, 1987.
21. DENARDIN, J. E.; KOCHLANN, R. A. Requisitos para a manutenção do sistema plantio direto no Brasil; In: **Aldeia Norte**, Passo Fundo, RS, 1993, p.25-26.
22. DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. GTZ (n. 245), 272 p. 1991.
23. DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage Research**, 1988, 11: 199-288.
24. DIEHL, J. A. **Doenças de raízes de trigo**. Passo Fundo, RS, EMBRAPA – CNPT, 1982. 11 p. (Circular técnica, 3).
25. EAVIS, B. W.; PAYNE, D. Soil physical conditions and root growth. In: WHITTINGTON, W. J. **Root growth**. London: Butterworths, 1969. p. 315-336.

26. EMBRAPA. **Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do PR, SC e RS.** Passo Fundo, 1991.
27. EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos.** Rio de Janeiro, 1979, np.
28. ESTADOS UNIDOS. Department of agriculture. Soil Conservation Service. **Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for mapping and interpreting soil surveys.** Washington, D. C. 1975 (Agriculture Handbook, n. 436).
29. FOWLER, J. A. P. **A influência de propriedades do solo na ocorrência do mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis*) do trigo (*Triticum aestivum*, L.).** Curitiba, 1994. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Ciências Agrárias – UFPR.
30. FRYE, W. W.; ABELHAR, S. A.; MURDOCK, L. W.; BLEVINS, R. L. Soil erosion effects on properties and productivity of two Kentucky Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 46, p. 1051-1055, 1982.
31. GOSS, M. J.; EHLERS, W.; BOONE, F. R.; et al. Effects of soil management practice on soil physical conditions affecting root growth. **Journal Agricultural Engineering Research.** London, v. 30 p. 131-140, 1984.
32. GROENEVELT, P. H. et al. Physical assesment of a soil with respect to rooting potential. **Geoderma**, Amsterdam, 1984, 34: 101-114.
33. GRUPTA, J. P.; KATHAVATE, Y. V. Effect of soil compactation and different water regimes on oxygen diffusion, nutrient uptake growth and yield of rice. **RISO**, Milano, v. 21, n. 3, p. 191-200, 1972.
34. HAMBLIN, A.P. Soil water behavior in response to changes in soil structure. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 375-386, 1982.
35. HAMLETT, J. M. et al. Traffic and soil amendment effects on infiltration and compaction. **Soil and Water**, 1990, 33 (3) 821-826.
36. HILL, R. L.; HORTON, R.; CRUSE, R. M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, n. 5, p. 1264-1270, 1985.
37. HILL, R. L.; MEZA-MONTALVO, M. Long-term wheel traffic effects on soil physical properties under different tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, 1990, 54: 865-870.
38. HORTON, R.; ALLMARAS, R. R.; CRUSE, R. M. Tillage and effects on soil hydraulic properties and water flow. In: LARSON, W. E. et al. **Mechanics and related processes in structure agricultural soils.** Ames: Applied Science, 1989. p.187-203.

39. HSIEH, J. J. C.; GARDNER, W. H. Experimental control of soil water content in the vicinity of roots hairs. **Soil Sci. Amer. Proc.** Madison, v. 36, p. 418-421, 1972.
40. IAPAR. **Relatório final: Avaliação da erosão em sistemas de preparo para a soja e trigo na região dos Campos Gerais.** Ponta Grossa, 1995.
41. KEMPER, R.; DERPSCH, R. Soil compaction and root growth in Paraná. In: RUSSEL, R. S.; IGUE, K.; MEHTA, Y. R. **The soil/root System in Relation to Brazilian Agriculture.** Londrina: IAPAR, 1981. P. 81-101.
42. KINIRY, L. N.; SCRIVNER, C. L.; KEENE, M. E. A. Soil productivity index based upon predicted water depletion and root growth. **Res. Bull.** University of Missouri - Columbia College of Agriculture, Columbia, n. 1051, p. 1-26, 1983.
43. LAL, R. 1974. **Role of Mulching Techniques in Tropical Soil and Water Management.** Ibadan, International Institute of Tropical Agriculture. 37 p. (Technical Bulletin, 1).
44. \_\_\_\_\_. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria, I. the changes in physical properties and response of crops. **Geoderma**, Amsterdam, v. 16, p. 4129-31. 1984.
45. \_\_\_\_\_. Physical characteristics of soils of the tropics: determination and management. In: **Soil Physical Properties and Crop Production in the Tropics.** R LAL; D. J. GREENLAND (ed.). Chichester, England, J. Wiley & Sons Ltd., 1979, p. 7-44.
46. \_\_\_\_\_. Monitoring soil erosion's impact on crop productivity. In: Soil Erosion Research Methods. **Soil and Water Cons. Society**, Ankeny, Iowa, 1988. p. 187-202.
47. LARSON, W. E. et al. Effects of soil erosion on soil properties as related to crop productivity and classification. In: FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A., ed. **Soil erosion and crop productivity.** Madison: ASA - CSSA - SSSA, 1985. p. 189-221.
48. LOWERY, B.; SWAN, J. SCHUMACHER, T.; JONES, A. Physical properties of selected soils by erosion class. **J. of Soil and Water Cons.** 50 (3) 306-311, 1995.
49. MARSHALL; HOLMES. The physical environment of roots. In: MARSHALL; HOLMES. **Soil physics.** London: Cambridge University Pres., 1979. P. 264-275.
50. MIELKE, L. N.; DORAN, J. W.; RICHARDS, K. A. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam: v. 7, p. 355-366, 1986.
51. MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo.** C. Monegat, Chapecó, SC, 1991. 336 p.
52. NASCH, V. E.; BALIGAR, V. C. The growth of soybean (*Glycine max*) roots in relation to soil micromorfology. **Plant and Soil**, 1974, 41: 81- 89.

53. NATIONAL SOIL EROSION. Soil Productivity Research Planning Committee. Soil erosion effects on soil productivity : A research perspective. **J. Soil Water Cons.** Ankeny, v. 36, p. 82-90, 1981.
54. NIKOLAYEV, A. V. Main physical soil properties indicate of soil productivity. **Sov. Soil Sci.**, Silver Spring, p. 707-13, 1975.
55. NIZEYIMANA, E.; OLSON. K. R. Chemical, mineralogical and physical property differences between moderately and severely eroded Illinois Soils. **Soil Sci. Am. J.**, Madison, v. 52, p. 1740-1749, 1988.
56. OLIVEIRA, E. F.; BAIRRÃO, J. F. M.; CARRARO, I. M. et al. **Efeito do sistema de preparo do solo nas suas características físicas e químicas e no rendimento de trigo e soja em Latossolo roxo.** Cascavel: OCEPAR, 1990. 54 p. (Resultados de Pesquisa n. 4).
57. OLSON, K. R.; CARMER, S. R. Corn yield and plant population differences between eroded phases of Illinois Soils. **J. Soil Water Cons.**, Ankeny, n. 45, v. 5, p. 562-6, 1990.
58. ONSTAD, C. A. et al. Erosion on productivity interrelation on a soil landscape. **Trans. ASAE**, St Joseph, v. 28, n. 6, p. 1885-8, 1985.
59. ORTOLANI, A. F.; COAN, O.; SALLES, H. C. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja (*Glicine max* (L.) Merrill). **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 6, n. 1, 1982.
60. PAPERDICK, YOUNG, McCOOL, KRAUSS, \_\_\_\_\_ **In: Soil Erosion and Crop Productivity.** ASA. Madison, Wisconsin, 1985.
61. PERRENS, S. J.; TRUSTUM, N. A. Assessment and evaluation for soil conservation policy. In: **WORKSHOP ON POLICIES FOR SOIL AND WATER CONSERVATION.** (1983: Honolulu). **Workshop report.** Honolulu : East-west Environment and Policy Institute, 1984.
62. PETTRY, D. E.; WOOD. C. W. jr.; SOILEAR, J. M. **Effect of to topsoil thickness and horizonation of a Virgin Coastal Plain Soil.** ASAE, 66-70 p. 1985.
63. PIERCE, F. J.; LARSON, W. E.; DOWDY, R. H. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. **J. Soil Water Cons.** Ankeny, v. 38, p. 39-44, 1983.
64. PIERCE, F. J.; DOWDY, R. H.; LARSON, W. E.; GRAHAM, W. A. P. Soil Productivity in the Corn Belt: assessing long-term effects. **J. Soil Water Cons.** Ankeny, v. 39, p. 131-136, 1984.
65. PROVE, B. G.; LOCH, R. J.; FOLEY, J. L. et al. Improvements in aggregation and infiltration characteristics of a Krasnozem under maize with direct drill and stubble retention. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, v. 28, n. 4, p. 577-590, 1990.

66. RACHWAL, M. F. G. **Influência dos níveis de erosão na qualidade e produtividade da batata em dois solos no município de Contenda – PR.** Curitiba, PR, 1992. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Ciências Agrárias – UFPR.
67. REICHERT, J. M.; VEIGA, M. da.; CABEDA, M. S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 17, p. 283-90, 1993.
68. RHOTON, F. E.; TYLER, D. D. Erosion – induced changes in the properties of a Fragipan soil. **Soil Sci. Am. J.** 54 : 223-228 (1990).
69. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Soil Sci. Am. J.** 54 : 1073-1079 (1990).
70. ROLOFF, G. **Aspectos dinâmicos da estrutura dos solos agrícolas e seu estudo.** 1986, Embaixada do Brasil, Washington. 97 p.
71. RUSSEL, R. S. **Plant root systems: their function and interaction with the soil.** Maidenhead, Mcgraw-Hill Book Co. Ltd., 1977.
72. SADLER, J. M. Effects of topsoil, loss and intensive cropping on soil properties related to the crop production potential of Podzolic Grey Luvisol. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, v. 64, p. 533-43, 1984.
73. SCHAFER, R. L.; JOHNSON, C. E. **Changing soil condition the soil dynamics of tillage.** In: Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes. ASA. Special Publication nº 44, American Society of Agronomy, 1982, pp. 13-28.
74. SCHERTZ, D. L.; MOLDENHAUER, W. C. LIVINGTON, S. J.; et al. Effect of past soil erosion on crop productivity in Indiana. **J. of Soil and Water Cons.** Ankeny. v. 44, p. 604-608, 1989.
75. SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja ,em Latossolo Roxo Distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 103-106, 1983
76. \_\_\_\_\_.; VIEIRA, M. J. Comportamento de um Latossolo Roxo Distrófico compactado pelas rodas do trator na semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1984, 19: 1285-1293.
77. SPAVOREK, G.; TERAMOTO, E. R.; TORETA, D. M. ; ROCHELE, T. C. P. Erosão simulada e a produtividade da cultura do milho. **RBCS.** Campinas. 15 : 363-368, 1991.
78. STOCKING, M. **Erosion-induced loss in soil productivity: a research design.** Rome: FAO. soil Conservation Programme. Soil Resources, Management and Conservation Service. Land and Water Development Division, 1984. 33 p. (Consult's Working Paper; n.1).

79. \_\_\_\_\_. **Erosion-induced loss in soil productivity: a research design.** Rome: FAO. soil Conservation Programme. Soil Resources, Management and Conservation Service. Land and Water Development Division, 1985. 33 p. (Consult's Working Paper; n.2).
80. STONE, J. R.; GILLIAN, J. W.; DANIELS, R. B.; NELSON, L. A.; KLEISS, H. J. Effect of erosion and landscape position on the productivity of Piedmont Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** Madison, v. 49, p. 987-91, 1985.
81. TANAKA, D. L. Spring wheat straw production and composition as influenced by topsoil removal. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 59: 649-654 (1995).
82. TAYLOR, S. A.; GARDNER, H. R. Penetration of cotton seeding taproots as moisture content and influenced by bulk density. **Soil Science.** Baltimore, v. 96, p. 153-156, 1963.
83. \_\_\_\_\_. BURNETT, E. Influence of soil strength on the root-growth habits of plants. **Soil Science** v. 98, p. 174-180, 1964.
84. \_\_\_\_\_. et al. Penetration resistance and growth of oats tilled and untilled lost soil. **soil Tillage Research.** Amsterdam, v. 3, p. 261-275, 1983.
85. THOMAS, D. J.; CASSEL, D. K. Land-forming Atlantic Coastal Plain soils: crop yield relationship to soil physical and chemical properties. **J. Soil Water Cons.** Ankeny, v. 34, p. 20-24, 1979.
86. TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science,** 1982, 33: 141-163.
87. TORMENA, C. A. **Resistência à penetração e porosidade em plantio direto, influenciados por preparos pré-implantação, calagem e tráfego.** Curitiba, PR, 1991. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Ciências Agrárias – UFPR.
88. TROUSE, A. C. Jr. Root tolerance to soil impediments. In: **Crop Tolerance to Subtropical Land Conditions.** Madison, ASA, 1978.
89. UNGER, P. W. Wheat residue management effects on soil water storage and corn production. **Soil Science Society of American Journal,** Madison, v. 50, n. 3, p. 764-770, 1986.
90. VEPRASKAS, M. J. et al. Cone index of loamy sands as influenced by pore size distributions and effective stress. **Soil Sc. Soc. of Am. Journal,** 1984, 48 : 1220-1225.
91. VERITY, G. E.; ANDRESON, D. W. Soil erosion effects on soil quality and yield. **Can. J. Soil Sci.,** Ottawa, v. 70, p. 471-84, 1990.
92. ZOBECK, T. M.; ROLONG, N. A.; FRYREAR, D. W. et al. Properties and productivity of recently tilled grass sod and 70-year cultivated soil. **J. of Soil and Water Cons.,** v. 50, n. 2, p. 210-215, 1995.



93. YOUNG, K. K. **The impact of erosion on the productivity of soils in the United States.** J. Wiley & Sons Ltd. Washington, 1981, p. 295-303.
94. WHITE, Jr.; A. W. et al. Characterizing productivity of eroded soils in the Southern Piedmont. In: NATIONAL SYPOSIUM ON EROSION AND SOIL PRODUCTIVITY. (1984: New Orleans). **Proceedings of the...** St Joseph : American Society of Agricultural Engineers, p. 83-95. 1985.
95. WIERSUM, L. K. The relationships of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. **Plant and Soil**, 1957, 9 : 75-85.
96. WOLF, D.; HADAS, A. Soil compaction effects on cotton emergence. **Transactions of the ASAE**, 1984, 27: 665-695.

## A N E X O S

## ANEXO I. Análises físicas do solo

RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO					
Código da Amostra*	% A. Fina	% A. Grossa	% Areia	% Silte	% Argila
1A1	4	2	6	30	64
1A2	4	2	6	28	66
1A3	4	2	6	16	78
2A1	2	4	6	36	58
2A2	2	2	4	30	66
2A3	2	2	4	22	74
3A1	2	2	4	26	70
3A2	4	2	6	24	70
3A3	4	2	6	20	74
4A1	4	4	8	28	64
4A2	2	2	4	30	66
4A3	2	2	4	26	70
5A1	2	4	4	38	56
5A2	2	2	6	26	70
5A3	2	2	4	22	74
6A1	2	2	4	36	58
6A2	4	2	6	30	64
6A3	4	2	6	22	72
7A1	4	2	6	30	64
7A2	2	2	4	28	68
7A3	2	2	4	18	78
8A1	4	2	6	30	64
8A2	4	2	6	24	70
8A3	2	2	4	26	70
9A1	4	2	6	36	58
9A2	2	2	4	30	66
9A3	2	4	6	16	78
10A1	4	2	6	24	70
10A2	2	2	4	26	70
10A3	2	4	6	16	78
1B1	2	4	6	16	78
1B2	2	4	6	22	72
1B3	2	2	4	14	82

\* Primeiro número = tratamento, letra = profundidade e segundo número = repetições.

Continuação do ANEXO I

<b>RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO</b>					
Código da Amostra	% A. Fina	% A. Grossa	% Areia	% Silte	% Argila
2B1	4	2	6	24	70
2B2	2	2	4	18	78
2B3	2	2	4	10	86
3B1	4	2	6	32	62
3B2	2	2	4	24	72
3B3	8	4	12	10	78
4B1	4	4	8	16	72
4B2	4	2	6	18	78
4B3	2	2	4	26	78
5B1	4	2	6	24	68
5B2	4	2	6	18	70
5B3	2	2	4	36	78
6B1	4	2	6	24	58
6B2	4	2	6	20	70
6B3	4	2	6	22	74
7B1	4	2	6	16	72
7B2	4	2	6	14	78
7B3	4	2	6	16	80
8B1	4	2	6	16	78
8B2	4	2	6	16	78
8B3	4	2	6	18	76
9B1	4	2	6	16	78
9B2	4	2	6	16	78
9B3	4	2	6	12	82
10B1	4	2	6	16	78
10B2	4	2	6	18	76
10B3	4	2	6	14	80
1C1	4	2	6	18	76
1C2	4	2	6	20	74
1C3	2	4	6	14	80
2C1	2	4	6	18	76
2C2	4	2	6	16	78
2C3	2	2	4	18	78
3C1	2	2	4	24	72
3C2	2	2	4	18	78
3C3	2	2	4	16	80
4C1	2	2	4	24	72
4C2	2	2	4	28	68
4C3	4	2	6	12	82

\* Primeiro número = tratamento, letra = profundidade e segundo número = repetições.

Continuação do ANEXO I

**RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO**

Código da Amostra*	% A. Fina	% A. Grossa	% Areia	% Silte	% Argila
5C1	4	2	6	22	72
5C2	4	2	6	16	78
5C3	2	2	4	20	76
6C1	2	4	6	24	70
6C2	4	2	6	16	78
6C3	4	2	6	16	78
7C1	2	2	4	24	72
7C2	4	2	6	18	76
7C3	4	2	6	12	82
8C1	4	2	6	20	74
8C2	4	2	6	16	78
8C3	4	2	6	16	78
9C1	4	4	8	18	74
9C2	2	4	6	12	82
9C3	4	2	6	16	78
10C1	4	2	6	26	68
10C2	4	2	6	18	76
10C3	4	2	6	14	80

\* Primeiro número corresponde = tratamento, letra = profundidade e segundo número = repetições.



**ANEXO III.** Resultados das análises químicas do solo coletado no pleno florescimento da cultura do trigo; médias de 3 repetições.

Tratamento	meq/100 cm <sup>3</sup> de solo							
	Profundidade	pH (CaCl)	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Ca + Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P (ppm)	C org
Descoberto 22 m	1	5,60	0,00	3,30	8,83	0,09	1,00	1,90
Descoberto 22 m	2	5,17	0,00	4,23	5,63	0,03	1,00	1,63
Descoberto 22 m	3	5,17	0,10	5,33	4,10	0,03	1,00	1,50
P. convencional	1	5,77	0,00	3,83	7,93	0,17	4,00	2,33
P. convencional	2	4,87	0,43	6,93	3,70	0,07	2,00	1,93
P. convencional	3	4,53	0,83	7,00	2,43	0,03	1,00	1,47
Plantio direto	1	5,53	0,00	3,80	8,73	0,27	13,00	2,63
Plantio direto	2	4,50	0,97	8,40	2,63	0,18	3,00	2,00
Plantio direto	3	4,17	1,23	9,00	1,30	0,17	1,00	1,77
Cultivo mínimo	1	4,97	0,07	4,80	8,47	0,20	6,00	2,90
Cultivo mínimo	2	4,73	0,40	7,17	3,73	0,08	3,00	2,33
Cultivo mínimo	3	4,37	0,87	8,30	1,93	0,05	1,00	1,93
Preparo alternado	1	5,37	0,00	3,37	9,83	0,17	7,00	3,00
Preparo alternado	2	5,13	0,00	5,67	5,63	0,12	5,33	2,83
Preparo alternado	3	4,53	0,73	7,70	2,00	0,06	1,67	1,93
Descoberto 11 m	1	5,13	0,00	4,93	7,33	0,21	2,00	2,50
Descoberto 11 m	2	4,27	1,43	5,87	1,17	0,07	1,00	1,83
Descoberto 11 m	3	4,20	1,13	8,10	0,87	0,05	1,00	1,50
Remoção 0 cm	1	5,33	0,00	3,57	10,10	0,20	4,67	3,07
Remoção 0 cm	2	4,50	0,87	8,57	2,20	0,14	2,00	2,50
Remoção 0 cm	3	4,23	1,07	9,23	1,47	0,09	1,00	1,90
Remoção 3 cm	1	5,10	0,07	4,27	8,47	0,11	2,20	3,50
Remoção 3 cm	2	4,90	0,40	6,83	3,27	0,08	1,67	2,33
Remoção 3 cm	3	4,47	0,67	7,10	3,83	0,06	1,33	2,17
Remoção 6 cm	1	4,97	0,17	5,47	5,90	0,14	2,33	2,47
Remoção 6 cm	2	4,60	0,53	7,90	1,97	0,05	1,00	1,93
Remoção 6 cm	3	4,80	0,37	6,60	3,83	0,11	2,00	2,17
Remoção 14 cm	1	5,20	0,10	5,47	5,87	0,18	4,00	2,80
Remoção 14 cm	2	4,73	0,40	7,00	2,03	0,08	1,00	1,93
Remoção 14 cm	3	4,57	0,57	7,00	1,60	0,05	1,00	1,27

**ANEXO IV.** Resultados das análises químicas do solo, coletado no pleno florescimento da cultura do soja; média de 3 repetições.

Tratamentos	Profundidade	Ph	cmolc/dm <sup>3</sup> de solo			mg/dm <sup>3</sup>		g/dm <sup>3</sup>	
		CaCl	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P	%	C
Descoberto 22 m	1	5,10	0,00	5,17	8,70	0,15	1,00	19,33	
Preparo convencional	1	5,40	0,00	4,03	11,70	0,24	3,67	22,00	
Plantio direto	1	5,30	0,00	6,10	7,97	0,20	3,33	22,00	
Cultivo mínimo	1	5,07	0,10	6,47	10,83	0,15	6,67	23,00	
Preparo alternado	1	5,47	0,00	3,97	11,23	0,22	3,00	19,67	
Descoberto 11 m	1	5,57	0,00	3,87	9,73	0,10	1,00	16,33	
Remoção 0 cm	1	5,27	0,00	6,17	7,90	0,17	1,33	23,33	
Remoção 3 cm	1	4,97	2,00	7,10	6,63	0,10	1,33	19,67	
Remoção 6 cm	1	5,07	0,07	6,10	7,77	0,13	1,33	19,00	
Remoção 14 cm	1	5,03	0,00	6,07	8,27	0,10	1,33	22,00	
Descoberto 22 m	2	5,23	0,00	5,07	8,50	0,11	1,00	18,33	
Preparo convencional	2	5,60	0,00	3,87	10,67	0,15	3,00	21,67	
Plantio direto	2	4,63	1,20	9,17	3,70	0,13	1,67	20,00	
Cultivo mínimo	2	5,47	0,00	4,93	8,60	0,12	3,67	20,33	
Preparo alternado	2	5,37	0,17	5,10	8,93	0,11	2,33	19,67	
Descoberto 11 m	2	5,63	0,00	4,33	7,23	0,09	1,00	16,67	



## Continuação do ANEXO IV.

Tratamentos	Profundidade	pH CaCl	cmolc/dm <sup>3</sup> de solo				mg/dm <sup>3</sup>		g/dm <sup>3</sup>	
			Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P	%	C	
Remoção 0 cm	2	5,63	0,00	4,33	7,23	0,09	1,00	16,67		
Remoção 3 cm	2	4,73	0,73	8,30	4,67	0,14	1,00	20,67		
Remoção 6 cm	2	5,13	0,00	6,50	6,13	0,09	1,00	20,33		
Remoção 14 cm	2	5,03	0,27	6,80	5,87	0,09	1,00	18,00		
Descoberto 22 m	3	4,87	0,50	7,73	3,87	0,05	1,00	15,00		
Preparo convencional	3	5,33	0,00	5,80	6,47	0,08	1,33	16,67		
Plantio direto	3	4,63	0,80	9,27	4,43	0,13	1,00	16,67		
Cultivo mínimo	3	4,87	0,37	7,73	5,10	0,08	1,00	15,00		
Preparo alternado	3	5,23	0,13	6,27	5,30	0,10	1,00	14,67		
Descoberto 11 m	3	5,10	0,17	6,47	4,73	0,07	1,00	15,33		
Remoção 0 cm	3	5,10	0,17	6,47	4,73	0,07	1,00	15,33		
Remoção 3 cm	3	4,57	0,70	9,47	2,37	0,08	0,70	19,67		
Remoção 6 cm	3	4,60	0,27	9,00	1,03	0,07	1,00	16,00		
Remoção 14 cm	3	4,67	0,77	8,80	2,77	0,06	1,00	13,00		

## ANEXO V. Umidade gravimétrica do solo no período de florescimento do trigo; valores médios e percentuais

Tratamento	Profundidade	Datas das avaliações							
		12-Set-95	19-Set-95	26-Set-95	29-Set-95	03-Out-95	06-Out-95		10-Out-95
Descoberto 22 m	0 a 10 cm	22,7	20,6	38,7	34,5	27,8	35,2	34,2	
Descoberto 22 m	10 a 20 cm	25,4	24,7	55	35,2	32	37,1	35,4	
Descoberto 22 m	20 a 30 cm	28,3	28,6	38	39,2	34	39,1	36,2	
Preparo convencional	0 a 10 cm	21,2	21,5	41,2	37,2	31	38,9	34	
Preparo convencional	10 a 20 cm	24,6	24,8	55,1	37,8	37,8	40,5	37,2	
Preparo convencional	20 a 30 cm	28,5	27,1	44	41,7	40,6	42,5	39,6	
Plantio direto	0 a 10 cm	21,3	18,7	42,9	39,6	29	41,4	37,2	
Plantio direto	10 a 20 cm	26,5	26,2	38,8	40,9	37,3	43,9	41,8	
Plantio direto	20 a 30 cm	29,4	28,7	44,2	43,5	40,6	45,6	43,7	
Cultivo mínimo	0 a 10 cm	20	17,1	41,9	42,3	31,2	41,7	38,4	
Cultivo mínimo	10 a 20 cm	24,7	25,7	43,4	40,7	37,9	44,4	40,9	
Cultivo mínimo	20 a 30 cm	28,1	28,3	49,5	43,1	41,5	45	43,2	
Preparo alternado	0 a 10 cm	21,6	17,3	38,6	37,2	36,2	39,5	33,5	
Preparo alternado	10 a 20 cm	26,1	25,4	41,4	38,5	40,1	41,7	38	
Preparo alternado	20 a 30 cm	28,1	29	40,2	40,6	42,5	41,7	41,3	
Descoberto 11 m	0 a 10 cm	20,7	20,6	35,7	35,5	29,5	36,8	32,1	
Descoberto 11 m	10 a 20 cm	23,9	23,7	29,2	35,9	32,2	36,8	35,2	
Descoberto 11 m	20 a 30 cm	26,7	27	37,9	36,2	34,4	37,3	36,8	
Remoção 0 cm	0 a 10 cm	22,1	20,7	44,4	41,5	30,1	44	38,1	
Remoção 0 cm	10 a 20 cm	27	26	43,9	41,6	34,7	44,3	40,8	
Remoção 0 cm	20 a 30 cm	29,7	29,5	44,9	42,9	36,2	44,9	43	
Remoção 3 cm	0 a 10 cm	20,7	20,1	87,3	40,5	34,3	40,3	36,7	
Remoção 3 cm	10 a 20 cm	25,4	26,6	42,9	43,2	38,8	45,3	40	
Remoção 3 cm	20 a 30 cm	29,7	29,4	47,6	45,5	42,4	47,7	43,9	
Remoção 6 cm	0 a 10 cm	20,7	21	58,3	39,8	31,8	40,2	35,7	
Remoção 6 cm	10 a 20 cm	26,6	27	45,1	42,2	38,6	43,4	38,5	
Remoção 6 cm	20 a 30 cm	29,7	29,3	46,1	44,1	43,6	47,7	44,4	
Remoção 14 cm	0 a 10 cm	29,1	22,5	44,3	40,2	30,1	42,3	33,4	
Remoção 14 cm	10 a 20 cm	26,2	27,3	45,5	41,8	34,6	44	38,9	
Remoção 14 cm	20 a 30 cm	29,7	30,1	47,2	43	37,8	46,7	47,3	

**ANEXO VI.** Percentual da água presente no solo que está disponível às plantas, em cada potencial. Valores obtidos a partir da curva de retenção de água no solo, média de 3 repetições.

Tratamento	Profundidade	Tensão (KPa)					
		Água total	1	3	6	10	100
Descoberto 22 m	0 a 10 cm	48,54	39,56	25,68	17,29	15,87	5,58
Preparo convencional	0 a 10 cm	43,25	37,87	28,19	22,05	8,53	5,98
Plantio direto	0 a 10 cm	52,95	44,36	30,94	26,42	21,37	6,18
Cultivo mínimo	0 a 10 cm	45,87	41,29	32,79	18,81	13,38	5,75
Preparo alternado	0 a 10 cm	45,17	32,79	21,84	19,08	20,74	8,84
Descoberto 11 m	0 a 10 cm	55,87	43,67	33,62	29,38	19,21	6,75
Remoção 0 cm	0 a 10 cm	48,96	35,28	21,98	10,79	7,11	3,12
Remoção 3 cm	0 a 10 cm	59,45	47,90	38,99	31,14	22,91	4,85
Remoção 6 cm	0 a 10 cm	41,58	30,18	20,09	12,93	6,27	4,09
Remoção 14 cm	0 a 10 cm	51,69	43,32	31,65	16,48	12,68	8,98
Descoberto 22 m	10 a 20 cm	43,93	29,99	25,88	21,62	18,20	6,69
Preparo convencional	10 a 20 cm	30,88	19,42	11,90	6,51	2,66	1,58
Plantio direto	10 a 20 cm	48,77	36,24	27,58	27,84	16,55	6,88
Cultivo mínimo	10 a 20 cm	31,12	19,43	14,69	9,95	6,76	1,86
Preparo alternado	10 a 20 cm	50,61	34,74	26,01	23,10	24,87	12,54
Descoberto 11 m	10 a 20 cm	38,91	47,90	25,70	22,76	19,91	21,36
Remoção 0 cm	10 a 20 cm	64,30	43,35	23,57	17,18	10,10	6,71
Remoção 3 cm	10 a 20 cm	39,59	27,83	23,80	20,42	16,88	4,08
Remoção 6 cm	10 a 20 cm	37,28	26,04	20,58	16,67	21,33	9,16
Remoção 14 cm	10 a 20 cm	35,51	27,01	23,56	21,25	18,30	7,66
Descoberto 22 m	20 a 30 cm	39,39	23,14	20,22	18,35	15,19	7,09
Preparo convencional	20 a 30 cm	31,95	18,57	14,86	10,69	7,27	4,62
Plantio direto	20 a 30 cm	38,96	25,72	18,64	17,95	15,04	6,89
Cultivo mínimo	20 a 30 cm	40,17	27,56	95,56	17,65	17,65	5,61
Preparo alternado	20 a 30 cm	52,16	38,87	35,70	31,62	31,29	7,75
Descoberto 11 m	20 a 30 cm	45,36	34,15	31,38	30,07	30,65	7,31
Remoção 0 cm	20 a 30 cm	46,11	30,81	26,20	23,50	15,32	2,33
Remoção 3 cm	20 a 30 cm	38,70	26,54	21,88	18,97	13,72	3,15
Remoção 6 cm	20 a 30 cm	57,61	48,02	40,99	29,95	25,78	10,88
Remoção 14 cm	20 a 30 cm	46,88	36,29	31,95	26,04	21,16	7,53

ANEXO VII. Percentual total de água no solo em cada tensão, determinados a partir da curva de retenção de água no solo.

Tratamento	Profundidade	Tensão (KPa)						
		Água total	1	3	6	10	100	3 ATM
Descoberto 22 m	0 a 10 cm	50,74	43,20	35,13	31,57	31,04	27,65	26,11
Preparo convencional	0 a 10 cm	47,68	43,56	37,68	34,72	29,58	28,78	27,06
Plantio direto	0 a 10 cm	51,03	43,16	34,77	32,64	30,54	25,60	24,01
Cultivo mínimo	0 a 10 cm	53,94	49,73	43,44	35,96	33,71	30,98	29,20
Preparo alternado	0 a 10 cm	44,66	36,44	31,33	30,26	30,90	26,86	24,49
Descoberto 11 m	0 a 10 cm	52,04	40,77	34,60	32,52	28,42	24,63	22,97
Remoção 0 cm	0 a 10 cm	50,62	39,92	33,11	28,96	27,81	26,66	25,83
Remoção 3 cm	0 a 10 cm	45,95	35,76	30,54	27,06	24,17	19,58	18,63
Remoção 6 cm	0 a 10 cm	46,05	38,53	33,67	30,90	28,70	28,05	26,90
Remoção 14 cm	0 a 10 cm	44,83	38,22	31,69	25,93	24,80	23,80	21,66
Descoberto 22 m	10 a 20 cm	46,29	37,07	35,01	33,11	31,73	27,81	25,95
Preparo convencional	10 a 20 cm	48,11	41,26	37,74	35,57	34,16	33,79	33,25
Plantio direto	10 a 20 cm	46,52	37,39	32,91	33,03	28,56	25,60	23,84
Cultivo mínimo	10 a 20 cm	48,36	41,34	39,05	36,99	35,72	33,94	33,31
Preparo alternado	10 a 20 cm	46,94	35,53	31,33	30,15	30,86	26,51	23,18
Descoberto 11 m	10 a 20 cm	43,00	34,93	33,71	32,68	32,18	27,69	26,27
Remoção 0 cm	10 a 20 cm	46,05	37,92	35,25	32,82	31,72	31,39	29,61
Remoção 3 cm	10 a 20 cm	44,66	37,39	35,41	33,90	32,46	28,13	26,98
Remoção 6 cm	10 a 20 cm	39,42	33,43	31,13	29,67	31,43	27,22	24,73
Remoção 14 cm	10 a 20 cm	49,57	43,79	41,82	40,59	39,13	34,62	31,97
Descoberto 22 m	20 a 30 cm	47,91	37,78	36,40	35,57	34,24	31,25	29,04
Preparo convencional	20 a 30 cm	45,63	38,14	36,48	34,77	33,49	32,56	31,06
Plantio direto	20 a 30 cm	50,36	41,38	37,78	37,46	36,18	33,01	30,74
Cultivo mínimo	20 a 30 cm	47,81	39,48	643,90	34,73	34,73	30,30	28,60
Preparo alternado	20 a 30 cm	47,22	36,95	35,13	33,03	32,88	24,49	22,59
Descoberto 11 m	20 a 30 cm	44,96	37,31	35,80	35,13	35,43	26,51	24,57
Remoção 0 cm	20 a 30 cm	43,02	33,51	31,41	30,30	27,38	23,74	23,18
Remoção 3 cm	20 a 30 cm	47,69	39,80	37,42	36,08	33,88	30,19	29,24
Remoção 6 cm	20 a 30 cm	36,67	29,91	26,35	22,19	20,95	17,45	15,55
Remoção 14 cm	20 a 30 cm	47,59	39,68	37,15	34,18	32,06	27,34	25,28

ANEXO VIII. Massa de água presente no solo em cada potencial. Valores em gramas por amostra, média de 3 repetições.

Tratamento	Profundidade	Tensão (KPa)						
		Água total	1	3	6	10	100	3ATM
Descoberto 22 m	0 a 10 cm	42,75	36,40	29,60	26,60	26,15	23,30	22,00
Preparo convencional	0 a 10 cm	40,18	36,70	31,75	29,25	24,93	24,25	22,80
Plantio direto	0 a 10 cm	43,00	36,37	29,30	27,50	25,73	21,57	20,23
Cultivo mínimo	0 a 10 cm	45,45	41,90	36,60	30,30	28,40	26,10	24,60
Preparo alternado	0 a 10 cm	37,63	30,70	26,40	25,50	26,03	22,63	20,63
Descoberto 11 m	0 a 10 cm	43,85	34,35	29,15	27,40	23,95	20,75	19,35
Remoção 0 cm	0 a 10 cm	42,65	33,63	27,90	24,40	23,43	22,47	21,77
Remoção 3 cm	0 a 10 cm	38,72	30,13	25,73	22,80	20,37	16,50	15,70
Remoção 6 cm	0 a 10 cm	38,80	32,47	28,37	26,03	24,18	23,63	22,67
Remoção 14 cm	0 a 10 cm	37,78	32,20	26,70	21,85	20,90	20,05	18,25
Descoberto 22 m	10 a 20 cm	39,00	31,23	29,50	27,90	26,73	23,43	21,87
Preparo convencional	10 a 20 cm	40,53	34,77	31,80	29,97	28,78	28,47	28,02
Plantio direto	10 a 20 cm	39,20	31,50	27,73	27,83	24,07	21,57	20,08
Cultivo mínimo	10 a 20 cm	40,75	34,83	32,90	31,17	30,10	28,60	28,07
Preparo alternado	10 a 20 cm	39,55	29,93	26,40	25,40	26,00	22,33	19,53
Descoberto 11 m	10 a 20 cm	36,23	29,43	28,40	27,53	27,12	23,33	22,13
Remoção 0 cm	10 a 20 cm	38,80	31,95	29,70	27,65	26,73	26,45	24,95
Remoção 3 cm	10 a 20 cm	37,63	31,50	29,83	28,57	27,35	23,70	22,73
Remoção 6 cm	10 a 20 cm	33,22	28,17	26,23	25,00	26,48	22,93	20,83
Remoção 14 cm	10 a 20 cm	41,77	36,90	35,23	34,20	32,97	29,17	26,93
Descoberto 22 m	20 a 30 cm	40,37	31,83	30,67	29,97	28,85	26,33	24,47
Preparo convencional	20 a 30 cm	38,45	32,13	30,73	29,30	28,22	27,43	26,17
Plantio direto	20 a 30 cm	42,43	34,87	31,83	31,57	30,48	27,82	25,90
Cultivo mínimo	20 a 30 cm	40,28	33,27	29,83	29,27	29,27	25,53	24,10
Preparo alternado	20 a 30 cm	39,78	31,13	29,60	27,83	27,70	20,63	19,03
Descoberto 11 m	20 a 30 cm	37,88	31,43	30,17	29,60	29,85	22,33	20,70
Remoção 0 cm	20 a 30 cm	36,25	28,23	26,47	25,53	23,07	20,00	19,53
Remoção 3 cm	20 a 30 cm	40,18	33,53	31,53	30,40	28,55	25,43	24,63
Remoção 6 cm	20 a 30 cm	30,90	25,20	22,20	18,70	17,65	14,70	13,10
Remoção 14 cm	20 a 30 cm	40,10	33,43	31,30	28,80	27,02	23,03	21,30

**ANEXO IX.** Massa de água no solo que está disponível às plantas, em cada potencial. Valores em gramas por amostra, média de 3 repetições.

Tratamento	Profundidade	Tensão (KPa)						
		Água total	1	3	6	10	100	3ATM
Descoberto 22 m	0 a 10 cm	20,75	14,40	7,60	4,60	4,15	1,30	22,00
Preparo convencional	0 a 10 cm	17,38	13,90	8,95	6,45	2,13	1,45	22,80
Plantio direto	0 a 10 cm	22,77	16,13	9,07	7,27	5,50	1,33	20,23
Cultivo mínimo	0 a 10 cm	20,85	17,30	12,00	5,70	3,80	1,50	24,60
Preparo alternado	0 a 10 cm	17,00	10,07	5,77	4,87	5,40	2,00	20,63
Descoberto 11 m	0 a 10 cm	24,50	15,00	9,80	8,05	4,60	1,40	19,35
Remoção 0 cm	0 a 10 cm	20,88	11,87	6,13	2,63	1,67	0,70	21,77
Remoção 3 cm	0 a 10 cm	23,02	14,43	10,03	7,10	4,67	0,80	15,70
Remoção 6 cm	0 a 10 cm	16,13	9,80	5,70	3,37	1,52	0,97	22,67
Remoção 14 cm	0 a 10 cm	19,53	13,95	8,45	3,60	2,65	1,80	18,25
Descoberto 22 m	10 a 20 cm	17,13	9,37	7,63	6,03	4,87	1,57	21,87
Preparo convencional	10 a 20 cm	12,52	6,75	3,78	1,95	0,77	0,45	28,02
Plantio direto	10 a 20 cm	19,12	11,42	7,65	7,75	3,98	1,48	20,08
Cultivo mínimo	10 a 20 cm	12,68	6,77	4,83	3,10	2,03	0,53	28,07
Preparo alternado	10 a 20 cm	20,02	10,40	6,87	5,87	6,47	2,80	19,53
Descoberto 11 m	10 a 20 cm	14,10	14,10	7,30	6,27	5,40	4,98	22,13
Remoção 0 cm	10 a 20 cm	24,95	13,85	7,00	4,75	2,70	1,78	24,95
Remoção 3 cm	10 a 20 cm	14,90	8,77	7,10	5,83	4,62	0,97	22,73
Remoção 6 cm	10 a 20 cm	12,38	7,33	5,40	4,17	5,65	2,10	20,83
Remoção 14 cm	10 a 20 cm	14,83	9,97	8,30	7,27	6,03	2,23	26,93
Descoberto 22 m	20 a 30 cm	15,90	7,37	6,20	5,50	4,38	1,87	24,47
Preparo convencional	20 a 30 cm	12,28	5,97	4,57	3,13	2,05	1,27	26,17
Plantio direto	20 a 30 cm	16,53	8,97	5,93	5,67	4,58	1,92	25,90
Cultivo mínimo	20 a 30 cm	16,18	9,17	5,73	5,17	5,17	1,43	24,10
Preparo alternado	20 a 30 cm	20,75	12,10	10,57	8,80	8,67	1,60	19,03
Descoberto 11 m	20 a 30 cm	17,18	10,73	9,47	8,90	9,15	1,63	20,70
Remoção 0 cm	20 a 30 cm	16,72	8,70	6,93	6,00	3,53	0,47	19,53
Remoção 3 cm	20 a 30 cm	15,55	8,90	6,90	5,77	3,92	0,80	24,63
Remoção 6 cm	20 a 30 cm	17,80	12,10	9,10	5,60	4,55	1,60	13,10
Remoção 14 cm	20 a 30 cm	18,80	12,13	10,00	7,50	5,72	1,73	21,30

**ANEXO X.** Densidade de partículas do solo, em 3 profundidades, nos tratamentos sob erosão natural, média de 3 repetições. Valores em  $Mg/m^3$ .

Tratamentos	Profundidades		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
	Mg/m <sup>3</sup>		
P. convencional	2,33 a*	2,33 a	2,26 b
Preparo alternado	2,52 a	2,52 ab	2,32 ab
Descoberto 22 m	2,45 a	2,45 bc	2,40 ab
Descoberto 11 m	2,41 a	2,41 bc	2,40 ab
Plantio direto	2,51 a	2,51 c	2,42 a
Cultivo mínimo	2,38 a	2,38 c	2,35 ab
CV	3,15	1,65	2,23

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

**ANEXO XI.** Resistência do solo a penetração avaliada durante o período seco (maio 96), 3 profundidades, nos tratamentos sob erosão natural, média de 10 repetições (MPa).

Tratamentos	Profundidades			
	Superfície	10 cm	20 cm	30 cm
	MPa			
Descoberto 22 m	2,81 a*	1,88 a	1,39 a	0,94 a
P. convencional	2,79 a	1,87 a	1,40 a	0,94 a
Plantio direto	2,79 a	1,87 a	1,39 a	0,95 a
Preparo alternado	2,98 a	1,87 a	1,39 a	0,94 a
Cultivo mínimo	2,82 a	1,88 a	1,38 a	0,94 a
Descoberto 11 m	2,79 a	1,95 a	1,47 a	0,98 a

\* Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.

**ANEXO XII.** Condutividade hidráulica saturada do solo, nos tratamentos sob erosão natural, média de 3 repetições. Valores em mm/h.

Tratamentos	Profundidades		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
	mm/h		
Descoberto 22 m	18,77 a*	1,63 a	0,65 a
Preparo convencional	14,26 a	3,49 a	0,85 a
Plantio direto	61,30 a	10,20 a	2,82 a
Preparo alternado	34,19 a	34,01 a	45,33 a
Cultivo mínimo	26,88 a	20,10 a	8,72 a
Descoberto 11 m	22,58 a	1,38 a	3,62 a
CV	66,84	183,37	139,98

Médias seguidas de mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5 % pelo teste de Tukey.