



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARAMETRIZAÇÃO E MODELAGEM DO BALANÇO HÍDRICO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO BRASILEIRO

Tese submetida à banca examinadora
para obtenção do título de Doutor em
Engenharia Agrícola na área de
concentração em Água e Solo.

FERNANDO ANTÔNIO MACENA DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Hilton Silveira Pinto

CAMPINAS - SP

2004

Si38p Silva, Fernando Antônio Macena da
Parametrização e modelagem do balanço hídrico em
sistema de plantio direto no cerrado brasileiro / Fernando
Antônio Macena da Silva.--Campinas, SP: [218 p.], 2004.

Orientador: Hilton Silveira Pinto.
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Plantio direto. 2. Balanço hidrológico. 3. Cerrados.
4. Milho. 5. Milheto. I. Pinto, Hilton Silveira. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

DEDICO:

À minha esposa e filha:

Germana e Priscila

Aos meus pais:

Júlio e Odete

Aos meus irmãos:

Valdir, Valdete, Valdenice, Ronaldo, Júlio e Gilson

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Hilton Silveira Pinto pela amizade e orientação fornecida durante a elaboração deste trabalho.

À Embrapa Cerrados, pela oportunidade de realização do curso.

À Unicamp, especialmente, à FEAGRI e ao CEPAGRI, por me ter dado a oportunidade de fazer parte da sua história.

Aos pesquisadores Eric Scopel, Marc Corbeels e François Affholder do Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement – Cirad, pelas sugestões e disponibilidade dos arquivos fontes do modelo Stics que se tornou ferramenta importante para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo Cedric Lamalle pelo apoio na área de informática.

Aos pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente, Alfredo José B. Luiz, e da Embrapa Informática, Eduardo D. Assad, pelo incentivo e sugestões que se tornaram muito valiosas na execução deste trabalho.

A todos os professores da FEAGRI pelas informações ministradas durante o curso e pela amizade.

Aos colegas de curso de pós-graduação pelo convívio, amizade e companheirismo.

Aos técnicos agrícolas Lúcio Feitoza e Carlos Alberto pela eficaz ajuda durante a realização das medidas de campo.

A todos do Laboratório de Biofísica Ambiental da Embrapa Cerrados: Balbino Evangelista, Heleno Bezerra, Edim Borges, Elaine Cristina, Elaine Marra, Késia Evangelista e Gisele Martins pelo apoio recebido.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE ANEXOS	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xix
RESUMO	xxii
ABSTRACT	xxiv
1. INTRODUÇÃO.....	26
1.2. Hipótese científica	28
2. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA	29
2.1. Generalidades	29
2.2. A definição do sistema de plantio direto	30
2.3. O plantio direto no Brasil	31
2.4. O plantio direto no Cerrado	32
2.5. Principais modificações causadas pelo Plantio Direto no ambiente do solo.....	35
2.6. Influências dos resíduos sobre o balanço hídrico das culturas	37
2.6.1. Interceptação de água	37
2.6.2. Escoamento superficial e erosão.....	38
2.6.3. Infiltração de água no solo	39
2.6.4. Evaporação da água do solo	39
2.7. A modelagem e os efeitos dos resíduos no balanço hídrico das culturas	41
2.8. Modelos de crescimento de cultura	42
2.9. A modelagem e o sistema de Plantio Direto no Cerrado brasileiro.....	46
2.10. Necessidade de um modelo de cultura adaptado às condições do Sistema de Plantio Direto com Cobertura Vegetal (SPDCV)	46
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.1. Descrição geral do bioma Cerrado	49
3.2. Localização geográfica da área de estudo	49
3.3. Caracterização climática.....	50
3.4. Vegetação	50
3.5. Solos	51

3.6.	Geomorfologia.....	53
3.7.	Declividade.....	53
3.8.	Descrição do modelo STICS	54
3.8.1.	Adaptações do módulo de balanço hídrico ao sistema plantio direto.....	56
3.9	Quantificação e modelagem dos efeitos das palhadas de milho, milheto e soja, na dinâmica da água, no sistema plantio direto.....	59
3.9.1.	Capacidade de armazenamento da água pela palhada	59
3.9.2.	Relação entre quantidade de palha e cobertura do solo.....	60
3.9.3.	Interceptação da radiação solar pela palhada	61
3.9.4.	Dinâmica da evaporação da água armazenada na palhada	62
3.9.5.	Influência da palhada no escoamento superficial	64
3.9.6.	Dinâmica de decomposição dos resíduos de milheto	65
3.10.	Aquisição dos dados para a calibração do modelo STICS: comparação dos sistemas plantio direto e convencional.....	66
3.10.1.	Descrição do experimento	66
3.10.2.	Sistema de manejo	67
3.10.3.	A cultura do milho no sistema de manejo plantio direto (PD)	68
3.10.4.	Parcelas experimentais	70
3.10.5.	Obtenção dos dados.....	71
3.11.	Calibração do modelo <i>STICS</i> para as culturas do milho e do milheto nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto.	74
3.11.1.	Dados necessários para a execução do modelo STICS	74
3.12.	Aplicação do modelo STICS para avaliar o risco climático do milho nos sistemas convencional e plantio direto.....	75
3.12.1.	Dados de entrada do modelo	75
3.12.2.	Método de análise dos dados.....	77
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4.1.	Quantificação e modelagem dos efeitos das palhadas de milho, milheto e soja, na dinâmica da água, no sistema plantio direto.....	79
4.1.1.	Capacidade de armazenamento da água pela palhada	79
4.1.2.	Relação entre quantidade de palha e cobertura do solo.....	82

4.1.3.	Interceptação da radiação solar pela palhada	85
4.1.4.	Dinâmica da evaporação da água armazenada na palhada	89
4.1.5.	Influência da palhada no escoamento superficial	101
4.1.6.	Dinâmica de decomposição dos resíduos de milho	104
4.2.	Aquisição dos dados para a calibração do modelo STICS: comparação dos sistemas plantio direto e convencional.....	106
4.2.1.	Variáveis climáticas.....	106
4.2.2.	Caracterização física do solo	110
4.2.3.	Caracterização hidrodinâmica	111
4.2.4.	Dados da planta	111
4.3.	Calibração do modelo <i>STICS</i> para as culturas do milho e do milho nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto	117
4.3.1.	Índice de área foliar	117
4.3.2.	Balanço de água.....	119
4.3.3.	Matéria seca total.....	123
4.3.4.	Produtividade de grãos	125
4.3.5.	Comparação dos termos do balanço hídrico entre os sistemas de plantio convencional e plantio direto.....	126
4.4.	Aplicação do modelo STICS para avaliar o risco climático do milho nos sistemas convencional e plantio direto.....	127
4.4.1.	Comparação climática	127
4.4.2.	Efeitos dos resíduos de milho e do tipo de solo sobre o balanço hídrico do milho nos sistemas convencional e plantio direto	129
4.4.3.	Análise do risco climático	144
5.	CONCLUSÕES	157
5.1.	Quantificação e modelagem dos efeitos das palhadas de milho, milho e soja, na dinâmica da água, no sistema plantio direto.....	157
5.1.1.	Capacidade de armazenamento da água pela palhada	157
5.1.2.	Relação entre quantidade de palha e cobertura do solo	157
5.1.3.	Interceptação da radiação solar.....	158
5.1.4.	Dinâmica da evaporação da água	158

5.1.5.	Escoamento superficial.....	158
5.1.6.	Decomposição dos resíduos de milho	159
5.2.	Aquisição dos dados para a calibração do modelo stics: comparação dos sistemas plantio direto e convencional.....	159
5.3.	Calibração do modelo <i>STICS</i> para as culturas do milho e do milho nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto	160
5.4.	Aplicação do modelo STICS para avaliar o risco climático do milho nos sistemas convencional e plantio direto.....	161
5.4.1.	Efeitos dos resíduos de milho e do tipo solo sobre o balanço hídrico do milho nos sistemas convencional e plantio direto	161
5.4.2.	Análise do risco climático do milho	162
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
7.	ANEXOS	181

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Expansão da área plantada com o uso do Plantio Direto no Brasil e no Cerrado.	34
Figura 2.2. Esquema do sistema de plantio direto com cobertura vegetal (SPDCV) ou simplesmente plantio direto (PD) em que a cultura principal, o milho, é plantada no início da estação chuvosa nos meses de outubro-novembro e a planta de cobertura, o milheto, entre os meses de fevereiro-março para o aproveitamento da umidade e dos nutrientes remanescentes da cultura principal.	47
Figura 3.1. Localização geográfica da área de estudo.	50
Figura 3.2. Distribuição das principais classes de vegetação original dos campos experimentais da Embrapa Cerrados.	51
Figura 3.3. Distribuição das classes de solos nos campos experimentais da Embrapa Cerrados.	52
Figura 3.4. Mapa das principais classes geomorfológicas que ocorrem nos campos experimentais da Embrapa Cerrados.	53
Figura 3.5. Mapa de declividade das áreas experimentais da Embrapa Cerrados.	54
Figura 3.6. Modelo conceitual destacando as principais variáveis de entrada e processos simulados pelo modelo STICS.	55
Figura 3.7. Dispositivo contendo máquina fotográfica digital para aquisição das fotografias que correlacionaram taxa de cobertura do solo e quantidade de palhada.	61
Figura 3.8. Placa de vidro com área de 0,75 m ² e os sensores usados na medição da radiação solar interceptada pela palhada.	61
Figura 3.9. Peneiras com de área 0,25m ² utilizadas para análise das perdas de água das palhadas de milho, milheto e soja.	64
Figura 3.10. Parcelas coletoras de enxurrada para os dois sistemas de manejo: convencional e plantio direto.	65
Figura 3.11. A cultura do milho no sistema de manejo convencional de preparo do solo.	68
Figura 3.12. Esquema da sequência milho-milheto no sistema de plantio direto.	69
Figura 3.13. Distribuição das subparcelas experimentais nos sistemas plantio direto (PD1, PD2 e PD3) e convencional (PC1, PC2 e PC3).	70

Figura 3.14.	Parcelas utilizadas para o acompanhamento do florescimento da cultura do milho em função de diferentes datas de plantio.....	73
Figura 4.1.	Capacidade de armazenamento da água em função da quantidade da palhada de soja, milho e milho.	82
Figura 4.2.	Foto de 0,5 tonelada de palha de milho (a) adquirida por máquina digital e imagem classificada pelo método da máxima verossimilhança (b) indicando uma cobertura de 16% do solo.	83
Figura 4.3.	Taxa de cobertura do solo (%) em função da quantidade (t/ha) e tipo de palha.	84
Figura 4.4.	Ajuste exponencial entre taxa de cobertura (TC, %) e quantidade (t/ha) de palha de milho, milho e soja.....	85
Figura 4.5.	Interceptação da radiação PAR em função da quantidade (t/ha) de resíduos de milho, milho e soja.	86
Figura 4.6.	Interceptação da radiação IR em função da quantidade (t/ha) de resíduos de milho, milho e soja.	87
Figura 4.7.	Ajuste da porcentagem da radiação PAR em função da quantidade (t/ha) de palha de milho, milho e soja.	88
Figura 4.8.	Ajuste da porcentagem da radiação IR em função da quantidade (t/ha) de palha de milho, milho e soja.....	88
Figura 4.9.	Velocidade de dessecação de diferentes quantidades (t/ha) de palhada de MILHO em relação à evapotranspiração potencial (ETP acumulada), do dia, captada pela palhada.	90
Figura 4.10.	Velocidade de dessecação de diferentes quantidades (t/ha) da palhada de MILHETO em relação à evapotranspiração potencial (ETP acumulada), do dia, captada pela palhada.	91
Figura 4.11.	Velocidade de dessecação de diferentes quantidades (t/ha) da palhada de SOJA em relação à evapotranspiração potencial (ETP acumulada), do dia, captada pela palhada.	91
Figura 4.12.	Evaporação acumulada (mm) da palhada do milho em relação à quantidade de energia interceptada (ETP acumulada - mm).	93

Figura 4.13.	Evaporação acumulada (%) da água contida em diferentes quantidades (t/ha) de palhada do milho em relação ao seu conteúdo de água inicial e à sua quantidade de energia captada (ETP acumulada - mm).....	94
Figura 4.14.	Evaporação acumulada (mm) da palhada da soja em relação à quantidade de energia interceptada (ETP acumulada - mm).	94
Figura 4.15.	Evaporação acumulada (%) da água contida em diferentes quantidades (t/ha) de palhada da soja em relação ao seu conteúdo de água inicial e à sua quantidade de energia captada (ETP acumulada - mm).	96
Figura 4.16.	Evaporação acumulada (mm) da palhada do milho em relação à quantidade de energia interceptada (ETP acumulada - mm).	96
Figura 4.17.	Evaporação acumulada (%) da água contida em diferentes quantidades (t/ha) de palhada do milho em relação ao seu conteúdo de água inicial e à sua quantidade de energia captada (ETP acumulada - mm).	97
Figura 4.18.	Relação entre a evaporação observada (mm) e a simulada (mm) para diversas quantidades de palhada de milho.....	99
Figura 4.19.	Relação entre a evaporação observada (mm) e a simulada (mm) para diversas quantidades de palhada de milho.....	100
Figura 4.20.	Relação entre a evaporação observada (mm) e a simulada (mm) para diversas quantidades de palhada de soja.....	100
Figura 4.21.	Coefficiente de determinação (R^2) e modelo de ajuste linear (y) entre lâminas precipitadas (mm) e lâminas escoadas (mm) observadas no sistema de plantio direto.....	102
Figura 4.22.	Coefficiente de determinação (R^2) e modelo de ajuste linear (y) entre lâminas escoadas (mm) observadas no sistema convencional.....	103
Figura 4.23.	Percentual de palha de milho remanescente no solo em função do tempo T (dias) nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto (PD).	105
Figura 4.24.	Distribuição da chuva diária (mm) durante a fase experimental na Embrapa Cerrados.	107
Figura 4.25.	Variação das temperaturas máxima ($T_{m\acute{a}x.}$) e mínima ($T_{m\acute{i}n.}$) ($^{\circ}C$) diárias durante a fase experimental na Embrapa Cerrados.	108
Figura 4.26.	Comportamento da radiação global diária ($Cal.cm^{-2}.dia^{-1}$) durante a fase experimental na Embrapa Cerrados.....	109

Figura 4.27.	Variação diária da evapotranspiração potencial calculada pelo método de Penman - ETP_{Pen} ($mm.dia^{-1}$) - durante o período experimental na Embrapa Cerrados.....	109
Figura 4.28.	Variação da densidade aparente DAP ($g.cm^{-3}$) nas diversas profundidades (cm) dos solos das parcelas cultivadas nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC).	110
Figura 4.29.	Média do índice de área foliar (IAF) da cultura do milho medido em diferentes épocas do ciclo nos sistemas convencional (PC) e plantio direto (PD).....	112
Figura 4.30.	Profundidade máxima e percentual de solo explorado pelas raízes do milheto no sistema de plantio direto.	115
Figura 4.31.	Intervalos, em dias, da emergência ao florescimento da cultura do milheto, simulados pelo modelo STICS e observados em um dispositivo experimental conduzido na Embrapa Cerrados.	117
Figura 4.32.	Índice de área foliar (IAF) observado com o uso do LAI 2000 e simulado pelo modelo STICS para a cultura do milho, variedade Cargil 901, nas parcelas PC1 (a), PC2 (b) e PC3 (c) cultivadas no sistema de manejo convencional do solo.....	118
Figura 4.33.	Índice de área foliar (IAF) observado com o uso do LAI 2000 e simulado pelo modelo STICS para a seqüência das culturas do milho, variedade Cargil 901 e do milheto, variedade BRS 1501, nas parcelas cultivadas no sistema de plantio direto: PD1 (a), PD2 (b) e PD3 (c).	119
Figura 4.34.	Comparação dos valores observados (••••) e simulados (■) da água disponível no solo (mm) até 180 cm de profundidade, durante o ciclo da cultura do milho, no sistema de manejo convencional PC1 (a), PC2 (b) e PC3 (c), e da seqüência milho-milheto no sistema de plantio direto PD1 (d), PD2 (e) e PD3 (f).....	121
Figura 4.35.	Comparação entre a disponibilidade de água no solo observada e simulada no sistema convencional PC1, PC2 e PC3.	122
Figura 4.36.	Comparação entre a disponibilidade de água no solo observada e simulada no sistema de plantio direto PD1, PD2 e PD3.....	123
Figura 4.37.	Média mensal da precipitação e das temperaturas máxima e mínima em (a) Planaltina-DF e (b) Passo Fundo-RS.....	128
Figura 4.38.	Radiação solar incidente em Planaltina-DF e Passo Fundo-RS.	129

Figura 4.39.	Diferença entre a média da disponibilidade hídrica diária nos sistemas plantio direto (DHPD-mm) e convencional (DHPC - mm) durante o ciclo do milho, plantado em (a) 15 de outubro; (b) 15 de novembro; (c) 15 de dezembro; (d) 15 de janeiro e (e) 15 de fevereiro, em Planaltina-DF.	131
Figura 4.40.	Evolução da disponibilidade hídrica num Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso, nos sistemas convencional (DHPC-mm) e plantio direto (DHPD-mm), referente à data de plantio de 15 de outubro do ano de 1990, em Planaltina-DF.	132
Figura 4.41.	Evolução do índice de área foliar (IAF) e da disponibilidade hídrica num Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso, nos sistemas de manejo convencional (DHS PC-mm) e plantio direto (DHS PD-mm), referente à data de plantio de 15 de janeiro do ano de 1998 em Planaltina-DF.	134
Figura 4.42.	Distribuição da precipitação pluviométrica durante o ciclo do milho plantado no dia 15 de janeiro de 1998 em Planaltina-DF.	134
Figura 4.43.	Diferença entre a evaporação da água do solo textura média nos sistemas plantio direto (ESPD-mm) e convencional (ESPC-mm) para cinco datas de plantio em Planaltina-DF.	135
Figura 4.44.	Diferença entre a evaporação da água do solo argiloso nos sistemas plantio direto (ESPD-mm) e convencional (ESPC-mm) para cinco datas de plantio em Planaltina-DF.	136
Figura 4.45.	Diferença entre a transpiração do milho num solo textura média nos sistemas plantio direto (TPD-mm) e convencional (TPC-mm) para cinco datas de plantio em Planaltina-DF.	137
Figura 4.46.	Diferença entre a transpiração do milho num solo argiloso nos sistemas plantio direto (TPD-mm) e convencional (TPC-mm) para cinco datas de plantio em Planaltina-DF.	137
Figura 4.47.	Diferença entre a média da disponibilidade hídrica diária nos sistemas plantio direto (DHPD-mm) e convencional (DHPC-mm) durante o ciclo do milho, plantado em (a) 15 de outubro; (b) 15 de novembro e (c) 15 de dezembro; (d) 15 de janeiro e (e) 15 de fevereiro em Passo Fundo-RS.	139
Figura 4.48.	Evolução do índice de área foliar (IAF) e da disponibilidade hídrica num Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso, nos sistemas de manejo convencional (DHPC-mm) e	

plantio direto (DHPD-mm), referente à data de plantio de 15 de novembro do ano de 1991, em Passo Fundo-RS.	140
Figura 4.49. Evolução do índice de área foliar (IAF) e da disponibilidade hídrica num Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso, nos sistemas de manejo convencional (DHPC-mm) e plantio direto (DHPD-mm), referente à data de plantio de 15 de novembro do ano de 1991, em Passo Fundo-RS.	141
Figura 4.50. Diferença entre a evaporação da água de um solo textura média nos sistemas plantio direto (ESPD-mm) e convencional (ESPC-mm) para cinco datas de plantio em Passo Fundo-RS.	142
Figura 4.51. Diferença entre a evaporação da água de um solo argiloso nos sistemas plantio direto (ESPD-mm) e convencional (ESPC-mm) para cinco datas de plantio em Passo Fundo-RS.	142
Figura 4.52. Diferença entre a transpiração do milho num solo textura média nos sistemas plantio direto (TPD-mm) e convencional (TPC-mm) para cinco datas de plantio em Passo Fundo-RS.	144
Figura 4.53. Diferença entre a transpiração do milho num solo argiloso nos sistemas plantio direto (TPD-mm) e convencional (TPC-mm) para cinco datas de plantio em Passo Fundo-RS.	144
Figura 4.54. Rendimento mínimo (kg.ha^{-1}) do milho ao nível de 75% de probabilidade (a), curvas das freqüências acumuladas (%) para o plantio em 15 de outubro (b) e probabilidade (%) de o rendimento do milho ser igual ou superior a 9000 kg.ha^{-1} (c), nos sistemas convencional e plantio direto, em solo textura média, na localidade de Planaltina-DF.	148
Figura 4.55. Rendimento mínimo (kg.ha^{-1}) do milho ao nível de 75% de probabilidade (a), curvas das freqüências acumuladas (%) para o plantio em 15 de outubro (b) e probabilidade (%) de o rendimento do milho ser igual ou superior a 9000 kg.ha^{-1} (c), nos sistemas convencional e plantio direto, em solo argiloso, na localidade de Planaltina-DF. ...	149
Figura 4.56. Rendimento mínimo (kg.ha^{-1}) do milho ao nível de 75% de probabilidade (a), curvas das freqüências acumuladas (%) para o plantio em 15 de outubro (b) e probabilidade (%) de o rendimento do milho ser igual ou superior a 9000 kg.ha^{-1} (c), nos	

sistemas convencional e plantio direto, em solo textura média, na localidade de Passo Fundo-RS. 154

Figura 4.57. Rendimento mínimo ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) do milho ao nível de 75% de probabilidades (a), curvas das frequências acumuladas (%) para o plantio em 15 de outubro (b) e probabilidade (%) de o rendimento do milho ser igual ou superior a $9000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (c), nos sistemas convencional e plantio direto, em solo argiloso, na localidade de Passo Fundo-RS. 155

O procedimento de análise do risco climático da cultura do milho pode ser repetido para qualquer localidade que apresente dados de clima requeridos pelo modelo, servindo como uma ferramenta para indicar as áreas com maior potencial para o desenvolvimento do milho e do milho nos sistemas de plantio direto e convencional..... 156

As saídas do modelo podem ser georreferenciadas e conectadas a um Sistema Geográfico de Informações (SGI) para gerar mapas temáticos¹¹ que podem ajudar aos sistemas de auxílio às tomadas de decisão. 156

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Principais modelos agrometeorológicos que simulam o crescimento e o desenvolvimento das culturas em sistema convencional de preparo do solo e os seus respectivos dados de entrada.	44
Tabela 3.1. Características químicas e texturais de um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa, distrófico, no Campus II UFG, Escola de Agronomia em Goiânia.	64
Tabela 3.2. Locais usados para as análises dos termos do balanço hídrico e da produção de grãos da cultura do milho, com suas respectivas coordenadas geográficas e número de anos da série climática.	75
Tabela 3.3. Umidades percentuais na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), teor de argila, densidade aparente e capacidade de armazenamento da água (CAD) de dois latossolos usados nas simulações.	76
Tabela 4.1. Capacidade de armazenamento da água (%) das palhadas de milho, milheto e soja.	80
Tabela 4.2. Resumo da análise de regressão linear simples que associa capacidade de armazenamento da água (mm) com quantidade de resíduo (t/ha) de soja, milheto e milho.	81
Tabela 4.3. Valores de α , dos coeficientes de determinação R^2 e os respectivos modelos de estimativa da taxa de cobertura (TC, %) do solo em função da quantidade ($t \cdot ha^{-1}$) de resíduos de soja, milheto e milho.	85
Tabela 4.4. Valores de β , coeficientes de determinação R^2 e modelos que estimam a quantidade de radiação PAR e IR que chegam ao solo em função da quantidade de resíduo de milho, milheto e soja.	89
Tabela 4.5. Coeficientes β de ajustes de interceptação da radiação PAR e equações de estimativa da evaporação da água armazenada nas palhadas de milho, milheto e soja.	98
Tabela 4.6. Valores dos coeficientes e dos parâmetros de ajuste e modelos de estimativa de evaporação de água para diferentes quantidades de palhada de milho, milheto e soja.	101
Tabela 4.7. Totais de Precipitação (P, mm) e de escoamento superficial (R, mm) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC), no ano agrícola de 2001/2002, na UFG.	102

Tabela 4.8. Valores da chuva limite (L, mm), dos coeficientes de escoamento superficial (α) e modelos de estimativa do escoamento superficial para os sistemas de manejo convencional (PC) e plantio direto (PD).	103
Tabela 4.9. Avaliação do percentual de resíduos de milho remanescentes no solo e do decomposto nos sistemas de plantio direto (PD) plantio convencional (PC) em função das diferentes datas de coleta.	104
Tabela 4.10. Valores de α , coeficientes de determinação R^2 e modelos de estimativa da taxa de resíduos remanescentes (TR) e taxa de decomposição (TD) dos resíduos de milho em função do tempo (t, dias) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC).	106
Tabela 4.11. Índice de área foliar (IAF) da cultura do milho medida pelo LI-2000 em diferentes épocas do ciclo da cultura nos sistemas de manejo convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).	112
Tabela 4.12. Componentes da produção de grãos e biomassa aérea total da cultura do milho nos sistemas convencional (PC1, PC2 e PC3) e plantio direto (PD1, PD2 e PD3).	113
Tabela 4.13. Valores médios de grãos de milho por m^2 , do peso seco de 1 grão, do rendimento de grãos, da biomassa total e valores do teste t (student) para comparar as diferenças entre as médias.	114
Tabela 4.14. Produção de biomassa aérea total da cultura do milho no sistema de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).	115
Tabela 4.15. Datas de plantio e florescimento, dias após o plantio (DAP) e soma térmica (GD, °C dia) do plantio ao florescimento da cultura do milho.	116
Tabela 4.16. Diferença percentual (DIF, %) entre matéria seca total observada e simulada nos sistemas de manejo convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3)	124
Tabela 4.17. Produtividade de grãos ($kg\ ha^{-1}$) da cultura do milho (<i>Zea mays</i> L.), variedade Cargil 901, observada e simulada pelo modelo STICS para os sistemas de manejo convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).	125
Tabela 4.18. Valores simulados da produção de grãos, biomassa e dos termos do balanço hídrico das culturas do milho e do milho nos sistemas de plantio convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).	127

LISTA DE ANEXOS

Anexo 3.1.	Descrição dos solos das parcelas experimentais.....	181
Anexo 3.2.	Descrição do modelo STICS	184
Anexo 4.1.	Taxa de cobertura do solo (%) em função da quantidade de resíduos de milho, milho e soja (t/ha).	196
Anexo 4.2.	Porcentagens das radiações PAR e IR que chegam ao solo e que são interceptadas por diferentes quantidades de palhada de milho, milho e soja.	197
Anexo 4.3.	Dinâmica da perda de umidade das diferentes quantidades de palhada do milho em função da energia recebida.	198
Anexo 4.4.	Dinâmica da perda de umidade das diferentes quantidades de palhada do milho em função da energia recebida.	200
Anexo 4.5.	Dinâmica da perda de umidade das diferentes quantidades de palhada da soja em função da energia recebida.	202
Anexo 4.6.	Dinâmica da evaporação de água da palhada do milho.....	204
Anexo 4.7.	Dinâmica da evaporação de água da palhada do milho.....	205
Anexo 4.8.	Dinâmica da evaporação de água da palhada da soja.....	206
Anexo 4.9.	Precipitação (P, mm) e escoamento superficial (R, mm) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC) para diferentes eventos pluviométricos na UFG, no ano agrícola de 2001/2002.	207
Anexo 4.10.	Valores percentuais de argila, silte, areia grossa e areia fina dos solos das parcelas cultivadas nos sistemas de plantio direto (PD1, PD2 e PD3) e convencional (PC1, PC2 e PC3).	208
Anexo 4.11.	Valores médios da densidade aparente DAP (g.cm^{-3}) nas diversas profundidades (cm) dos solos das parcelas cultivadas nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC).	209
Anexo 4.12.	Espessura e densidade aparente (DA) das camadas dos solos das parcelas experimentais dos sistemas de manejo convencional (PC) e de plantio direto (PD) e suas respectivas umidades percentuais na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP).	210

Anexo 4.13. Área foliar (LAI) da cultura do milho obtida com o medidor de área LI-2000 em diferentes épocas do ciclo da cultura, nos sistemas de manejo convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).	211
Anexo 4.14. Comparação entre índice de área foliar (IAF) observado e simulado para a cultura do milho, variedade Cargil 901, nas parcelas PC1 (a), PC2 (b) e PC3 (c) do sistema de manejo convencional do solo.	212
Anexo 4.15. Comparação entre índice de área foliar (IAF) observado e simulado para a cultura do milho, variedade Cargil 901, nas parcelas PD1 (a), PD2 (b) e PD3 (c) do sistema de plantio direto.	213
Anexo 4.16. Comparação entre índice de área foliar (IAF) observado e simulado para a cultura do milheto, variedade BRS 1501, nas parcelas PD1 (a), PD2 (b) e PD3 (c) do sistema de plantio direto.....	214
Anexo 4.17. Ajuste dos dados de umidade volumétrica do solo ($W_{vol} - cm^3.cm^{-3}$) e de contagem da sonda de nêutrons N (—), mediante análise de regressão linear simples, para as profundidades: 10 cm (a); 20 cm (b); 40 cm (c); 60 cm (d); 80 cm (e) e (f), 100 cm (g), 120 cm (h) e (i), nos sistemas de manejo convencional (PC) e plantio direto (PD).	215
Anexo 4.18. Valores das constantes <i>a</i> e <i>b</i> , do coeficiente de determinação R^2 e modelos de estimativa da umidade volumétrica do solo para os três tratamentos sob plantio convencional (PC) e os três sob plantio direto (PD) nas suas respectivas profundidades (Prof. – cm), resultantes da análise de regressão linear simples.....	216
Anexo 4.19. Matéria seca total observada e simulada da cultura do milho, variedade Cargil 901, nas parcelas PC1, (a), PC2 (b) e PC3 (c) do sistema de manejo convencional do solo.	217
Anexo 4.20. Matéria seca total observada e simulada das culturas do milho, variedade cargil 901, e do milheto, variedade BRS 1501, nas parcelas PD1, (a), PD2 (b) e PD3 (c) do sistema de manejo plantio direto.	218

LISTA DE ABREVIATURAS

Símbolo	Definição	Unidade
β	Parâmetro dependente do tipo de palha e do tipo de radiação	
β_0, β_1 e β_2	Coefficientes de ajuste da regressão linear múltipla	
a e b	Parâmetros de ajuste	
AI	Água Inicial contida na palhada no tempo <i>i-1</i>	Mm
ALBSOL	Albedo do solo	
ARGI	Teor de argila na camada superficial do solo	%
BELONG	Parâmetro da curva de alongação do hipocótilo	graus-dias
CA	Capacidade de armazenamento da palhada	%
CELONG	Parâmetro da curva de alongação do hipocótilo	
CROIRAC	Taxa de crescimento das raízes	cm.graus-dias ⁻¹
CUMLRACZ	Total do comprimento das raízes	cm raiz.cm ² de solo
DELTAI	Crescimento diário do índice de área foliar	m ² de folhas.m ⁻² de solo.dia ⁻¹
DELTAZ	Aprofundamento das raízes	Cm
DENSITE	Densidade de plantas	plantas.m ⁻²
DLAIMAX	Taxa máxima de formação do LAI	m ² de folhas.m ⁻² de solo.dia ⁻¹
EFDENSITE	Efeito da densidade sobre o crescimento do LAI	
ELMAX	Elongação máxima do hipocótilo	Cm
ELONG	Elongação do hipocótilo	Cm
ETP	Evapotranspiração potencial	mm/dia
ETP _{PALHADA}	Evaporação de água da palhada	mm/dia
EXTIN	Coefficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa	
HUMIN(Z)	Conteúdo volumétrico mínimo de água na camada Z	mm.cm ⁻¹
HUR(Z)	Conteúdo volumétrico de água na camada Z	mm.cm ⁻¹
I	Dia (início)	
IAF	Índice de área foliar	
IC	Índice de colheita	

Símbolo	Definição	Unidade
INNS	Índice de estresse de nitrogênio	
IPLT	Data de plantio	
K e α	Parâmetros de ajuste	
LAI	Índice de área foliar	
LM	Lâmina máxima	Mm
LV POT	Nível ótimo de densidade de raiz = (0,5)	cm raiz cm ⁻³ solo
MASEC	Matéria seca da parte aérea	t.ha ⁻¹
NBGRain	Número de grãos	grãos.m ²
P	Precipitação	Mm
PFZ	Quantidade de água na camada ‘Z’	Mm
PFZ(Z)	Condição da presença de água no solo	=0 para HUMIN e =1 para qualquer outro teor de água
PGRain	Peso de um grão	G
PGRainMA XI	Peso máximo de um grão	G
PHOBASE	Fotoperíodo base,	H
PHOI	Fotoperíodo é função da latitude	H
PHOSAT	Fotoperíodo saturado	H
Prof	Profundidade do solo	Cm
PROFSEM	Profundidade de plantio	Cm
PSISTO	Valor absoluto para fechamento dos estômatos	Bars
Q	Quantidade de resíduo ou de palhada	t/ha
QNPLANTE	Quantidade de N absorvido pela planta	kgN.ha ⁻¹
RAINN	Quantidade de água precipitada já descontada a perda causada pelo escoamento superficial	Mm
RAM	Radiação medida pelo Pichhélios	%
RAYON	Raio médio das raízes (0,02)	Cm
RFPI	Efeito do fotoperíodo sobre o desenvolvimento da planta	
Rg	Radiação global	W/ m ²
RIA	Radiação interceptada ajustada	W/ m ²
RIV	Radiação interceptada pela placa de vidro	W/ m ²
RM	Radiação que chega à palhada	W/ m ²
RS	Radiação que chega ao solo	W/ m ²

Símbolo	Definição	Unidade
Ru	Reserva útil de água no solo	Mm
S	Parâmetro para cálculo da densidade de raízes	cm ⁻¹
STPLTGER	Soma das unidades de desenvolvimento (germinação)	graus-dias
SWFAC	Índice de estresse hídrico	
T	Temperatura	°C
t	Tempo	Dias
TC	Taxa de cobertura do solo pela palhada	%
TCMAX	Temperatura máxima de crescimento	°C
TCMIN	Temperatura mínima de crescimento	°C
TCOPT	Temperatura ótima de crescimento	°C
TCULT	Média diária da temperatura da superfície	°C
TD	Taxa de decomposição dos resíduos	%
TDMAX	Limite da temperatura máxima para o desenvolvimento	°C
TDMIN	Limite da temperatura mínima para o desenvolvimento	°C
Text	Textura do solo	
TGMIN	Limite de temperatura mínima usada na emergência	°C
TMOY	Temperatura média	°C
TRG	Radiação solar global	Wm ⁻² dia ⁻¹
TSOL	Temperatura do solo	°C
TURFAC	Índice de estresse de turgescência	
UDEVCULT	Temperatura efetiva para o desenvolvimento, calculada a partir da TCULT	°C
ULAI	Unidade de tempo fisiológico	
Y _i	Evaporação de água da palhada no tempo <i>i</i>	mm
ZDEMI	Profundidade onde a densidade de raízes é ½ da densidade de raízes da camada superficial	cm
ZLABOUR	Profundidade de preparo do solo	cm
ZPENTE	Profundidade onde a densidade de raízes é ½ da densidade de raízes considerando todo o perfil de solo	cm
ZPRLIM	Profundidade máxima do perfil radicular	cm
ZRAC	Profundidade radicular	cm

PARAMETRIZAÇÃO E MODELAGEM DO BALANÇO HÍDRICO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO BRASILEIRO

RESUMO

O sistema de plantio direto tornou-se, efetivamente, uma realidade no Cerrado brasileiro, sendo grande o número de produtores que já adotaram essa técnica. O não revolvimento do solo nesses sistemas, aliado à camada de resíduos que atua como dissipadora de energia, tem provocado mudanças nos fluxos de água no sistema palha-solo-planta-atmosfera. Como ainda não existe um modelo que avalie as modificações impostas ao balanço hídrico das culturas para as condições do Cerrado brasileiro, este trabalho objetivou quantificar, com o uso de modelo numérico, os efeitos da palhada sobre o balanço hídrico do milho e do milheto. Para isso, incorporaram-se novas funções ao modelo STICS (Simulateur multIdisciplinaire de Culture Standard) para simular sequencialmente o crescimento e o rendimento das culturas do milho e do milheto no sistema de plantio direto no Cerrado. Foram estudados e quantificados os efeitos de vários níveis de resíduos de milho, milheto e soja na dinâmica da água no sistema de plantio direto. A modelagem desses efeitos foi feita mediante equações matemáticas simples e, posteriormente, incorporadas ao módulo de balanço hídrico do STICS. Os diferentes parâmetros e variáveis necessários para a avaliação do modelo foram coletados a partir de experimentos conduzidos no campo, onde se mediram a umidade do solo, a área foliar, a biomassa e o rendimento de grãos. Pelos resultados observou-se que o STICS simulou satisfatoriamente a variação de água no solo e os componentes de produção das duas culturas. Uma vez calibrado, usou-se o modelo para avaliar o risco climático do milho nos sistemas convencional e plantio direto. Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que o STICS é uma ferramenta eficaz para ajudar o sistema de auxílio às tomadas de decisão, pois, com seu uso será possível indicar as áreas com maior potencial para o desenvolvimento do milho e avaliar a sensibilidade da sua produção nos sistemas de plantio direto e convencional. Os resultados mostraram que a evaporação da água do solo no sistema de plantio direto, tanto em solo arenoso quanto argiloso, foi sempre inferior à do plantio convencional, por isso, a disponibilidade de água no solo no plantio direto, durante o ciclo do milho, foi em média 50 mm mais elevada. As melhores datas encontradas para o plantio do milho, nos dois sistemas e solos estudados em Planaltina - DF, foram: 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro,

cujos rendimentos mínimos esperados, três em cada quatro anos, superaram 8000 kg. Já 15 de fevereiro foi a que apresentou menor potencial e maior risco climático para a produção do milho.

Palavras-chave: Plantio direto, balanço hídrico, cerrado, modelo STICS, milho, milheto.

PARAMETERIZATION AND MODELLING OF WATER BALANCE IN A NONTILLAGE SYSTEM IN THE BRAZILIAN CERRADO

ABSTRACT

Direct seeding mulch-based cropping (DMC) systems are widespread in the Cerrado region of Brazil and are adopted by a large number of farmers. The absence of soil tillage with the retention of a mulch of plant residues that act as a barrier for energy interception by soil, modifies the water fluxes in the mulch-soil-plant-atmosphere. There exist no crop growth model that evaluates these modifications on the soil water balance under cultivated crops in the Cerrado region. The objective of this study was, therefore, to quantify and simulate these mulch effects on the soil water balance of the maize-millet cropping system. We incorporated a new algorithm into the STICS (Simulateur mulTidisciplinaire de Culture Standard) model to simulate growth and yield of the maize-millet cropping system under DMC in the Cerrado region of Brazil. We studied and quantified the effects of various levels of surface plant residues from maize, millet and soybean on the soil water dynamics in DMC systems. The algorithm accounting for these effects was developed based on simple mathematical equations and thereafter incorporated into the soil water balance model of STICS. The various model parameters and variables were derived from data on soil water, leaf area index, aboveground plant biomass and grain yield, that were collected from a field experiment. The simulation results showed that STICS was able to simulate reasonably well soil water and the growth dynamics of the maize-millet cropping system. We then used the calibrated model to assess climatic risk for maize production under respectively conventional cropping and DMC. Our results suggest that STICS is an efficient tool to assist decision support systems, since its application allows the delineation of the areas with the greatest potential for maize production, and the evaluation of yield responses to respectively DMC and conventional cropping. The results showed that the soil water evaporation in the nontillage systems is lower than that from the conventional systems in both sandy and clayey soils. The water availability found for nontillage system soils during the maize production cycle was 50 mm higher in average. The best planting dates found in the study area for corn production were: October, 15; November, 15; and December, 15. The lowest expected production (three times in four years) was higher

than 8,000 kg. February, 15 presented the lowest potential and the highest climatic risk for maize production in the test site.

Keywords: direct seeding, soil water balance, savanna, STICS model, maize, millet.

PARAMETRIZAÇÃO E MODELAGEM DO BALANÇO HÍDRICO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO BRASILEIRO

1. INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento da atividade agrícola no Cerrado brasileiro foi baseado nas tecnologias da revolução verde, em que o cultivo sucessivo com a utilização intensa de implementos agrícolas, associado ao monocultivo da soja e do milho e o uso excessivo de agroquímicos provocaram acentuado processo de degradação dos recursos naturais, especialmente, o solo e a água. A compactação e a erosão dos solos são os principais problemas ambientais da intensa mecanização.

Atualmente, uma das tecnologias mais utilizada pelos produtores e que diminui os problemas de degradação dos recursos naturais é o sistema plantio direto (PD). Essa técnica tem como premissa básica o não revolvimento do solo e a diversificação de espécies via rotação de culturas, com a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo (DENARDIM e KOCHHANN, 1993).

Segundo DERPSCH e BENITES (2003), a área cultivada com esse sistema que dispensa a aração e a gradagem do solo vem crescendo num ritmo muito acelerado em todo mundo, sendo os Estados Unidos o país onde o PD alcançou a maior difusão em termos de área cultivada, com 22,4 milhões de hectares. O Brasil e a Argentina também se destacam com 17,3 e 14,5 milhões de hectares plantados, respectivamente.

A primeira região a adotar o plantio direto no Brasil foi a Sul no início da década de 1970. No Cerrado, o PD foi introduzido no início dos anos 1980. Porém, somente na década de 1990 é que o sistema tornou-se, efetivamente, uma realidade na região. Segundo SATURNINO (2000), dos 12 milhões de hectares plantados no Brasil no ano 2000, o Cerrado já apresentava 4,5 milhões de hectares cultivados com a adoção dessa técnica.

A palhada presente na superfície do solo representa a essência do plantio direto e provoca algumas modificações no ambiente do solo que afetam o desenvolvimento e o balanço hídrico das culturas, quais sejam:

- reduz o impacto das gotas de chuvas, protegendo o solo contra a compactação, diminuindo o escoamento superficial e aumentando o tempo e a capacidade de infiltração da água (SATURNINO, 2001; LAL, 1998; DERPSCH, 1977; SCOPEL et al., 1998);
- funciona como uma camada dissipadora da radiação solar que chega ao solo reduzindo a evaporação da água (NOVAK et al., 2000; BOND e WILLIS, 1969; RITCHIE e BURNETT, 1971; IDSO et al., 1974);
- reduz a amplitude hídrica e térmica do solo (ARREOLA TOSTADO, 1996; SCOPEL et al., 1998; UNGER e PARCKER, 1976);
- possibilita melhores condições de conservação de umidade para o crescimento e o desenvolvimento das culturas, minimizando os efeitos adversos causados pelo déficit hídrico (DERPSCH et al., 1990; SIDIRAS et al., 1983; CASTRO e DE MARIA, 1993; SALTON et al., 1998).

Uma ferramenta de grande potencial que integram os componentes do balanço hídrico visando a melhorar o conhecimento das respostas das culturas ao ambiente são os modelos de simulação de crescimento e de desenvolvimento de plantas. Eles são utilizados na análise de sistemas cultivados, permitindo o estudo e o entendimento do sistema solo-planta-atmosfera, estimando o desempenho da cultura em diferentes áreas e situações possíveis.

Nos últimos vinte anos, houve aumento considerável da utilização de modelagem em ciência agrícola, com a finalidade de simular processos no sistema solo-planta-atmosfera. Esses modelos têm uma função muito importante na avaliação do risco climático, na determinação do índice de estresse hídrico e na estimativa dos rendimentos das culturas. Porém, ainda não existe um modelo que avalie as modificações impostas ao balanço hídrico das culturas no sistema de plantio direto, em especial, para as condições edafoclimáticas do Cerrado brasileiro uma vez que esses modelos não consideram os efeitos da palhada.

Assim, propõem-se como objetivos desse trabalho:

- (i) quantificar e modelar as principais propriedades hidrodinâmicas das palhadas de milho, milheto e soja na dinâmica da água no plantio direto;

- (ii) incorporar novas funções e calibrar o modelo STICS (Simulateur mulTidisciplinaire de Culture Standard) para simular sequencialmente o crescimento e o rendimento das culturas do milho e do milheto no sistema plantio direto no Cerrado brasileiro;
- (iii) testar o modelo na avaliação do risco climático do milho no sistema plantio direto.

1.2. Hipótese científica

Para o desenvolvimento do trabalho proposto, partiu-se da seguinte hipótese:

Axioma1

A utilização de modelos numéricos não pode ser generalizada. De modo geral, eles foram testados e validados para determinada situação em sua região de origem, sendo, portanto, necessário que se façam testes para verificar sua eficiência na simulação do comportamento agrônomo das culturas em função dos fatores climáticos e de solos da região a ser estudada (SINCLAIR e SELIGMAN, 1996; PASSIOURA, 1996).

Axioma2

O sistema de plantio direto com o uso de cobertura vegetal permite criar e manter condições físicas do solo mais favoráveis à produção das culturas. A dinâmica desses efeitos é variável em função da quantidade e qualidade da planta de cobertura que, por sua vez, é função das condições climáticas, principalmente no Cerrado que apresenta solos de baixa fertilidade e freqüentes ocorrências de veranicos com grande repercussão na produtividade das culturas (GOEDERT, 1986; SIDIRAS et al., 1983; SCOPEL et al., 1998; SALTON et al., 1998; DERPSCH et al., 1991; CASTRO e DE MARIA, 1993).

Hipótese

A incorporação ao modelo de crescimento do milho de novas funções que contabilizem os fluxos hídricos das palhadas, bem como sua modificação, calibração e teste, permitirão simular o rendimento potencial, avaliar as modificações impostas ao balanço hídrico das culturas no sistema de plantio direto e identificar as melhores datas de plantio.

2. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades

O Cerrado brasileiro ocupa aproximadamente área de 204 milhões de hectares, dos quais 127 milhões são de terras aráveis. Segundo dados da EMBRAPA (1998), 10 milhões desse total, estão sendo ocupados por culturas anuais, 35 milhões por pastagens cultivadas e 2 milhões por culturas perenes e florestais, restando, ainda, 80 milhões de hectares para serem ocupados. Atualmente, o Cerrado é responsável por 28% da produção nacional de grãos, incluindo 42,2% da produção de soja e 32% da de milho. Porém, seu cultivo sucessivo tem sido realizado utilizando sistemas de preparo do solo inadequados, pelo uso de implementos como os arados, grades e subsoladores.

Os monocultivos de soja e de milho e o uso excessivo de agroquímicos têm promovido a diminuição da dinâmica da matéria orgânica e da atividade biológica, destruindo a condição estrutural naturalmente frágil dos solos tropicais (KLUTHCOUSKI et al., 1995; BOUZINAC e SÉGUY, 1995). Isto, certamente, acarretará em degradação progressiva do agroecossistema e poderá inviabilizar a agricultura no Cerrado em um futuro muito próximo.

Nas regiões tropicais, principalmente no Cerrado brasileiro, torna-se necessário evitar a exposição do solo às freqüentes chuvas torrenciais e às temperaturas elevadas que podem causar efeitos devastadores nos processos biológicos, químicos e físicos do solo.

A rotação apropriada de culturas, a manutenção dos níveis adequados de nutrientes e a conservação do solo são alternativas que podem resolver esse problema. Nesse sentido, a não-retirada dos resíduos, o não-revolvimento do solo e o maior aporte de material orgânico aumentam a proporção de macroagregados e o desenvolvimento de poros médios, propiciando a manutenção da umidade e a aeração e menores oscilações hídricas e térmicas.

Tudo isso, combinado com a rotação de culturas, tem favorecido o aumento nos teores de matéria orgânica, alterações nos valores de pH, teores de Ca, Mg, K, P e CTC efetiva do solo (FILHO et al., 2000). Portanto, o sistema de plantio direto é uma técnica de manejo do solo que leva em conta todas essas características e, segundo o atual estado do conhecimento, é o sistema de exploração agropecuário que reserva as maiores potencialidades de operacionalização dos novos padrões de sustentabilidade da agricultura.

2.2 A definição do sistema de plantio direto

O termo plantio direto, considerado como uma técnica de manejo conservacionista do solo, foi derivado da expressão inglesa *no-tillage* que significa “sem preparo”. Porém, outros termos também têm sido utilizados, tais como: *zero tillage*, *no-till*, *no-tillage*, *direct drilling*, *siembra directa*, *cero labranza* e *labranza de conservación*.

Sistemas de manejo conservacionistas são aqueles que visam a reduzir o excessivo revolvimento do solo, mantendo os resíduos culturais na sua superfície para minimizar o impacto sobre o meio ambiente. Segundo DENARDIN e KOCHHANN (1993), essa técnica pode ser definida como um sistema de exploração agropecuário que envolve a diversificação de espécies, via rotação de culturas, as quais são estabelecidas na lavoura mediante a mobilização de solo, exclusivamente, na linha de semeadura, mantendo-se os resíduos vegetais das culturas anteriores na superfície do solo.

Por isso, os mesmos autores enfatizaram que desde o início da década de 1980 o plantio direto, para viabilizar-se técnica e economicamente, não poderia mais ser focado como uma simples técnica alternativa de preparo do solo altamente eficiente no controle da erosão.

SALTON et al. (1998) definiram o plantio direto como uma forma de manejo conservacionista que envolve um conjunto ordenado de ações, de processos, de mecanismos e de técnicas adequadas para aumentar a produtividade, conservando ou melhorando continuamente o meio ambiente.

Portanto, a partir dessa data, essa técnica passou a ser denominada de Sistema de Plantio Direto e tem-se apresentado, hoje, como alternativa para os sistemas convencionais de manejo do solo em uso na agricultura intensiva que promovem a diminuição da matéria orgânica, destruindo a naturalmente frágil condição estrutural do solo.

Neste trabalho, abordou-se o sistema de plantio direto com cobertura vegetal, também denominado de SPDCV ou, simplesmente, PD, contemplando o plantio do milho como a cultura principal de verão, seguida pela cultura do milheto cuja função principal é a produção de biomassa. A área estabelecida nesse sistema, que dispensa o tradicional preparo do solo (aração e gradagem), vem crescendo num ritmo acelerado em todo mundo, sendo os Estados

Unidos o país onde o PD alcançou a maior difusão em termos de área cultivada, com 22,4 milhões de hectares. Em seguida, vem o Brasil com 17,3 milhões de hectares, a Argentina com 14,5 milhões, a Austrália 9,0 milhões e o Canadá com 4,08 milhões de hectares (DERPSCH e BENITES, 2003).

2.3. O plantio direto no Brasil

O PD foi introduzido no Brasil no início da década de 1970. As primeiras experiências com essa técnica objetivaram controlar a erosão nas lavouras cultivadas com a sucessão de culturas de trigo e soja na região Sul do País (DENARDIN e KOCHHANN, 1993). Elas foram decorrência de trabalhos de americanos e ingleses com o surgimento do primeiro herbicida de contato, o Paraquat, que entrou no mercado no início dos anos sessenta.

Assim, quando se iniciava a experiência com PD no Brasil, os Estados Unidos já plantavam mais de dois milhões de hectares empregando essa técnica e projetavam sua rápida expansão, adaptando-a às condições daquele país. O sistema ganhou impulso com a descoberta dos herbicidas sistêmicos (não-seletivos e seletivos), garantindo mais eficiência no controle de plantas invasoras (SATURNINO e LANDERS, 1997).

A expansão do PD no Brasil foi lenta até o domínio pleno da tecnologia. Seu início deu-se nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, em 1970, e só passou a ser adotado pelos agricultores a partir de 1976. Atualmente, está sendo adaptado e adotado em quase todas as regiões do Brasil.

Segundo SATURNINO (2000), na safra de 1989/1990, apenas um milhão de hectares era cultivado nesse sistema. Dois anos depois, essa área foi dobrada e, em 1994, atingia três milhões de hectares, tendo alcançado 12 milhões de hectares plantados nos anos de 1999/2000, incluindo os grandes, os médios e os pequenos produtores, entre os quais aqueles que utilizam tração animal. Assim como os Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, a Região do Cerrado tem-se apresentado como um dos locais de maior expansão do sistema de plantio direto que hoje é aplicado não só nas culturas de soja e milho, mas também nas de feijão, arroz, cana-de-açúcar e pastagens.

2.4. O plantio direto no Cerrado

Segundo SALIM (1981), um dos principais programas formulado, executado e financiado pelo governo federal que visou ao desenvolvimento da atividade agrícola no Cerrado foi o POLOCENTRO (Programa de Desenvolvimento do Cerrado). Esse programa abrangeu parte dos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, com o intuito de incorporar 3,7 milhões de hectares de Cerrado entre os anos de 1975 e 1979.

A partir desse programa, cujo modelo adotado foi baseado nas tecnologias da revolução verde, observou-se que a agropecuária da região expandia-se de forma dinâmica com a intensificação na produção de velhos produtos ao lado da diversificação e introdução de novos produtos, obtendo-se assim uma taxa média de crescimento elevada (SHIKI, 1995).

Por sua vez, analisando os fatos, verifica-se que essa agricultura moderna, adotada no Cerrado, caminha em oposição à sustentabilidade, pois o cultivo sucessivo, com a utilização inadequada de implementos agrícolas, associado ao monocultivo da soja e do milho e o uso excessivo de agroquímicos têm provocado a redução do teor de matéria orgânica dos solos.

Essa perda de matéria orgânica contribui para o processo erosivo, resultando na diminuição da capacidade de troca de cátions, do armazenamento de água e da eficiência de uso dos fertilizantes (SOUSA, 2000).

Os problemas provocados pela erosão dos solos do Cerrado começaram a se agravar a partir dos anos 80 quando coincidentemente diminuíram os subsídios do crédito de custeio aos produtores, fazendo com que os mesmos ficassem mais receptivos às técnicas de conservação do solo (ROMEIRO, 1998).

Segundo FILHO (2001), a partir desse mesmo ano, a necessidade de proteger os solos da erosão levou um grupo de agricultores familiarizados com o sistema de plantio direto, no Sul do País, a introduzi-lo em áreas de Cerrado. Uma das primeiras experiências nessa região foi realizada no Município de Rio Verde-GO, em 1981, numa área de 200 hectares, plantados com soja.

Porém, a evolução do sistema foi muito lenta, porque, diferentemente do que ocorreu na Região Sul, para introdução do sistema de Plantio Direto na Região do Cerrado, foi necessário superar uma série de dificuldades. Os solos de baixa fertilidade e grande período

seco durante o inverno, em algumas localidades do Cerrado, têm sido um dos principais problemas encontrados pelos produtores para produzir palhada em quantidade suficiente para que o solo permaneça coberto durante todo o ano (SALTON, 1998).

Portanto, no início, acreditava-se que o PD não poderia desenvolver-se no Cerrado como acontecia na Região Sul. Porém, os próprios agricultores fizeram adaptações ao sistema e, paralelamente, a pesquisa empenhava-se na descoberta e na adaptação de tecnologias para as condições dessa região.

Nesse contexto, priorizaram-se a seleção de espécies de cobertura com rápido estabelecimento, tolerância ao déficit hídrico, produção de biomassa, fertilização e reciclagem de nutrientes. Baseados nos resultados das pesquisas, já se recomendavam, no final dos anos 1980, espécies capazes de proporcionar boa cobertura no inverno quais sejam: aveia-preta, nabo-forrageiro, sorgo e milheto.

Foi a partir dessa data que surgiu, no Cerrado, o plantio direto com culturas de cobertura. Outra opção bastante utilizada em algumas microrregiões do Cerrado é o desenvolvimento de outra cultura depois da colheita da safra de verão denominada safrinha. Isso só foi possível, também, graças aos resultados das pesquisas que disponibilizaram cultivares mais precoces para a cultura de verão.

Somente na década de 1990, é que o sistema de Plantio Direto tornou-se, efetivamente, uma realidade no Cerrado e, no ano 2000, dos 12 milhões de hectares plantados no Brasil com esse sistema, a região já apresentava 4,5 milhões de hectares cultivados (Figura 2.1) com o uso dessa técnica (SATURNINO, 2000).

Atualmente, os desafios vêm sendo, paulatinamente, superados, mormente aqueles referentes às opções de seqüências e rotações de cultura, com o milheto, o sorgo e o milho usados como alternativas de safrinhas das piores para as melhores condições de chuvas, respectivamente. A expansão da cultura do milheto já é estimada em cerca de um milhão de hectares. Essa cultura desempenha importante papel na proteção e no condicionamento do solo, na formação da palhada, na produção de sementes e grãos comerciais e forragens (SATURNINO, 2001).

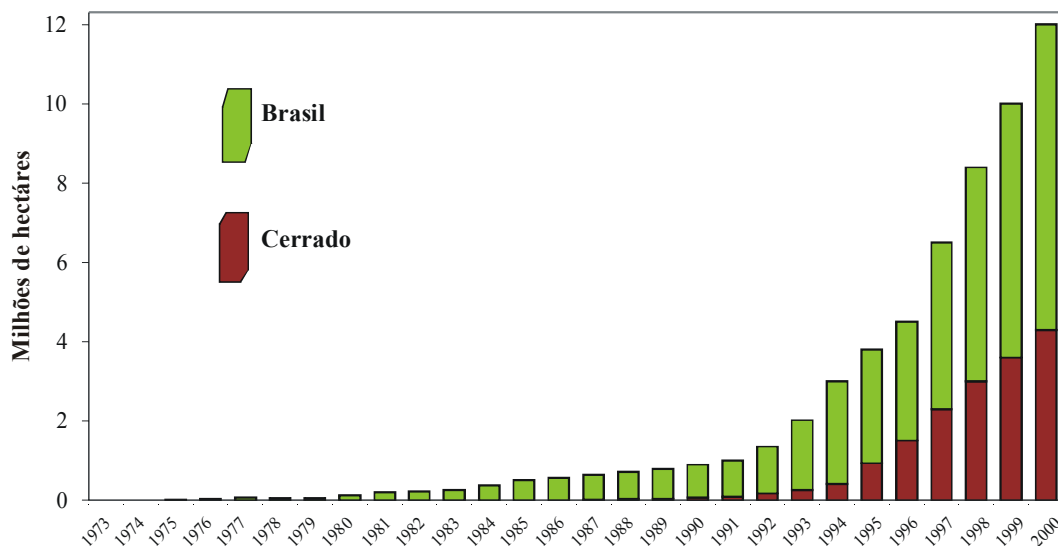


Figura 2.1. Expansão da área plantada com o uso do Plantio Direto no Brasil e no Cerrado. Fonte: SATURNINO (2001).

Mesmo com a evolução da tecnologia para o plantio direto no Cerrado, o sistema ainda é adotado em diferentes níveis tecnológicos, tendo em vista, principalmente, a heterogeneidade das condições climáticas e o grau de conhecimento dos agricultores (FILHO, 2001).

Nessa região, vem sendo configurada, nos últimos anos, a necessidade de se estabelecer melhor aproveitamento da época das águas. O produtor que aposta em safras mais produtivas opta por cultivares normais ou tardios de milho e soja, limitando suas possibilidades de semeadura de culturas de inverno pela drástica diminuição da água das chuvas. Aquele que escolher cultivares precoces estará colhendo até o final de março, obtendo menores rendimentos, porém, facilitando o êxito da cultura em sucessão, visando à formação de palhada e uma remota probabilidade de produção de grãos.

Outra possibilidade bastante viável para a manutenção do SPDCV no Cerrado é a rotação agricultura-pecuária em que as pastagens, especialmente, as braquiárias, têm-se mostrado bastantes eficientes na manutenção da palhada (ALVARENGA et al., 2001).

2.5. Principais modificações causadas pelo Plantio Direto no ambiente do solo

Por ser um sistema que não revolve o solo e que está fundamentado na presença de restos culturais sobre a superfície e em sistemas de rotação de culturas, uma série de modificações ocorre no ambiente do solo e afeta o desenvolvimento e a produtividade das culturas (SATURNINO, 2001).

Pesquisas realizadas no Brasil e em vários países do mundo têm mostrado a viabilidade do SPDCV (ELTZ et al., 1989; CARPENEDO e MIELNICKZUK, 1990; STONE e SILVEIRA, 1996; SÉGUY et al., 1998).

DERPSCH et al. (1990), BLANCANEAUX et al. (1993), STONE e SILVEIRA, (1996), SÉGUY et al. (1998) destacaram algumas vantagens do SPDCV sobre diferentes sistemas de manejo do solo, das quais a recuperação e a manutenção da melhor condição estrutural do solo favorecem o crescimento radicular, melhoram o controle da erosão, mantêm a umidade e a aeração e reduzem as oscilações hídricas e térmicas.

DERPSCH et al. (1991), sete anos depois do início de suas pesquisas num Latossolo Roxo, verificaram diferenças entre as variantes de preparo do solo (plantio direto, preparo mínimo e preparo convencional), principalmente, nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm. Demonstraram, com isso, que devido a maior proporção de microporos, o PD apresentou capacidade de retenção de água nitidamente superior.

Os mesmos autores observaram que, no inverno seco de 1981, depois de períodos relativamente curtos, já não havia mais água disponível nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm no preparo convencional, como também no preparo mínimo do solo. Enquanto isso, no PD, verificaram maior disponibilidade de água, tendo o solo ficado úmido por muito mais tempo.

SIDIRAS et al. (1983) observaram, igualmente, maior disponibilidade de água sob o PD, na época das chuvas, durante o período vegetativo da soja. Segundo YOUNG JR. (1982), CASTRO e DE MARIA (1993), SALTON et al. (1998), nesse sistema, ocorre elevação da retenção de água nas tensões mais altas, devido à diminuição proporcional de macroporos e ao aumento dos poros de diâmetro médio, melhorando sua condição estrutural e sua porosidade. Esses fatores, aliados às menores perdas por evaporação e aumento na taxa de infiltração de

água, possibilitam maior armazenamento de água no PD do que nos sistemas de manejo com revolvimento do solo.

Para KEMPER e DERPSCH (1981) e SIDIRAS e PAVAN (1986), a maior quantidade de matéria orgânica encontrada no PD melhora a condição estrutural do solo, aumentando a estabilidade de agregados, o que interfere positivamente no melhor equilíbrio da porosidade. Com a distribuição mais uniforme de poros, o solo geralmente pode armazenar mais água.

A própria matéria orgânica que, embora ocorra na maioria dos solos em proporções relativamente pequenas, contribui significativamente para aumentar o valor da superfície específica do solo, melhorando sua CTC (Capacidade de Troca Catiônica), além de desempenhar papel preponderante na formação de uma matriz que retém água e que fornece elementos nutritivos para as plantas (RESCK, 1981).

Por isso, o PD possibilita melhores condições de conservação de umidade para o crescimento e o desenvolvimento das culturas, minimizando os efeitos adversos causados pelo déficit hídrico. Esse fato reveste-se de grande importância em face da alta ocorrência de veranicos, aliada à baixa capacidade de armazenamento de água, verificada na maioria dos solos do Cerrado.

Outro fato importante é que o PD também constitui meio importante no controle do processo de erosão que representa o fator mais negativo para a sustentabilidade econômica e física da atividade agrícola e, também, o de maior agressividade ao meio ambiente (DERPSCH, 1977).

O não-revolvimento do solo no PD, assim como a cobertura morta que, depositada sobre a superfície, atua como dissipadora de energia, protege o solo do impacto causado pela chuva e evita o selamento superficial, ou seja, diminui a obstrução de poros na superfície do solo, favorecendo o aumento da taxa de infiltração de água e, conseqüentemente, diminuindo a erosão hídrica (SCOPEL et al., 1998).

Como se pode observar nas afirmações anteriores, é visível a conseqüência do PD em fases importantes do ciclo hidrológico, sendo o escoamento superficial, a infiltração, a umidade e a evaporação de água do solo seriamente alterados. Portanto, a partir desse momento, nessa síntese bibliográfica, enfocaram-se os resultados de alguns trabalhos de

pesquisa sobre o aproveitamento dos resíduos deixados no solo no sistema de plantio direto, bem como a influência que exerceram sobre os principais componentes do balanço hídrico das culturas.

2.6. Influências dos resíduos sobre o balanço hídrico das culturas

Existe, na literatura atual, grande número de trabalhos que enfatiza a importância dos resíduos remanescentes no solo como condição básica para o sucesso do plantio direto e como modificadores dos fluxos hídricos no sistema palha-solo-planta-atmosfera. Eles alteram o balanço de água no solo pelo fato de contribuírem para aumentar a infiltração (LAL, 1998) e reduzir a evaporação direta da água do solo (BOND e WILLIS (1969), RITCHIE e BURNETT (1971), IDSO et al. (1974), UNGER e PARKER (1976), CÁPRIO et al. (1985), GICHERU (1994)) e o escoamento superficial (SUR et al. (1992)).

Segundo BUSSIÈRE e CELLIER (1994), GONZALEZ-SOSA et al. (1999) e NOVAK et al. (2000) os resíduos funcionam como uma camada dissipadora da radiação solar e diminuem as amplitudes térmicas do solo (ARREOLA TOSTADO (1996), SCOPEL et al. (1998), UNGER e PARCKER (1976)).

A seguir, são apresentados alguns estudos que destacam as interações dos resíduos com os principais termos do balanço hídrico das culturas, principalmente, suas relações com a precipitação, o escoamento superficial, a infiltração e a evaporação de água do solo.

2.6.1. Interceptação de água

Por ser um material de característica porosa e susceptível de armazenar água (MYROLD et al., 1981; SCOPEL et al., 1998a), os restos de culturas que permanecem no solo no sistema de plantio direto podem canalizar e armazenar parte da água da chuva e interferir nos fluxos hídricos do sistema palha-solo-planta-atmosfera. Além da interceptação, a palhada diminui a energia cinética da gota da chuva impedindo o selamento da camada superficial e diminuindo a erosão do solo.

ARREOLA TOSTADO (1996), ao estudar a capacidade potencial de armazenamento da água de três tipos de resíduos do milho: resíduo completo (folhas, colmos, sabugo e palha da espiga), resíduo só do colmo e resíduo em decomposição, afirmou que a capacidade de armazenamento é modificada por sua composição, ou seja, o autor concluiu que $4,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de resíduo completo pode armazenar até 1,7 mm de água. Por sua vez, a palhada composta só de colmo armazenou 16% menos e a palhada em decomposição 42% menos que os resíduos completos.

Em trabalho similar, SAVABI e STOTT (1994), utilizando um simulador de chuva, estudaram a capacidade de interceptação da água da chuva pelas palhadas de milho, de soja e de trigo. Esses autores concluíram que para a mesma quantidade de resíduos de milho e de soja a quantidade de água interceptada é muito próxima. Já a palhada do trigo armazena significativamente mais água. Contrariamente a ARREOLA TOSTADO (1996), esses autores afirmaram que a idade dos resíduos não influencia sua capacidade de armazenamento.

2.6.2. Escoamento superficial e erosão

A erosão dos solos pela água tem sido um sério problema nas regiões tropicais, não só pelo carreamento das partículas sólidas do solo e assoreamento dos cursos d'água, mas também pelas perdas de nutrientes e diminuição da fertilidade do solo com conseqüências drásticas para o rendimento das culturas comerciais.

Segundo SUR et al. (1992) a colocação de resíduos culturais sobre o solo diminuiu em até 43,3% o escoamento superficial e 57,5% as perdas de solo. LOMBARDI NETO (1990) atestou essa eficiência quando verificou que a perda de solo por erosão na cultura de milho foi reduzida em 85% quando comparado ao sistema convencional com arado de discos.

Utilizando simulador de chuva, GILLEY et al. (1986) aplicaram quantidades diferentes de resíduos de milho, 0,00 a 6,73 t/ha e observaram nessa mesma ordem redução substancial na taxa de escoamento superficial, na velocidade do escoamento, na concentração de sedimentos e na taxa de perda de solo.

SCOPEL et al. (1998) avaliaram o escoamento superficial em seis diferentes tratamentos nos quais foram aplicadas quantidades de resíduos de milho que variaram de 0,00 a 4,5 t/ha. Esses autores concluíram que mesmo para uma pequena quantidade de resíduo

sobre o solo, 1,5 t/ha, o escoamento superficial foi reduzido em mais de 50% quando comparado com preparo convencional do solo.

2.6.3. Infiltração de água no solo

O não-revolvimento do solo no PD, aliado à cobertura morta que protege o solo do impacto causado pela chuva e evita o selamento superficial, favorece o aumento da taxa de infiltração de água e, conseqüentemente, diminui a erosão hídrica (SCOPEL et al., 1998).

A palhada também favorece o desenvolvimento da macrofauna nas camadas superficiais do solo cuja atuação melhora a porosidade dessas camadas e permite a passagem rápida da água da superfície para o interior do solo (TROJAN e LINDEN, 1998)

CASTRO e DE MARIA (1993) fizeram avaliações da infiltratividade da água no solo com chuva simulada e observaram que a infiltração básica no PD foi de 52 mm/h (100%), no preparo com arado escarificador foi 35 mm/h (67%) e somente 29 mm/h (56%) no preparo convencional. Portanto, esses resultados evidenciam que a infiltração de um solo que apresenta resíduos em sua superfície é geralmente mais elevada quando comparada com a desse mesmo solo sem cobertura. Em parte, isso explica a redução do escoamento superficial e da erosão do solo no sistema de plantio direto.

2.6.4. Evaporação da água do solo

No solo, grande parte da água perdida ocorre por evaporação, considerada a fonte de perda mais difícil de ser controlada. Por isso, tem sido um dos aspectos do balanço hídrico que vem despertando grande interesse de muitos cientistas. As razões disso são as mais diversas, porém, o tema que tem sido mais abordado em suas pesquisas é que um suprimento inadequado de água limita a produção das culturas sendo a evaporação o principal fator que contribui para limitar a disponibilidade de água para as plantas, principalmente, em regiões de baixa oferta pluviométrica e alta demanda evaporativa.

A evaporação da água do solo tem sido estudada tanto em laboratório quanto no campo. Um dos trabalhos clássicos é o de BONDS e WILLIS (1969) que estudaram, em

laboratório, o efeito de diferentes densidades e espessuras de resíduos de arroz na regulação da evaporação da água do solo. Os autores observaram que os resíduos diminuem a evaporação e comprovaram o enunciado clássico de que o dessecamento do solo acontece em três fases distintas:

- I. acontece quando a superfície do solo está úmida e as transferências de água das camadas mais profundas para a superfície do solo estão ligadas à forma líquida da água. Nessa fase, a taxa de evaporação é mais elevada e geralmente constante, sendo controlada pelas condições atmosféricas do local. Pode ser considerada como a evaporação de uma superfície livre de água, também chamada de evaporação potencial.
- II. inicia-se quando o fluxo de água para a superfície do solo não pode mais ser transferido na forma líquida e de maneira rápida o suficiente para receber a influência das condições atmosféricas. Nessa etapa, observa-se, no solo, o primeiro sinal de dessecamento e começa a regular a taxa de evaporação que decresce rapidamente em relação à taxa potencial.
- III. inicia-se quando o solo apresenta, mesmo que fina e delgada, uma camada seca em sua superfície. Essa camada controla exclusivamente a taxa de evaporação tornando-a muito baixa e quase constante, e nessa fase, a transferência de água para superfície acontece na forma de vapor.

BONDS e WILLIS (1969) mostraram que os resíduos agem com mais eficiência na primeira fase, ou seja, quanto mais densa a camada de resíduos tanto menor será a evaporação nessa etapa. Por sua vez, os autores observaram que, para uma camada menos densa de resíduos, a evaporação acumulada é mais baixa.

A explicação para esse fato é que a ausência de resíduos acelera a duração da primeira fase, conservando-se um estoque de água mais importante para as fases posteriores. Isto é, havendo uma palhada pouco densa, a taxa de evaporação da água do solo é no início elevada e conduz rapidamente à formação de uma camada de solo seco que reduz fortemente a evaporação.

BONDS e WILLIS (1969) observaram, ainda, que a queda da taxa de evaporação da segunda fase é tanto mais forte quanto menos densa for a camada de resíduos sobre o solo. Enfim, os autores notaram que a evaporação acumulada durante as três fases é a mesma, independentemente, da quantidade de resíduo sobre o solo. A evaporação acumulada de um

solo coberto com resíduos, comparada a de um solo descoberto, pode estar muito próxima se a duração das fases II e III for muito longa. Portanto, os resíduos desempenham papel fundamental na redução da evaporação da água do solo quando o período entre dois eventos pluviométricos for relativamente curto.

IDSO et al. (1974) estudaram a evaporação de um solo descoberto em condições de campo durante todas as estações do ano. Assim como BONDS e WILLIS (1969), os autores descreveram as mesmas fases de dessecação do solo.

UNGER e PARCKER (1976), estudando o efeito da densidade de diferentes tipos de resíduos, concluíram que quanto mais denso for o material de cobertura do solo tanto maior será sua eficácia na redução da evaporação. Esses autores concluíram, igualmente que 8 t.ha^{-1} de resíduos de trigo apresentam a mesma eficácia que 16 t.ha^{-1} de resíduos de sorgo ou 32 t.ha^{-1} de algodão no controle da evaporação da água do solo.

2.7 A modelagem e os efeitos dos resíduos no balanço hídrico das culturas

A literatura atual mostra que a palhada ou a cobertura morta deixada sobre o solo é a grande responsável pelas mudanças nos processos hidrológicos no sistema de plantio direto.

A palhada modifica, sobremaneira, o balanço de radiação no nível do solo, pois, funciona como uma camada dissipadora de energia, provocando menores índices de oscilações hídricas e térmicas, diminuindo a velocidade de escoamento e as perdas de água e solo.

Outra característica importante é que a palhada ocasiona menores perdas por evaporação e o conseqüente melhoramento na disponibilidade de água para as culturas, além de apresentar capacidade para interceptar e armazenar parte da água da chuva ou da irrigação. Porém, a descrição quantificada desses efeitos no sistema de produção agrícola ainda é limitada, principalmente, para as condições de Cerrado brasileiro.

Portanto, com a disseminação do plantio direto no Cerrado e com as mudanças impostas ao sistema agrícola por essa técnica, são necessários estudos que identifiquem a influência das relações entre o desenvolvimento e o rendimento das culturas e a disponibilidade hídrica.

Nesse contexto, os modelos de crescimento de plantas, quando bem ajustados e calibrados, aparecem como ferramenta capaz de integrar esses fatores e ajudar no entendimento das relações palha-solo-planta-atmosfera.

2.8. Modelos de crescimento de cultura

Comumente, as técnicas para medir o conteúdo de água no solo apresentam falhas inerentes que requerem considerável calibração e replicação para se obterem dados representativos da umidade do solo.

A maioria dos métodos de leitura direta de água do solo fornece, apenas, valores pontuais, sem conseguir integrá-los no espaço e no tempo, como é freqüentemente requerido para estimativas do crescimento e do rendimento das culturas e para avaliar o escoamento superficial e a drenagem. Para superar essas dificuldades, técnicas de modelagem matemática e de simulação, apoiadas no uso de computadores, com grande velocidade de processamento, têm sido desenvolvidas com o propósito de melhor compreender e descrever quantitativamente a evolução do sistema solo-água-planta.

A importância da água no crescimento e no desenvolvimento das culturas é amplamente reconhecida. Muitas estimativas de rendimento das culturas são baseadas em correlações com a água disponível no solo.

Várias abordagens têm sido utilizadas para descrever os processos de entrada de movimentação da água no perfil de solo (DE JONG, 1984). Nos modelos de base física, usa-se o princípio da continuidade e a Lei de Darcy para derivar a equação que representa o fluxo de água no solo no qual a movimentação da água ocorre em função do gradiente de potencial (HILLEL et al., 1976; HILLEL e VAN BAVEL, 1976; ROWSE et al., 1978; DE JONG e CAMERON, 1979).

Ademais, os modelos que consideram o solo como um reservatório estimam o balanço diário de água, baseados em funções empíricas que representam separadamente cada componente do sistema (FITZPATRICK e NIX, 1969; STUFF e DALE, 1978; DE JONG e SHAYKEWICH, 1981).

Diversos pesquisadores têm modelado o movimento de água no solo, usando uma abordagem de combinação dos dois métodos, isto é, incorporaram vários aspectos do método do reservatório nos modelos de base física e vice-versa (ROWSE, 1975; DE JONG e CAMERON, 1979).

MONTEITH (1996) definiu modelo de cultura como sendo um esquema quantitativo para prever o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento de uma cultura em função de um conjunto de coeficientes genéticos e variáveis ambientais relevantes. Já, SINCLAIR e SELIGMAN (1996) definiram como sendo a simulação da dinâmica do crescimento de uma cultura, por integração numérica dos processos constituintes, com a ajuda de computadores.

Os primeiros passos para a simulação do comportamento de alguns fatores dos sistemas agrícolas foram os modelos desenvolvidos por LOOMIS e WILLIAMS (1963), para estimar a interceptação da luz e a fotossíntese das culturas. Esses modelos estimam a quantidade de luz que chega até o dossel da planta e faz uma avaliação da sensibilidade das taxas fotossintéticas em relação aos ângulos solar e de exposição das folhas e da posição latitudinal das culturas.

Nos últimos vinte anos, houve aumento considerável da utilização de modelagem em ciência agrícola, com a finalidade de simular processos no sistema solo-planta-atmosfera. Esses modelos têm uma função muito importante na avaliação do risco climático, na estimativa dos rendimentos e na determinação do índice de estresse hídrico das culturas.

A grande maioria desses modelos foi desenvolvida para culturas anuais, sobretudo, as de grãos cultivadas sob o sistema de manejo convencional de preparo do solo, tais como: trigo, milho, soja, sorgo, batata-inglesa e arroz (Tabela 2.1). Alguns desses modelos são genéricos e se aplicam à grande maioria das culturas, enquanto outros são aplicados a uma cultura específica.

Os modelos podem ser classificados de acordo com:

- a. as relações matemáticas que apresentam: lineares ou não lineares;
- b. a descrição dos processos: empíricos ou estatísticos (equações baseadas em determinações experimentais) ou de base física (equações baseadas em leis físicas que permitem determinar o valor da variável para qualquer situação);

- c. a aleatoriedade: determinísticos (não se considera a aleatoriedade) ou estocásticos (equações baseadas em variáveis aleatórias, com distribuição probabilística);
- d. o tempo de simulação: eventos individuais ou contínuos.

BOOTE et al. (1996) resumiram as razões para a construção e o uso dos modelos de cultura, em três grandes categorias: a) modelos para ajudar na interpretação de resultados experimentais, b) como ferramenta de pesquisa agrônômica e, c) ferramenta para promover o crescimento da agricultura.

Tabela 2.1. Principais modelos agrometeorológicos que simulam o crescimento e o desenvolvimento das culturas em sistema convencional de preparo do solo e os seus respectivos dados de entrada.

Modelos	Dados de entrada			Referências
	Clima	Cultura	Solo	
Milho				
SIMCOY	SIM	SIM	SIM	PLACE e BROWN (1987)
CERES Maize	SIM	SIM	SIM	CARBERRY et al. (1989)
WANGRO	SIM	SIM	SIM	KANNEGANTI e FICK (1991)
Batata-inglesa				
POTATO	SIM	NÃO	NÃO	EWING et al. (1990)
Arroz				
MACROS	NÃO	NÃO	NÃO	TIMSINA et al. (1993)
RICESYS	SIM	NÃO	SIM	GRAF et al. (1990a); GRAF et al. (1990b)
SIMREW	SIM	NÃO	NÃO	HORIE et al. (1992)
Soja				
SOYMOD1	SIM	NÃO	SIM	SINCLAIR (1986)
SOYGRO V5.42	SIM	SIM	SIM	JONES et al. (1989)
Sorgo				
SORGF	SIM	SIM	SIM	ARKIN et al. (1976)
CERES Sorghum	SIM	SIM	SIM	BIRCH et al. (1990); ROBERTSON et al. (1993)
Cana-de-açúcar				
SUGAR CANE	SIM	SIM	NÃO	LORBER et al. (1984)
Girassol				
QSUN	SIM	SIM	NÃO	CHAPMAN et al. (1993)
Trigo				
ARCWHEAT	SIM	NÃO	NÃO	WEIR et al. (1984)
SIMTAG	SIM	SIM	SIM	STAPPER e HARRIS (1989)

Na área de pesquisa, os modelos de cultura podem ser usados por pesquisadores para testar suas hipóteses científicas. Na área de manejo de sistemas de culturas, são muitos os trabalhos que utilizam esse tipo de ferramenta com o objetivo de avaliar a variabilidade dos rendimentos das culturas em decorrência do clima e de otimizar algumas estratégias de manejo, tais como: melhor data de plantio, espaçamento e densidade de plantas, seleção de cultivar e aplicação de fertilizantes. Nesse contexto, citam-se os trabalhos de EGLI e BRUENING (1992); AGGARWAL e KALRA (1994); MUCHOW et al. (1994); MOEN et al. (1994), AFFHOLDER et al. (1997) e MEIRELES (2000).

EGLI e BRUENING (1992) usaram o modelo SOYGRO para fazer o prognóstico do rendimento da soja, considerando diferentes datas de plantio em Kentucky. Com base nas avaliações do modelo, os autores concluíram que o baixo rendimento, em função da data de plantio mais tardia, foi devido à baixa irradiação solar recebida pelas plantas, e, em outros casos, às baixas temperaturas ocorridas durante o período de enchimento de grãos.

Já, AGGARWAL e KALRA (1994) usaram um modelo de simulação para a cultura do trigo e concluíram que o atraso na data de plantio diminuiu seu rendimento. Em parte, isto deveu-se à exposição da cultura a temperaturas elevadas durante o enchimento de grãos. MUCHOW et al. (1994) também usaram modelos de cultura para avaliar o risco climático relativo a diferentes datas de plantio da cultura do sorgo em uma região subtropical.

AFFHOLDER et al. (1997) calibraram e validaram um módulo de balanço hídrico para o Cerrado do Brasil onde um índice de rendimento IRESP foi testado para a cultura do milho. Embora o número de dados utilizados para calibrar e validar o referido modelo tenha sido relativamente pequeno, tal índice mostrou-se promissor.

Diversos trabalhos, em outras regiões do Brasil, confirmaram o caráter adequado da abordagem de acoplamento de modelos agroclimáticos com relações estatísticas de rendimento (FARIAS et al., 1997).

MEIRELES (2000) também verificou que o modelo CROPGRO-dry bean simulou satisfatoriamente a fenologia, a produtividade de grãos e os componentes de produção para duas cultivares de feijão em diferentes condições de espaçamento e adubação no sistema convencional de preparo do solo.

Portanto, já são muitos os modelos de simulação de crescimento de cultura usados no Brasil e no mundo que permitem avaliar a variabilidade dos rendimentos das culturas em decorrência do clima, do solo e de algumas estratégias de manejo. Não obstante a existência desses modelos, sua utilização não pode ser generalizada, uma vez que eles só foram testados e validados para determinada situação em sua região de origem, sendo, portanto, necessário que se façam testes para verificar sua eficiência na simulação do comportamento agrônomo das culturas em função dos fatores climáticos e de solos da região a ser estudada (SINCLAIR e SELIGMAN, 1996; PASSIOURA, 1996).

2.9. A modelagem e o sistema de Plantio Direto no Cerrado brasileiro

Todos os trabalhos que utilizaram modelos de culturas no Brasil e, especificamente, no Cerrado, foram realizados para cultivos em sistema convencional de preparo do solo onde a dinâmica da água é totalmente diferente quando comparada ao sistema de plantio direto.

O não-revolvimento do solo nesses sistemas, aliado à camada de resíduos que atua como dissipadora de energia, tem provocado mudanças nos fluxos de água nos sistemas palha-solo-planta-atmosfera, conforme destacado no item 2.6.

Atualmente, não obstante o grande número de modelos desenvolvidos por cientistas, tais como: EPIC, CERES, PERFECT e STICS, não existe um modelo que faça tais avaliações na simulação do crescimento e no desenvolvimento de determinada cultura em sistema de plantio direto, em especial, para as condições edafoclimáticas do Cerrado uma vez que esses modelos não consideram os efeitos da palhada sobre o balanço hídrico das culturas.

2.10. Necessidade de um modelo de cultura adaptado às condições do Sistema de Plantio Direto com Cobertura Vegetal (SPDCV)

Neste trabalho, fez-se uma abordagem sobre o sistema de plantio direto com o uso de cobertura vegetal, também denominado de SPDCV ou, simplesmente, Plantio Direto (PD). Utilizou-se, nesse sistema, o plantio do milho no início da estação chuvosa, denominando-a cultura principal.

Depois da colheita, realizou-se o manejo da palhada com aplicação de herbicida e, para aproveitar a umidade remanescente da estação das águas, plantou-se, em seguida, o milho, com o objetivo principal de produzir palhada para a proteção permanente do solo. (Figura 2.2).

A condição para o bom desenvolvimento da cultura principal e das plantas de cobertura constitui uma das prerrogativas básicas para a viabilização do sistema de plantio direto com cobertura vegetal em determinada região.

Apesar do sucesso já comprovado desse sistema, em muitas regiões do País, em especial, o Cerrado ainda apresenta uma série de dificuldades, como por exemplo: solos de baixas fertilidade e capacidade de armazenamento de água e prolongado período seco durante o inverno logo depois da cultura de verão.

Isso tem sido uma das principais dificuldades encontradas pelos produtores para produzir palhada em quantidade suficiente para que o solo permaneça coberto durante o ano todo.

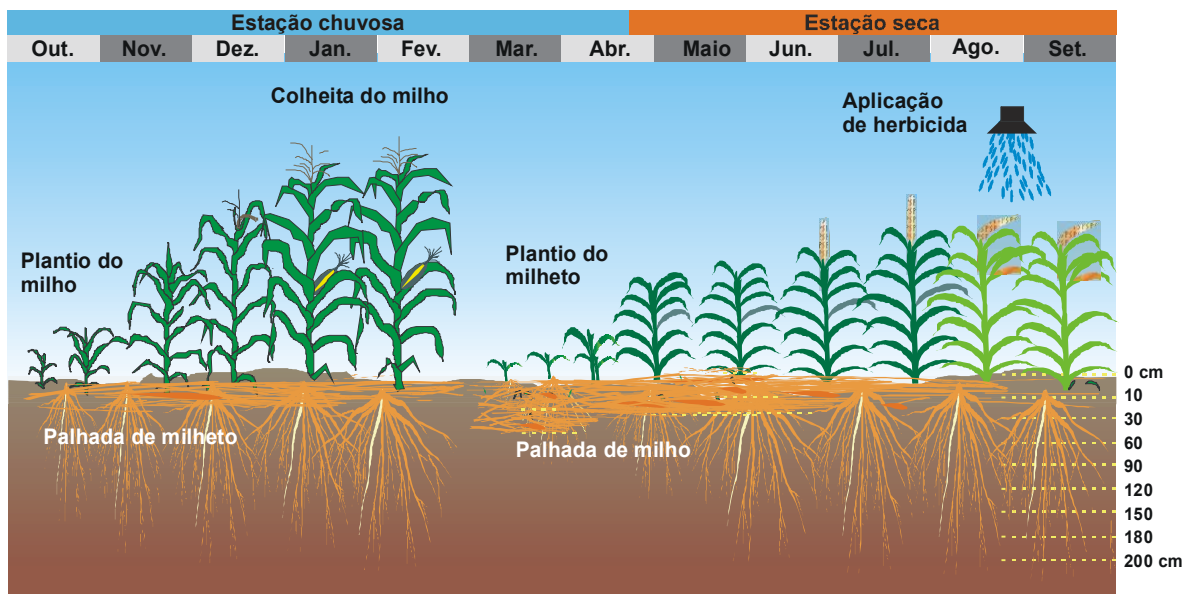


Figura 2.2. Esquema do sistema de plantio direto com cobertura vegetal (SPDCV) ou simplesmente plantio direto (PD) em que a cultura principal, o milho, é plantada no início da estação chuvosa nos meses de outubro-novembro e a planta de cobertura, o milho, entre os meses de fevereiro-março para o aproveitamento da umidade e dos nutrientes remanescentes da cultura principal.

Essa situação também representa alto risco para os que optam pelo cultivo sucessivo de uma segunda cultura (safrinha), pois, com a diminuição da umidade do solo, no final da estação chuvosa, o rendimento das culturas não é significativo, o que representa quebra de safras, causando prejuízos aos produtores.

A adaptação e a calibração de um modelo que simule seqüencialmente os ciclos das duas culturas representadas na Figura 2.2 constitui ferramenta para ajudar no processo de tomada de decisão pelos agricultores e dirigentes de organismos encarregados pelo desenvolvimento da política agrícola nacional.

Com essa ferramenta poder-se-á indicar as áreas com maior potencial para o desenvolvimento do milho no sistema de plantio direto com o uso de cobertura vegetal. Essas informações são de fundamental importância para toda a cadeia produtiva do milho na qual se utiliza a técnica do plantio direto, constituindo uma questão estratégica para o setor agropecuário brasileiro.

Para o alcance dos objetivos desse trabalho, adotou-se como ponto de partida para a modelagem do sistema representado pela Figura 2.2, o modelo **STICS** (Simulateur mulTidisciplinaire de Culture Standard), cujo módulo de balanço hídrico foi adaptado por AFFHOLDER (2001) para o sistema convencional de preparo de vários solos do Cerrado brasileiro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição geral do bioma Cerrado

A área selecionada para a condução do experimento apresenta características edafoclimáticas próprias do Cerrado brasileiro. É importante destacar que o bioma Cerrado ocupa área de 204 milhões de hectares da porção central do Brasil e faz divisa com outras grandes formações vegetais, tendo grande importância econômica e ecológica e grande potencial para a expansão agrícola brasileira.

Os latossolos, os argissolos e os neossolos quartzarêncios são as classes de solos que predominam no Cerrado, ocupando 46%, 15,1% e 15,2%, respectivamente, da sua área total (GOEDERT, 1986).

Seu clima é caracterizado por duas estações bem definidas, sendo uma seca com duração de cinco a seis meses, e a outra úmida, com precipitação média anual variando entre 600 mm e 2000 mm (ASSAD et al., 1994).

Atualmente ele é responsável por 28% da produção nacional de grãos, incluindo 42,2% da produção de soja e 32% da de milho, contando, nesses últimos anos, com aproximadamente 4,5 milhões de hectares cultivados no sistema de plantio direto (SATURNINO, 2000).

3.2. Localização geográfica da área de estudo

O trabalho foi conduzido nos campos experimentais da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina-DF, a uma altitude de 1175 m segundo as coordenadas geográficas: 15° 35' 30'' de latitude Sul e 47° 42' 00'' de longitude a Oeste de Greenwich (Figura 3.1).

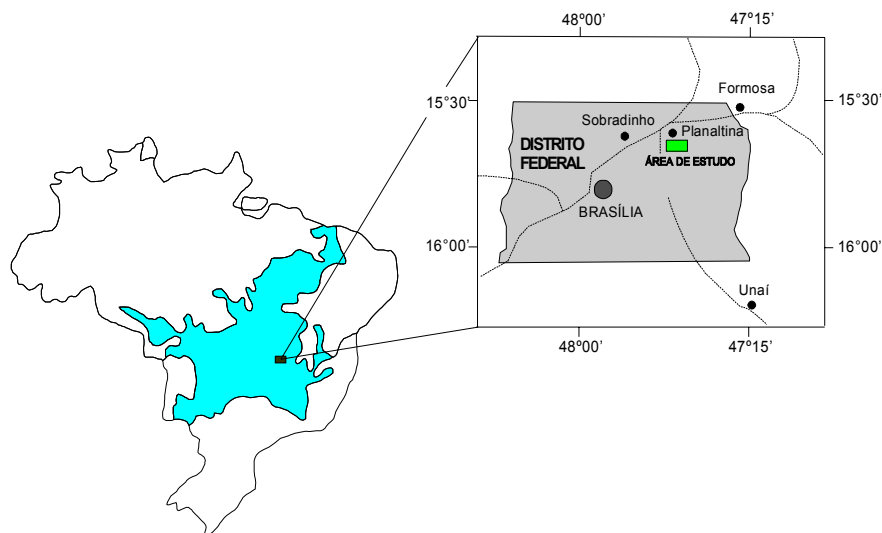


Figura 3.1. Localização geográfica da área de estudo.

3.3. Caracterização climática

O clima é do tipo tropical estacional (Aw) conforme classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1400 mm concentrada no período de outubro a março. O período seco, definido em termos de deficit hídrico, é de 5 a 6 meses (abril a setembro), e as médias das temperaturas máxima e mínima são de 26,4 °C e 15,9 °C, respectivamente.

3.4. Vegetação

Fisionomicamente, o Cerrado é uma savana pouco densa, com uma cobertura herbácea contínua, de 50 cm a 70 cm de altura e com um dossel descontínuo de elementos arbóreos e arbustivos, de galhos retorcidos e cascas espessas. Essa fisionomia, segundo SANO e ALMEIDA (1998), dá unidade geográfica à região, chegando a ocupar mais de dois terços da sua superfície.

Quanto à vegetação, a área de estudo apresenta diferentes tipos savânicos (Figura 3.2), quais sejam: 1) florestais: Mata de Galeria, Mata de Surgência e de Ravina, Cerradão e Cerradão/Cerrado Denso; 2) Savânicas e Herbáceas: Cerrado Denso, Cerrado Típico e a associação de Campo Limpo, Campo Sujo e Cerrado Ralo; e 3) herbáceas hidromórficas: Campo de Surgências e Várzea. As classes de maior extensão na Embrapa Cerrados são: o Cerrado Típico e o Campo Limpo.

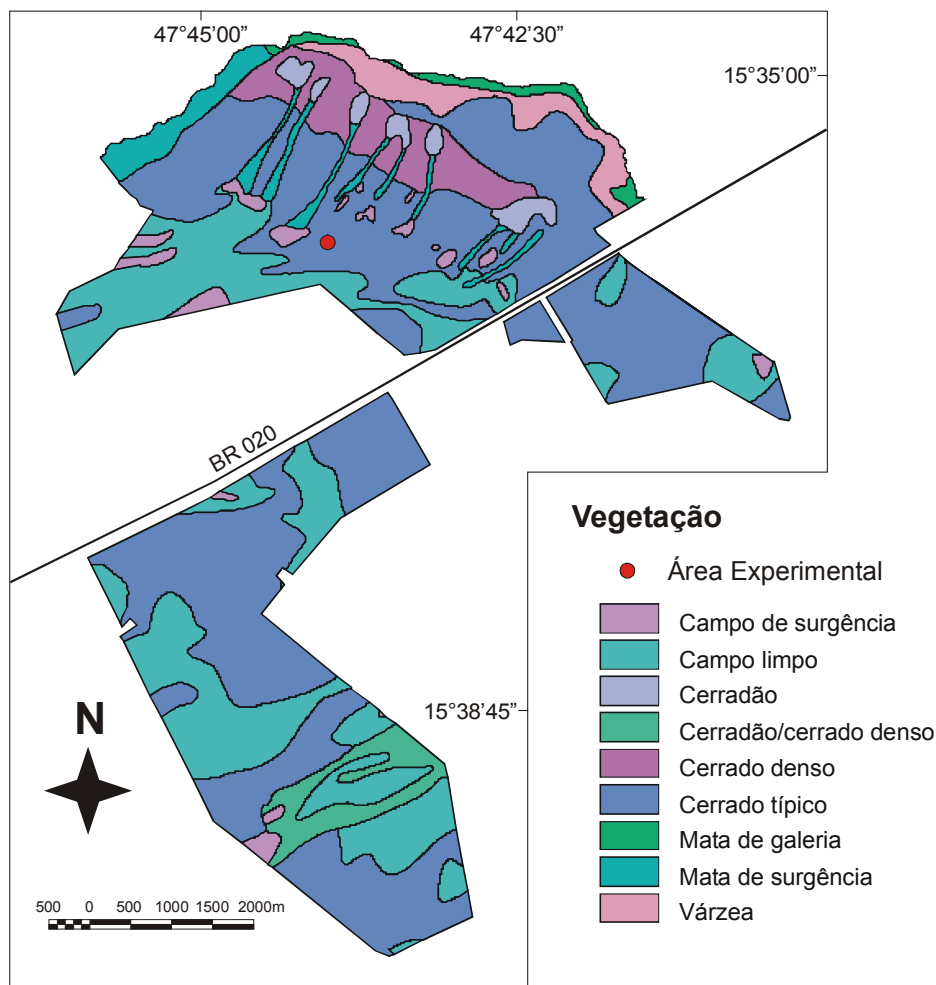


Figura 3.2. Distribuição das principais classes de vegetação original dos campos experimentais da Embrapa Cerrados. Fonte: SANO et al. (1998)

3.5. Solos

A distribuição espacial dos solos da área de estudo é apresentada na Figura 3.3. Dezesesseis unidades de mapeamento foram identificadas depois do levantamento de campo e distribuídas em sete classes de solo, com predominância para os Latossolos Vermelho-Escuros e os Latossolos Vermelho-Amarelos que juntos representam aproximadamente 84% da área.

Os solos das parcelas experimentais, conforme localização na Figura 3.3, foram descritos por REATTO et al. (2001) e apresentados, de forma mais detalhada no Anexo 3.1.

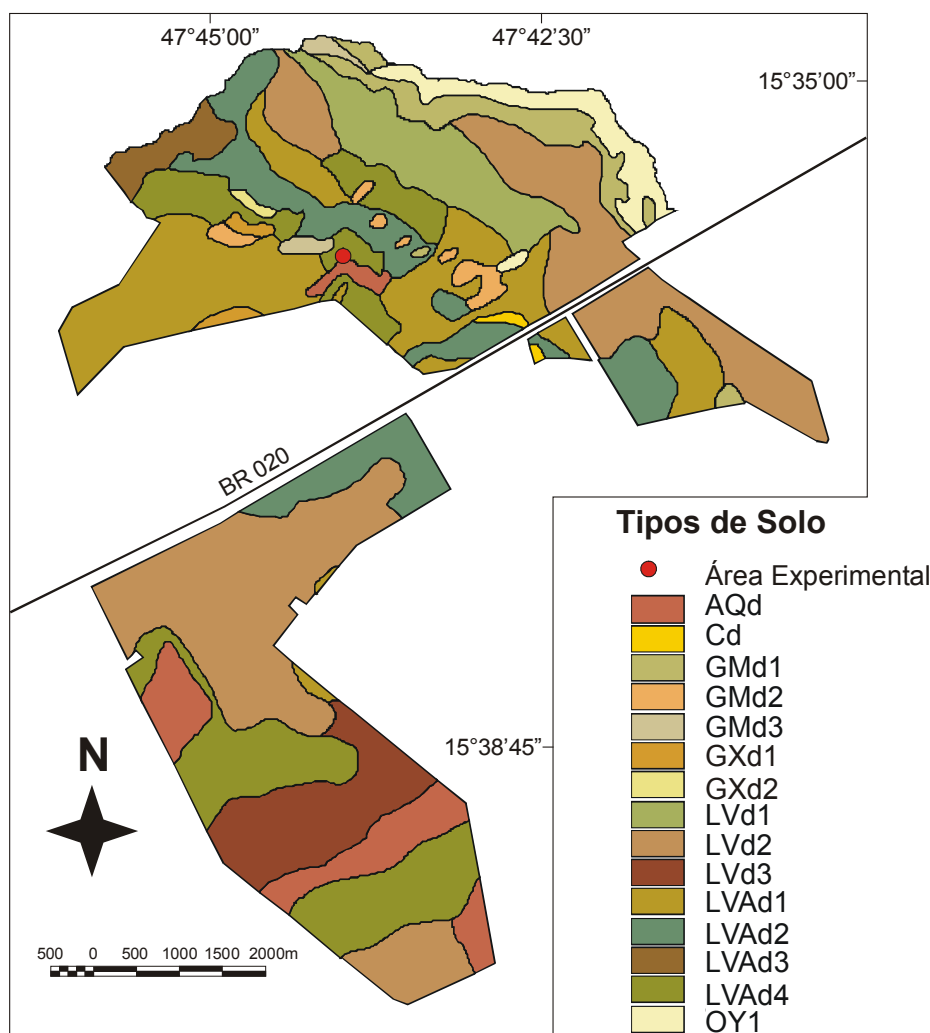


Figura 3.3. Distribuição das classes de solos nos campos experimentais da Embrapa Cerrados. (LVd1 = LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa fase Cerrado Denso; LVd2 = LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa fase Cerrado Típico; LVd3 = LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média fase Cerrado Típico; LVAd1 = LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico textura argilosa fase Cerrado Denso; LVAd2 = LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico textura argilosa fase Cerrado Típico; LVAd3 = LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico textura média fase Cerrado Típico; LVAd4 = LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico textura argilosa fase Cerrado Ralo; OY1 = ORGANOSSOLO HÁPLICO textura argilosa fase Campo Limpo Úmido; GMd1 = GLEISSOLO MELÂNICO Distrófico textura argilosa fase Campo Limpo Úmido; GMd2 = GLEISSOLO MELÂNICO Distrófico textura argilosa fase Parque de Cerrado; GMd3 = GLEISSOLO MELÂNICO Distrófico textura média fase Parque de Cerrado; GXd1 = GLEISSOLO HÁPLICO Distrófico textura argilosa fase Campo Limpo Úmido; GXd2 = GLEISSOLO HÁPLICO Distrófico textura argilosa fase Parque de). Cerrado; AQd = NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; Cd = CAMBISSOLOS).
 Fonte: SANO et al. (1998).

3.6. Geomorfologia

Quanto à geomorfologia, na área de estudo, observam-se quatro classes principais, quais sejam: chapada, encosta, várzea e colúvio. As parcelas experimentais foram instaladas em ocorrência de chapada que representam 56% da superfície da Embrapa Cerrados, conforme apresentado na Figura 3.4.

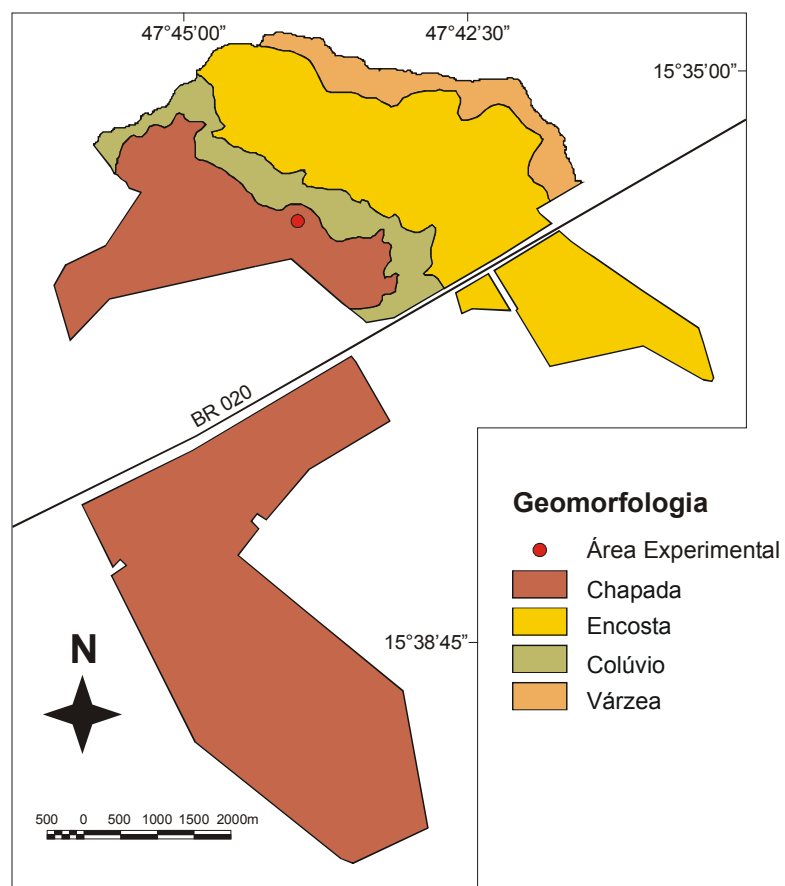


Figura 3.4. Mapa das principais classes geomorfológicas que ocorrem nos campos experimentais da Embrapa Cerrados. Fonte: SANO et al. (1998)

3.7. Declividade

No mapa de declividade (Figura 3.5), nota-se que os campos experimentais da Embrapa Cerrados apresentam mais de 87% da sua área entre as classes 0% a 5% e que possui pequenas áreas com declividade maior do que 18%. As parcelas experimentais foram instaladas sobre a classe de 0% a 3% de declividade.

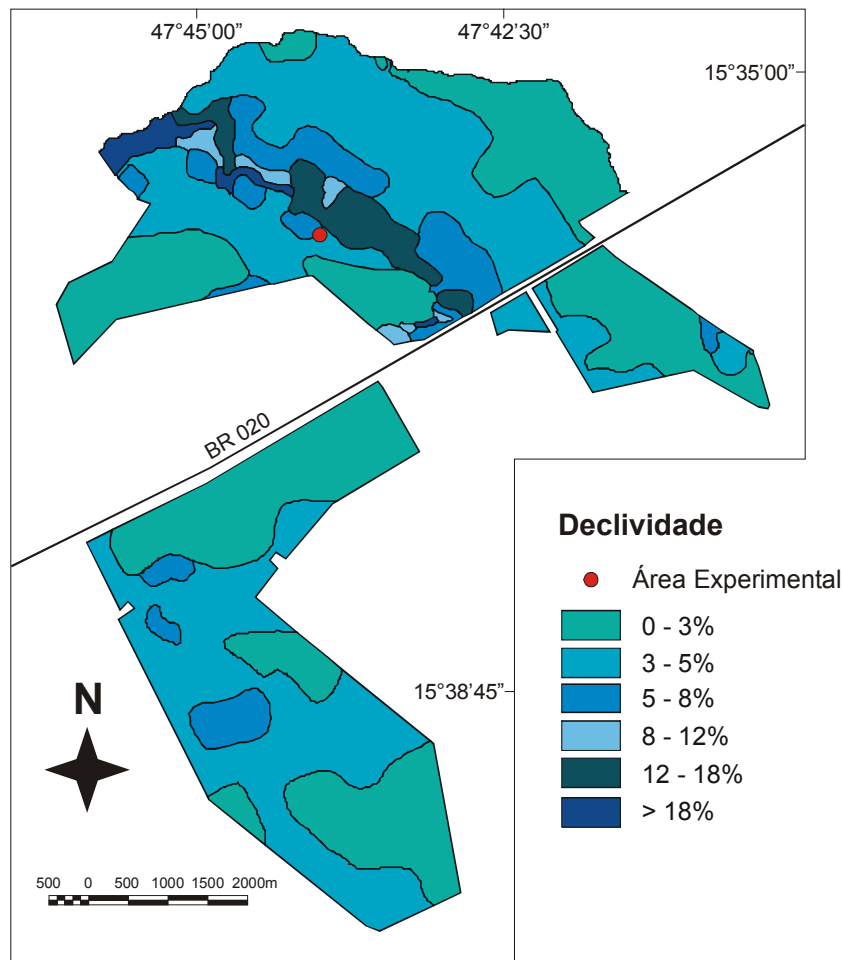


Figura 3.5. Mapa de declividade das áreas experimentais da Embrapa Cerrados.
Fonte: SANO et al. (1998).

3.8. Descrição do modelo STICS

A funcionalidade dos módulos de rendimento e de balanço hídrico do modelo STICS, em sistema convencional, nas condições de Cerrado, comprovada por meio da calibração e da validação realizadas por AFFHOLDER (2001), foi o principal motivo para adotá-lo como ponto de partida para o alcance de um dos objetivos desta Tese que é “a simulação seqüencial do crescimento e desenvolvimento das culturas do milho e do milheto no sistema de plantio direto em condições de Cerrado”.

O **STICS**, descrito em detalhes por BRISSON et al. (1998) e apresentado no Anexo 3.2, é um modelo já adaptado para o sistema convencional de preparo do solo que simula o funcionamento do sistema solo-planta-atmosfera com o passo de tempo de um dia.

Ele se apresenta como um modelo genérico com as seguintes características: robustez, pouca exigência por dados de entrada, características de construção modular com fácil adaptação a diversos tipos de culturas. Na Figura 3.6, apresentam-se o modelo conceitual e os principais processos básicos simulados, quais sejam: o crescimento e o desenvolvimento da cultura e os balanços de água e nitrogênio do sistema solo-planta.

Eles estão compartimentados em sete módulos: desenvolvimento; crescimento aéreo; componentes do rendimento; crescimento radicular; balanço hídrico; ambiente térmico da cultura e balanço de nitrogênio.

A cultura é caracterizada por sua biomassa aérea (carbono e nitrogênio), índice de área foliar e o número e biomassa do grão (carbono e nitrogênio).

O solo é considerado como uma sucessão de camadas horizontais, sendo cada uma caracterizada por um conteúdo de água, nitrogênio mineral e orgânico. As raízes da planta, cuja função é propiciar as interações entre o solo e a planta são definidas por sua distribuição e comprimento dentro do perfil do solo.

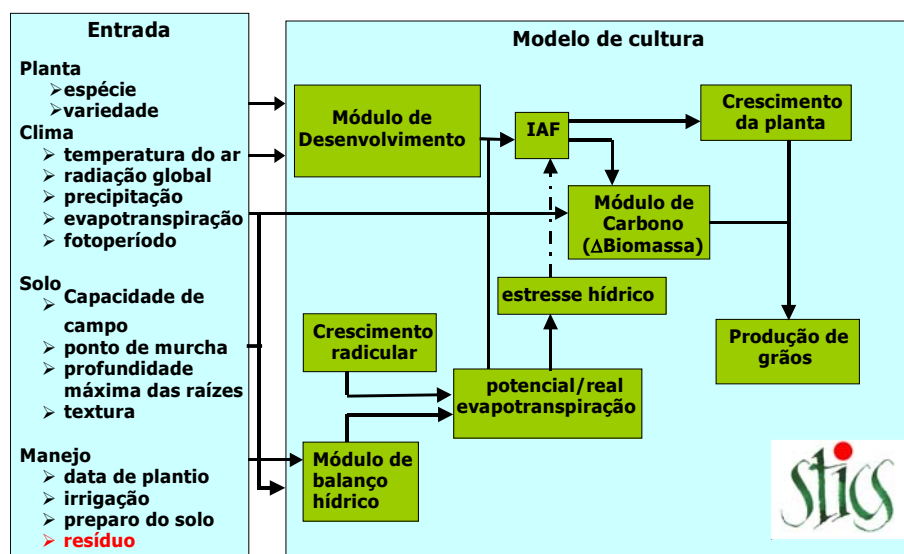


Figura 3.6. Modelo conceitual destacando as principais variáveis de entrada e processos simulados pelo modelo STICS.

3.8.1. Adaptações do módulo de balanço hídrico ao sistema plantio direto

A seguir, apresentam-se as possíveis mudanças e adaptações propostas para que o modelo considere os efeitos da palhada sobre fases importantes do ciclo hidrológico:

3.8.1.1. Relação entre quantidade de palha e cobertura do solo

A relação entre taxa de cobertura do solo (TC) e quantidade de palha (Q) pode ser expressa pela seguinte função exponencial (GREGORY, 1982; SCOPEL et al., 1998):

$$TC = K * \left(1 - e^{-\alpha * Q}\right) \quad (1)$$

onde:

TC = taxa de cobertura do solo pela palhada (%);

Q = quantidade de resíduo (kg.ha⁻¹);

K e α = parâmetros de ajuste.

3.8.1.2. Taxa de decomposição

A dinâmica de decomposição da palhada também altera a contabilidade de água no solo. As condições de clima, principalmente, temperatura elevada e radiação solar intensa favorecem a decomposição dos resíduos vegetais cujo percentual pode ser expresso em função do tempo pela seguinte função exponencial:

$$TD = Q_0 * \left(e^{-k * t}\right) \quad (2)$$

onde:

TD = taxa de decomposição dos resíduos (%);

Q₀ = quantidade inicial de resíduos (kg.ha⁻¹);

t = tempo (dias);

k = parâmetro de ajuste.

3.8.1.3. *Balanço hídrico*

Neste modelo observa-se que os resíduos afetam a disponibilidade de água no solo mediante três processos, quais sejam: 1) interceptação e armazenamento de água da chuva; 2) redução da evaporação do solo e 3) redução do escoamento superficial.

3.8.1.3.1. *Capacidade de armazenamento da água pela palhada*

A capacidade máxima de água da chuva que pode ser armazenada pela palhada ($Rechpail_{Tot}$, mm) é proporcional à quantidade da palhada que fica sobre o solo (SCOPEL et al., 1998) e pode ser expressa pelo seguinte modelo:

$$Rechpail_{Tot} = (a * Q + b) * 10^{-4} \quad (3)$$

onde:

Q = quantidade de resíduo ($kg \cdot ha^{-1}$);

a e b = parâmetros de ajuste.

A quantidade de água da chuva que pode ser armazenada pela palhada em determinado espaço de tempo t ($Rechpail_t$, mm) pode ser calculada pela diferença entre a capacidade total de armazenamento da água da palhada ($Rechpail_{Tot}$, mm) e a água retida no momento $t-1$ ($Rechpail_{t-1}$, mm):

$$Rechpail_t = Rechpail_{Tot} - Rechpail_{t-1}, \quad (4)$$

Enquanto, a quantidade atual de água armazenada pela palhada ($Rechpail_{atual}$, mm) é função da chuva e da taxa de cobertura do solo pela palhada (TC, %):

$$Rechpail_{atual} = \min[Rainn * TC, Rechpail_{Tot}] \quad (5)$$

Onde: $Rainn$ é a quantidade de água precipitada já descontada a perda causada pelo escoamento superficial ($RUIS$, mm).

3.8.1.3.2. *Redução da evaporação da água do solo*

A radiação solar que alcança a superfície do solo é a fonte de energia responsável pela evaporação potencial da água nele contida (primeiro estágio da evaporação segundo BRISSON et al., 1998) que sofre redução com a presença da palhada em sua superfície.

A quantidade de radiação que atravessa a palhada e chega até o solo (R_{ss} , MJ m⁻²) é função da quantidade dessa palhada (Q , t/ha) e pode ser calculada, utilizando-se a Lei de Beer (SCOPEL et al., 1998):

$$R_{ss} = R_i * \text{EXP}(-\gamma * Q) \quad (6)$$

Onde: R_i é a radiação solar global que incide sobre os sistemas palhada-solo (MJ m⁻²) e γ é o coeficiente de extinção da radiação líquida pela palhada. Portanto, a evaporação potencial do solo (EOS , (mm.dia⁻¹)) passa a ser estimada em função da quantidade dos resíduos que ficam sobre a superfície do solo (Q t/ha) e da evapotranspiração de referência ($TETP$, (mm.dia⁻¹)), tendo como base a seguinte equação:

$$EOS = TETP * \text{EXP}(-\varepsilon * LAI) * \text{EXP}(-\gamma * Q) \quad (7)$$

Onde:

LAI é o índice de área foliar da planta e ε é o coeficiente de extinção da radiação líquida pela parte aérea da planta.

A demanda climática também age sobre a água armazenada pela palhada cuja evaporação está diretamente relacionada com a quantidade de energia por ela recebida. Logo, a evaporação da água contida na palhada ($EPAIL$, mm) é calculada pela seguinte equação:

$$EPAIL = TETP * \text{EXP}(-\varepsilon * LAI) * [1 - \text{EXP}(-\gamma * Q)] \quad (8)$$

Como no STICS a transpiração máxima da cultura é função da quantidade de energia disponível e seu cálculo é feito pela diferença entre a evapotranspiração potencial e o somatório das evaporações do solo e da palhada ($EOS + EPAIL$), os resíduos que permanecem no solo, no sistema de plantio direto, desempenham um efeito indireto sobre a transpiração e o rendimento final da cultura.

3.8.1.3.3. Redução do escoamento superficial

O escoamento superficial (RUIS, mm) é calculado por uma função empírica simples que relaciona as perdas de água com a quantidade de chuva (RAIN, mm):

$$\text{RUIS} = b * (\text{RAIN} - a) \quad \text{para} \quad \text{RAIN} > a \quad (9)$$

onde:

os parâmetros empíricos a (mm) e b (%) significam, respectivamente, o valor limite de precipitação abaixo do qual não acontece escoamento superficial e a proporção de água escoada quando o valor limite de precipitação é superado. É evidente que os valores de a e b dependem da declividade, da textura, da porosidade e da rugosidade da superfície do solo.

3.9. Quantificação e modelagem dos efeitos das palhadas de milho, milheto e soja, na dinâmica da água, no sistema plantio direto

Foram caracterizadas e quantificadas seis propriedades hidrodinâmicas das palhadas de milho, milheto e soja, descritas nos itens seguintes:

3.9.1. Capacidade de armazenamento da água pela palhada

A estimativa da capacidade de armazenamento de água das palhadas foi feita por meio de um experimento conduzido na Embrapa Cerrados onde foram colhidas amostras representativas das palhadas de milho (folhas, colmos e sabugos) e soja (folhas, colmos e vagens). Já a palhada do milheto foi cortada rente ao solo com as folhas, os colmos e as panículas. A capacidade máxima de armazenamento da água foi estimada da seguinte maneira:

- a. Diferentes quantidades de cada tipo de palhada foram depositadas, durante 15 horas, num recipiente com água para o seu completo encharcamento.
- b. As amostras foram retiradas da água e permaneceram por duas horas num ambiente de completa sombra para que o excesso fosse drenado completamente (água gravitacional).

- c. As amostras úmidas foram pesadas (P_{pum} , g) e levadas para a estufa a 70 °C, durante 72 horas.
- d. Em seguida, as amostras secadas na estufa foram pesadas (P_{psec} , g).
- e. A capacidade percentual de armazenamento, CA (%), da palhada foi determinada da seguinte maneira:

$$CA = \frac{(P_{pum} - P_{psec})}{P_{psec}} * 100 \quad (10)$$

Depois de calculada a capacidade de armazenamento da palhada, CA (%), foi possível estimar a lâmina máxima em milímetros, LM (mm), que a palhada pode armazenar em relação à sua quantidade de matéria seca por hectare (Q em t/ha), pela seguinte equação:

$$LM(mm) = \frac{CA}{100} * \frac{Q_{Ton}}{ha} \Rightarrow \frac{CA}{100} * Q \frac{1000L}{10000m^2} \Rightarrow LM = \frac{CA}{100} * Q \frac{1}{10} mm$$

$$LM(mm) = \frac{CA(\%)*Q}{1000} \quad (11)$$

3.9.2. Relação entre quantidade de palha e cobertura do solo

A relação entre quantidade de palha e cobertura do solo foi estabelecida utilizando-se um dispositivo experimental fabricado no Laboratório de Biofísica Ambiental da Embrapa Cerrados (Figura 3.7) onde se delimitou uma área de 1m² (1m x 1m) e, a uma distância fixa do solo, instalou-se uma máquina digital para fotografar as diferentes quantidades de palhada do milho, do milheto e da soja distribuídas aleatoriamente (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0 t/ha).

Com o uso do software (ENVI), fez-se uma classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança, considerando-se apenas duas classes em cada foto: 1) palhada (solo coberto) e; 2) não palhada (solo nu). Com o uso de um módulo estatístico, presente no ENVI, estimaram-se os valores percentuais de cada classe.



Figura 3.7. Dispositivo contendo máquina fotográfica digital para aquisição das fotografias que correlacionaram taxa de cobertura do solo e quantidade de palhada.

3.9.3. Intercepção da radiação solar pela palhada

Para medir a intercepção da radiação solar pela palhada, fez-se um experimento composto de uma placa de vidro com dimensões de 50 x 150 cm (área de 0,75m²) (Figura 3.8), no qual foram distribuídas, aleatoriamente, diferentes quantidades de palhada. Com o uso de um aparelho (Pickhélios[®]) provido de sensores para registrar a radiação solar, foram medidas: as radiações refletidas pela palhada e a que chegou à superfície do solo.



Figura 3.8. Placa de vidro com área de 0,75 m² e os sensores usados na medição da radiação solar interceptada pela palhada.

Para se obter a porcentagem das radiações tanto PAR quanto IR, interceptadas pela placa de vidro, efetuou-se uma correção usando-se a seguinte fórmula:

$$RIA = \left[\left(RAM - \left(\frac{100 - TC}{100} \right) \right) * RIV \right] \quad (12)$$

onde:

RIA = radiação interceptada ajustada, (%);

RAM = radiação medida pelo Pickhélios, (%);

TC = taxa de cobertura da palhada estimada no item 3.9.2, (%);

RIV = radiação interceptada pela placa de vidro, (%).

3.9.4. Dinâmica da evaporação da água armazenada na palhada

O estudo da dinâmica de dessecação das palhadas de milho, milheto e soja foi conduzido, tendo como base um experimento realizado na Embrapa Cerrados. Para isso, foram consideradas 1, 4, 8, 12 e 16 toneladas/hectare de resíduos de milho e 1, 3, 6, 9 e 12 toneladas/hectare dos resíduos de milheto e soja.

A perda de água pela palhada está relacionada com a quantidade de energia recebida e sua determinação seguiu as seguintes etapas:

- I. amostras das palhadas foram previamente encharcadas durante 12 horas;
- II. essas amostras foram repartidas em quatro subamostras e distribuídas em peneiras de 0,25 m² de área (50 x 50 cm) e, posteriormente, colocadas sobre a superfície do solo nu (Figura 3.9) que foi previamente molhado até alcançar sua capacidade de campo;
- III. as peneiras foram pesadas a cada hora durante o dia com o uso de balança com precisão centesimal;
- IV. calculou-se a umidade inicial a cada hora de medição pela seguinte fórmula:

$$U(\%) = \frac{[(P_{pum} - P_{psec})]}{P_{psec}} * 100 \quad (13)$$

Onde:

Ppum = peso úmido em gramas;

Ppsec = peso seco em estufa (g) a 70 °C por 72 horas.

- V. a evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de Penman (ETP_{Penman}) para o dia da realização das pesagens;
- VI. assumindo-se que a dessecação dos resíduos é função da demanda evaporativa e que essa demanda horária está mais diretamente ligada à quantidade de radiação recebida, calculou-se a $ETP_{horária}$ para o dia da realização das pesagens pelo seguinte procedimento:

$$ETP_{horária} = ETP_{dia} * \frac{Rg_{horária}}{Rg_{dia}} \quad (14)$$

Onde:

$ETP_{horária}$ = evapotranspiração horária corrigida em relação à radiação (mm/hora);

ETP_{dia} = evapotranspiração de referência do dia, (mm/dia);

$Rg_{horária}$ = radiação global em cada hora das medições, (J/ cm²/hora);

Rg_{dia} = radiação global no dia das medições, (J/ cm²/dia).

- VII. em seguida, calculou-se a evapotranspiração proporcionada pela radiação recebida pela palhada, (ETP_{RAD_CAP}), segundo ARREOLA TOSTADO (1996);

$$ETP_{RAD_CAP} = ETP_{horária} * (1 - e^{-\beta * Q}) \quad (15)$$

Onde:

β = coeficiente de ajuste entre quantidade de palha e porcentagem de radiação interceptada, estimado no item 3.9.3;

Q = quantidade de palha.

- VIII. por último, calculou-se o total da evapotranspiração proporcionada pela radiação recebida pela palhada, ($ETP_{(RAD_CAP) Acumulada}$);

$$ETP_{(RAD_CAP) Acumulada} = \sum ETP_{(RAD_CAP)} \quad (16)$$

As medições foram feitas em dias diferentes, ou seja, 16/09/2002 para os resíduos de milho, 22/09/2002 para os de milho e 23/09/2002 para os de soja.



Figura 3.9. Peneiras com de área $0,25\text{m}^2$ utilizadas para análise das perdas de água das palhadas de milho, milheto e soja.

3.9.5. Influência da palhada no escoamento superficial

Para medir o escoamento superficial, foi utilizado um dispositivo experimental instalado em um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa, distrófico, no Campus II UFG – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia com as características químicas e texturais apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Características químicas e texturais de um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa, distrófico, no Campus II UFG, Escola de Agronomia em Goiânia.

M.O	PH	P	Ca	Mg	K	Al	H+Al	CTC	V	Zn	Cu	Fe	Mn	Argila	Areia	Silte
%	H ₂ O	Mg/L	Cmolc/L						%	mg/L				g/kg		
1,2	5,9	3,9	1,8	0,5	0,36	0	6,4	9,06	29	4,1	7,7	45	13	720	110	170

As medições foram iniciadas em 01/02/2001, estendendo-se até 11/03/2002, sendo feito o acompanhamento em duas parcelas: uma representativa do sistema de manejo

convencional (gradagem do solo); a outra, do sistema de plantio direto com o milho em sucessão ao milheto, com 4 t/ha de biomassa seca desse último.

O escoamento superficial foi quantificado para cada evento pluviométrico com base no trabalho realizado por SCOPEL et al. (1998) que preconizou o uso de parcelas com dimensões de 10 m de comprimento por 2 m de largura, totalizando 20 m² de área e com 3% de declividade, representadas na Figura 3.10. Essas parcelas foram delimitadas por paredes metálicas enterradas no chão e munidas com sistemas coletores de enxurrada na extremidade mais baixa. As perdas de água foram avaliadas diariamente, depois das chuvas, nos tanques coletores por meio de leituras da altura da água depositada nesses tanques.

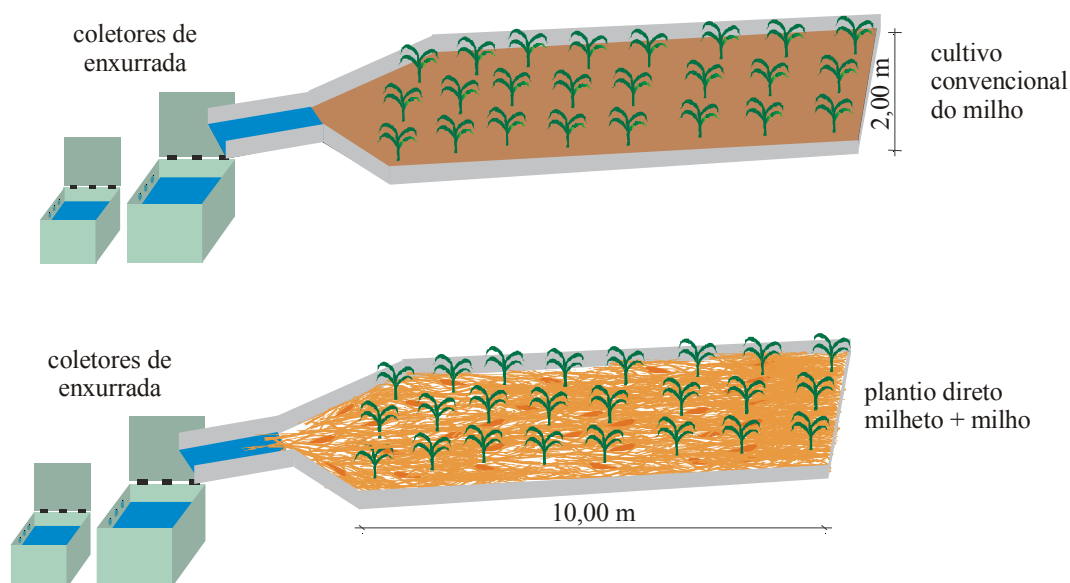


Figura 3.10. Parcelas coletoras de enxurrada para os dois sistemas de manejo: convencional e plantio direto.

3.9.6. Dinâmica de decomposição dos resíduos de milheto

O milheto foi semeado em sucessão ao milho em dois sistemas de manejo (com incorporação e sem incorporação dos resíduos).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas. As parcelas medindo (12m x 30m) e as subparcelas (12m x 15m) foram distribuídas em três blocos (repetições).

Para o cálculo da velocidade de decomposição dos resíduos, o milho foi cortado na sua floração, pesaram-se 10 gramas de material dessecado em estufa regulada a 70 °C por 72 h, colocando-as em sacos de tela de náilon denominados *litter bags*, medindo 20cm x 20cm, com malha de 2mm x 2mm. Depois de preparado, o material foram mantido na superfície do solo sob a cobertura morta. Cada *litter bag* foi colocado na sua subparcela correspondente. Foram retirados sempre três *litter bags* de cada subparcela nas datas de observação.

Nas duas primeiras avaliações (estação seca), os *litter bags* foram retirados com 80 dias e 60 dias, já na estação chuvosa, em intervalos de 30 dias, até a colheita da cultura do milho. Depois da retirada do campo, os resíduos presentes nos *litter bags* foram acondicionados em latas de alumínio e colocadas em estufa regulada a 70 °C por 72 horas para obtenção da matéria seca final.

O material seco foi pesado e transferido para cadinhos de porcelana para que seu conteúdo fosse queimado em mufla regulada a 600 °C por um período mínimo de 8 horas para se obter o conteúdo inorgânico final. O cálculo da taxa de decomposição foi feito de acordo com o recomendado por SANTOS e WHITFORD (1981).

3.10. Aquisição dos dados para a calibração do modelo STICS: comparação dos sistemas plantio direto e convencional

3.10.1. Descrição do experimento

O experimento foi iniciado em 1992 nos campos experimentais da Embrapa Cerrados. Antes dessa data, a área foi utilizada, durante 15 anos, no sistema convencional de preparo de solo para o desenvolvimento de culturas anuais, principalmente, a soja.

O experimento consiste em quatro faixas, cada uma com 320 m de comprimento por 50 m de largura, sendo duas com plantio direto (PD) e duas em sistema convencional de preparo do solo (PC), todas cultivadas no sistema de sequeiro.

Em cada sistema de manejo, uma das faixas foi cultivada, utilizando-se a sucessão milho/soja e a outra, soja/milho. Uma das faixas cultivadas no sistema de plantio direto foi

dividida em parcelas de 34 x 50 m, com 1700 m² de área (Figura 3.13) onde várias plantas de cobertura foram semeadas no final da estação chuvosa em sucessão à cultura principal do milho.

Para este estudo, foram utilizadas as faixas cultivadas com a cultura do milho nos sistemas convencional e a seqüência milho-milheto no plantio direto. O milheto funciona como planta de cobertura para a produção de biomassa, pressuposto básico para o sucesso do plantio direto.

3.10.2. Sistema de manejo

3.10.2.1. A cultura do milho no sistema de manejo convencional (PC)

Antes de iniciar o experimento, foi feito na área uma descompactação do solo usando-se um subsolador e, em seguida, realizou-se a adubação corretiva.

Duas faixas do experimento foram cultivadas com manejo convencional, caracterizado pelo revolvimento do solo até 20 cm de profundidade onde efetuou-se uma passagem com disco pré-plantio e duas com grade leve (Figura 3.11).

O período referente a esse trabalho foi o ano agrícola 2001/2002. No dia 29/10/2001, aplicaram-se 500 kg/ha de gesso. O plantio do milho, variedade Cargil 901, foi feito mecanicamente no dia 05/11/2001, tendo-se distribuído 18 sementes por 3 metros lineares, para o espaçamento entre linhas de 0,90 metro, com uma densidade final de aproximadamente 66.000 plantas/ha. A germinação aconteceu no dia 13/11/01.

Foram feitas cinco adubações: sendo uma na fundação, na qual foram aplicadas 400 kg/ha da fórmula 4 – 30 – 16, + 360 gramas de zinco por 10 metros lineares; duas foliares, com distribuição de 1,5 kg/ha de MnSO₄ (sulfato de manganês) de cada vez e, duas nitrogenadas em cobertura, com distribuição de 65 kg/ha de nitrogênio (uréia) para cada aplicação.

Realizaram-se duas pulverizações para combater a lagarta-do-cartucho, com certoiro – 50 mL/ha e match - 300 mL/ha, respectivamente. O florescimento completo da cultura ocorreu no dia 11/01/2002 e sua colheita foi feita de forma mecânica no dia 23/03/2002.

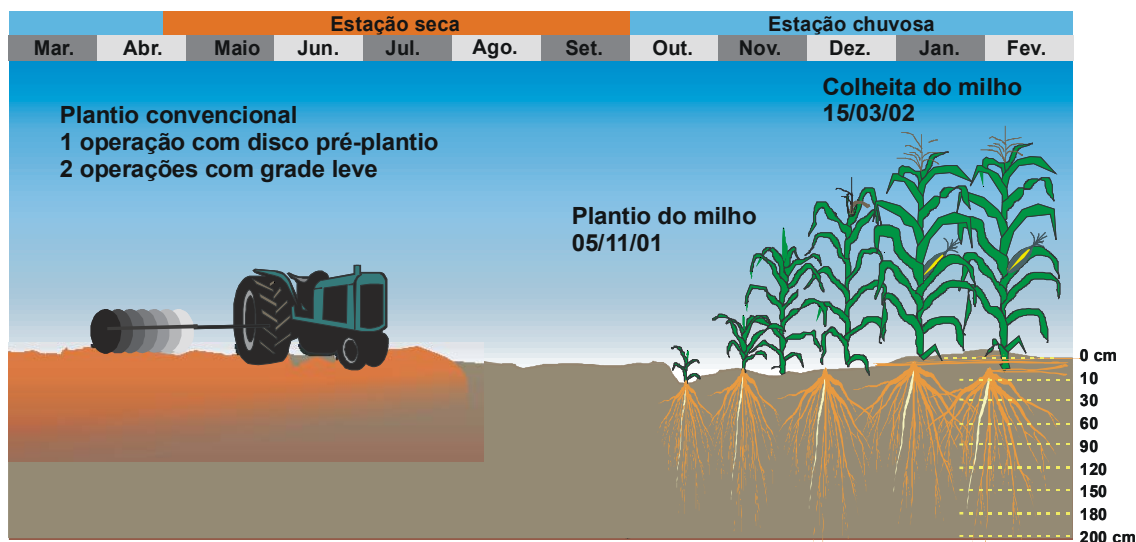


Figura 3.11. A cultura do milho no sistema de manejo convencional de preparo do solo.

3.10.3. A cultura do milho no sistema de manejo plantio direto (PD)

O mesmo procedimento usado no plantio convencional também foi utilizado na área do plantio direto. Ou seja, antes de iniciar o experimento, fez-se uma descompactação do solo com um subsolador e, em seguida, uma adubação corretiva. Esse sistema é caracterizado pelo revolvimento do solo, apenas, na linha de semeadura e pela permanência da palhada da cultura anterior sobre o solo.

O acompanhamento agrônômico foi praticamente o mesmo do efetuado no plantio convencional, ou seja, o ano agrícola 2001/2002 e, no dia 18/10/2001, realizou-se o manejo da palhada da cultura anterior (milheto) com a aplicação de 3 L/ha do herbicida Round-up + 2 L/ha de 2-4,D em toda a área. No dia 29/10/2001, aplicaram-se 500 kg/ha de gesso na superfície.

O plantio do milho, variedade Cargil 901, foi realizado mecanicamente no dia 05/11/2001, tendo-se distribuído 18 sementes por 3 metros lineares, para o espaçamento entre linhas de 0,90 metro, com uma densidade final de aproximadamente 66.000 plantas/ha. A germinação aconteceu no dia 13/11/01.

Foram feitas cinco adubações: uma na fundação, na qual foram aplicados 400 kg/ha da fórmula 4 – 30 – 16, + 360 gramas de zinco por 10 metros lineares; duas foliares, com distribuição de 1,5 kg/ha de MnSO_4 (sulfato de manganês) de cada vez, e, duas nitrogenadas em cobertura, com distribuição de 65 kg/ha de nitrogênio (uréia) para cada aplicação.

Realizaram-se duas pulverizações com *certeiro* - 50 mL/ha e *match* - 300 mL/ha, respectivamente, para combater a lagarta do cartucho. O florescimento completo da cultura aconteceu no dia 11/01/2002, e sua colheita foi feita de forma mecânica no dia 22/03/2002 (Figura 3.12).

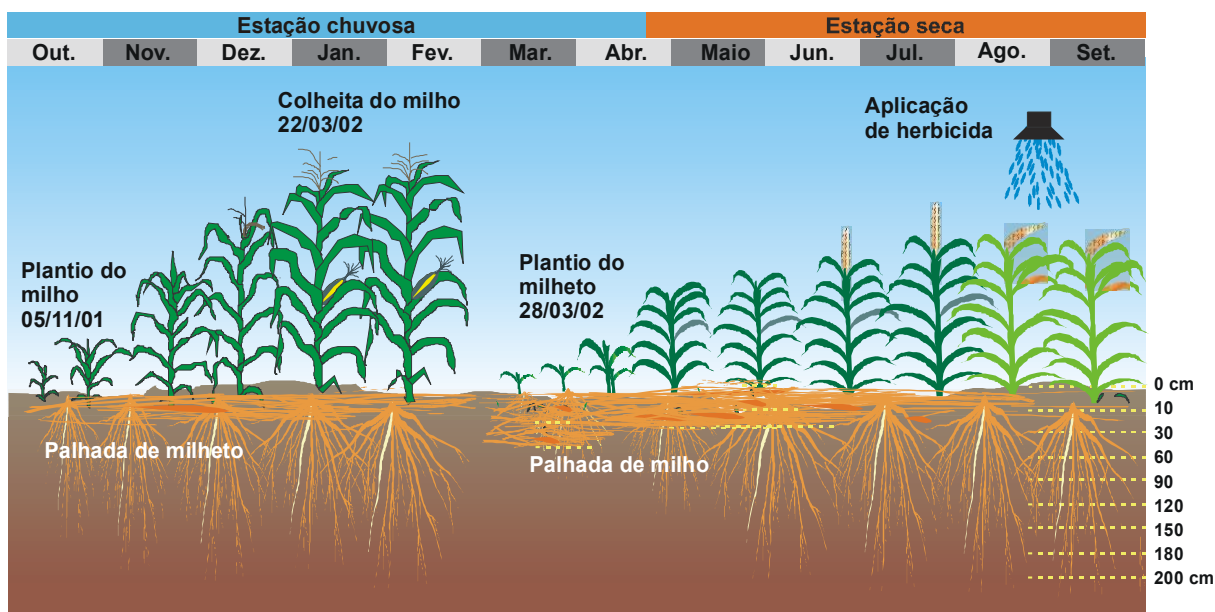


Figura 3.12. Esquema da sequência milho-milheto no sistema de plantio direto.

3.10.2.3. A cultura do milheto no sistema de manejo plantio direto (PD)

Logo depois da colheita da cultura principal (milho), ou seja, no dia 23/03/2002, fez-se o manejo da sua palhada e das ervas-daninhas existentes na área com a aplicação de 4 l/ha do herbicida round-up + 2 l/ha de 2-4,D.

O plantio do milho (*Pennisetum americanum*), variedade BRS 1501, foi realizado mecanicamente no dia 28/03/2002 (Figura 3.12), tendo-se distribuído 20 sementes por 1 metro linear, com espaçamento entre linhas de 0,20 metro. A germinação aconteceu quatro dias depois do plantio. O início do florescimento (10%) foi no dia 17/05/2002.

3.10.4. Parcelas experimentais

O acompanhamento experimental foi realizado tanto na faixa cultivada sob o sistema de manejo convencional como na de plantio direto, numa parcela com dimensões de 34m x 50m, com 1700 m² de área conforme descrição da Figura 3.13.

Para isso, foram estabelecidas seis subparcelas, sendo três no sistema convencional denominadas de PC1; PC2 e PC3 e três no plantio direto com denominação de PD1; PD2 e PD3, com áreas úteis individuais de 14,4 m². Nessas subparcelas, instalou-se um tubo de alumínio no centro para o acompanhamento da umidade do solo até 180 cm de profundidade.

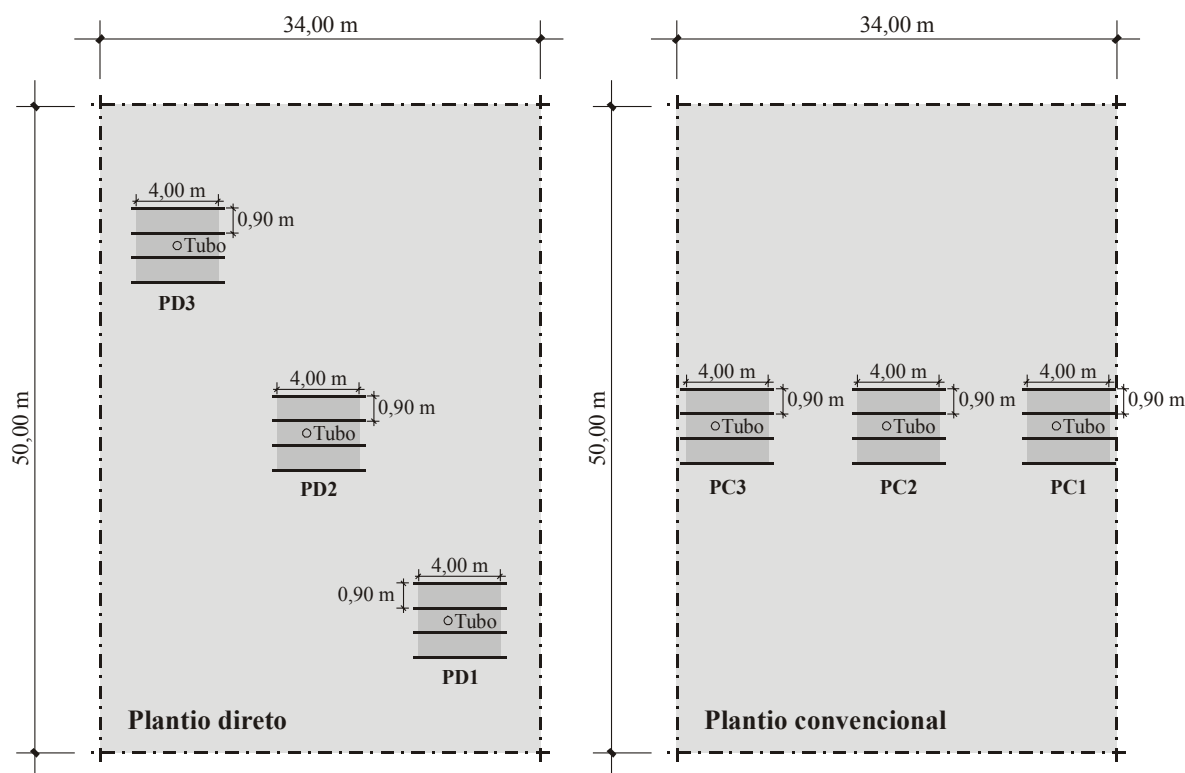


Figura 3.13. Distribuição das subparcelas experimentais nos sistemas plantio direto (PD1, PD2 e PD3) e convencional (PC1, PC2 e PC3).

3.10.5. Obtenção dos dados

3.10.5.1. Dados climáticos

Os dados climáticos foram medidos numa estação meteorológica Campbell, gerenciada pela Embrapa Cerrados e localizada a uma distância de aproximadamente 200 m das parcelas experimentais. Esses dados incluíram precipitação diária (mm), radiação solar ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), velocidade média diária do vento (m.s^{-1}), temperatura do ar máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%). A evapotranspiração potencial (mm dia^{-1}) foi estimada pelo método de PENMAN (1948).

3.10.5.2. Caracterização do solo

3.10.5.2.1. Caracterização física

Foram determinadas a granulometria e a densidade do solo de cada subparcela, que serviram de variáveis de entrada para a execução da rotina de balanço hídrico do modelo STICS. Para isso, coletaram-se amostras de solo do tipo: deformada e indeformada com o uso do anel com trado volumétrico, nas seguintes profundidades: 0 a 10, 10 a 20, 20 a 40, 40 a 60, 60 a 80, 80 a 100 e 100 a 120 cm.

Os valores percentuais de argila, silte, areia grossa e areia fina foram determinados pelo método clássico (Pipeta de Robinson) para todas as amostras coletadas nas profundidades acima descritas. As amostras indeformadas serviram para os cálculos da densidade do solo.

3.10.5.2.2. Caracterização hidrodinâmica

O estudo das características hidrodinâmicas dos solos das subparcelas restringiu-se, basicamente, na obtenção dos teores de umidade do solo θ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) na capacidade de campo (CC), correspondente à tensão de 0,1 atm, e no ponto de murcha permanente (PMP) para a tensão de 15,0 atm. Os dados de umidade do solo foram medidos até a profundidade de 180 cm, com o uso de uma sonda de nêutrons, em seis parcelas, sendo três no sistema de

manejo convencional do solo (PC1, PC2 e PC3) e três no sistema de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).

3.10.5.3. Dados da planta

3.10.5.3.1. Área Foliar

Com o uso de um equipamento de marca LICOR, modelo LI-2000, determinou-se a área foliar (LAI) em diferentes épocas do ciclo das culturas do milho nos sistemas plantio direto e convencional e do milheto no sistema plantio direto.

3.10.5.3.2. Componentes de Produção

Das amostras obtidas para o cálculo da massa seca, foram coletados dados referentes ao número de plantas, número de espigas e número de grãos por m², peso médio de 100 grãos (g), massa seca de um grão (g), produtividade média de grãos (kg.ha⁻¹) e biomassa total.

3.10.5.3.3. Massa seca

Para o cálculo da massa seca da cultura do milho, foram coletadas amostras de plantas nas subparcelas descritas no item 3.10.4 (Figura 3.13). Essas amostras foram pesadas e levadas para a estufa a uma temperatura de 70 °C, durante 24 horas, visando à obtenção do peso seco final. Para a cultura do milheto, avaliou-se apenas a biomassa aérea. Para isso, considerou-se uma parcela com área de 1 m² que teve como centro o tubo utilizado para o acompanhamento da umidade do solo.

3.10.5.3.4. Profundidade radicular

Foi determinada a profundidade máxima de enraizamento apenas do milheto. Para sua estimativa, abriu-se uma trincheira de 2 m de profundidade e, com o uso do método descrito por CHOPART (1999), avaliou-se o percentual de raiz ao longo do perfil do solo.

3.10.5.3.5. Fenologia da cultura do milheto

Como não existem dados sobre a fenologia do milheto (*Pennisetum americanum*) Var. BRS 1501 e sua relação com o fotoperiodismo, foi conduzido um experimento na mesma área de estudo onde foram plantadas, a cada 15 dias, parcelas com 1 m² de área (Figura 2.14) em condições potenciais de água e nutrientes. O plantio começou no dia 09/05/2002 e se estendeu até o dia 10/10/2002.

Foram efetuadas as estimativas do número de dias desde a emergência até o aparecimento de 50% das panículas (50% do florescimento) e sua respectiva soma térmica, período este em que a planta expressa seu crescimento máximo.

Apesar de o modelo STICS simular outras fases fenológicas, considerou-se, neste estudo, apenas a fenologia referente à data da emergência ao florescimento como satisfatória, uma vez que o principal objetivo foi simular a produção de biomassa do milheto.



Figura 3.14. Parcelas utilizadas para o acompanhamento do florescimento da cultura do milheto em função de diferentes datas de plantio.

A soma térmica ou graus-dia foi estimada pela seguinte fórmula:

$$GD = \sum (T_m - T_b) \quad (17)$$

Onde:

T_m = temperatura média do ar (°C);

T_b = temperatura base para a cultura do milho (13 °C);

3.11. Calibração do modelo *STICS* para as culturas do milho e do milho nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto.

3.11.1. Dados necessários para a execução do modelo *STICS*

Conforme modelo conceitual apresentado na Figura 3.6, são quatro os tipos de arquivos de entrada exigidos para executar o modelo *STICS* quais sejam: arquivos referentes à planta (*arquivo.plt*), ao solo (*arquivo.sol*), ao itinerário técnico (*arquivo.tec*), e ao clima (*arquivo.cli*).

Os dados necessários para a construção desses arquivos foram obtidos dos experimentos descritos no item 3.10. Para completar esses arquivos usaram-se alguns parâmetros disponíveis na literatura e, outros ajustados por AFFHOLDER (2001) que calibrou o modelo *STICS* para o crescimento do milho no sistema convencional em condições de Cerrado.

Para calibrar o modelo, primeiramente, foram ajustados os estádios de desenvolvimento do milho e do milho. Posteriormente, procederam-se aos ajustes do índice de área foliar das duas culturas, do balanço de água no solo, da matéria seca total, dos componentes de produção: número de grão por metro quadrado e massa seca de 1 grão e, finalmente, a produtividade de grãos.

O índice de área foliar máximo (LAI_{max}) foi ajustado a partir do parâmetro “**dlaimax**” que representa a taxa de desenvolvimento máximo da área foliar.

A matéria seca total foi calibrada em função dos ajustes dos parâmetros relacionados com a eficiência do uso da radiação solar “**efcroiveg**” e com a alocação de fotoassimilados para o grão “**efcroirepro**”. Já o balanço hídrico foi calibrado com o uso dos parâmetros da função de evaporação do solo, previamente ajustados por AFFHOLDER (2001).

Todas as informações relativas à modelagem da palhada, considerada nesse trabalho como uma camada intermediária entre a atmosfera-planta e o solo, estão apresentadas no item 3.9.

A aferição da performance do modelo foi efetuada utilizando-se o método gráfico (análise de regressão linear), plotando-se os valores observados e os simulados do índice de área foliar, da variação do estoque de água no solo utilizando-se o coeficiente de determinação (R^2) como critério estatístico. Para os dados de produtividade de grãos e matéria seca total, determinou-se a diferença percentual (DIF, %) entre os valores observados (Vobs) e simulados (Vsim), utilizando-se a seguinte fórmula:

$$DIF(\%) = \left[\left(\frac{V_{sim} - V_{obs}}{V_{obs}} \right) * 100 \right] \quad (18)$$

3.12. Aplicação do modelo STICS para avaliar o risco climático do milho nos sistemas convencional e plantio direto

3.12.1. Dados de entrada do modelo

Para examinar os efeitos dos resíduos de milheto (4000 kg/ha) nos principais termos do balanço hídrico e os efeitos da data de plantio, do tipo de solo (capacidade de armazenamento de água) e do clima sobre o rendimento de grãos do milho usou-se o modelo de simulação de cultura STICS (BRISSON et al., 1998) cuja calibração foi mostrada no item 3.11. O modelo foi alimentado com os dados históricos diários de temperaturas máxima e mínima, chuva, evapotranspiração potencial e radiação global de duas estações climáticas bem diferenciadas (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Locais usados para as análises dos termos do balanço hídrico e da produção de grãos da cultura do milho, com suas respectivas coordenadas geográficas e número de anos da série climática.

Local	U.F.	Coordenadas Geográficas		Série (anos)	Média anual	
		Latitude	Longitude		Chuva (mm)	Temperatura (°C)
Planaltina	DF	15° 35'S	47° 42'W	29	1.409	22,0
Passo Fundo	RS	28° 15'S	52° 24'W	23	1.917	18,5

Para examinar o efeito do tipo de solo sobre o balanço hídrico da cultura do milho, as simulações foram realizadas em dois tipos de Latossolos Vermelho-Amarelos – LVA: textura média e muito argiloso cujas principais características estão apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Umidades percentuais na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), teor de argila, densidade aparente e capacidade de armazenamento da água (CAD) de dois latossolos usados nas simulações.

Tipo de solo	CC (%)	PMP (%)	DAP (g.cm⁻³)	Argila (%)	Profundidade (cm)	CAD (mm)
LVA 1	17	10	1,20	19	100	84,0
LVA 2	35	22	0,99	65	100	128,6

As análises probabilísticas sobre o rendimento potencial do milho nas localidades apresentadas na Tabela 3.2 foram feitas em função dos resultados das simulações realizadas para as seguintes datas de plantio: 15 de outubro, 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro. Essas datas foram consideradas fixas para cada ano da série climática. Dessa maneira, a variabilidade da produção potencial é função da variabilidade climática (temperatura, radiação e precipitação) apresentada de ano para ano durante o ciclo da cultura.

Por definição, rendimento potencial é aquele definido apenas pelas condições de radiação solar e temperatura, porém nesse estudo foi adotado o critério da restrição hídrica para estimar o potencial de produção do milho em Planaltina-DF e Passo Fundo-RS. Por isso, além das variáveis acima citadas utilizou-se a série pluviométrica histórica das duas localidades.

Os parâmetros de entrada do modelo referentes ao milho foram os mesmos utilizados na calibração do modelo, à exceção dos parâmetros “**efcroiveg**” e “**effcroirepro**” cujos valores foram: 4,2 e 3,8, respectivamente. Esses valores foram encontrados em função da calibração realizada por AFFHOLDER (2001) que utilizou os resultados de um experimento com a cultura do milho conduzido sem limitação de água e nutrientes nos campos experimentais da Embrapa Cerrados.

As simulações foram conduzidas para uma cultivar de milho de ciclo normal (130 dias) denominado de C125 (Cargil 125). A combinação dos locais, das datas de plantio, dos tipos de solo e dos dois sistemas de manejos deu origem a 1020 simulações que foram rodadas com o uso do modelo STICS modificado. Todas as simulações foram inicializadas para condições de solo seco.

3.12.2. Método de análise dos dados

A análise apenas de valores médios não é um procedimento confiável para o entendimento da variação do rendimento. Por isso, os resultados das simulações foram analisados com base na distribuição de frequências acumuladas (FRA), usada por MUCHOW et al., 1994; MEINKE et al., 1993; AFFHOLDER, 1997, como uma técnica para quantificar os riscos provenientes de adversidades climáticas. Com o uso dessa técnica, pode-se determinar a opção do menor risco, partindo-se de uma posição relativa sobre a curva FRA.

Nesse estudo, os valores simulados do rendimento potencial da cultura do milho foram classificados em ordem ascendente para se calcular as funções de distribuição de frequência acumulada associadas a cada combinação de local, data de plantio, tipo de solo e manejo. A partir dessas funções, avaliou-se o rendimento mínimo esperado, com 75% de probabilidade, e a probabilidade de se produzir quantidade igual ou superior a 9000 kg de grãos de milho.

A evaporação do solo e a transpiração da planta foram analisadas fundamentando-se na diferença entre os valores médios estimados desses termos nos sistemas de manejo plantio direto e convencional. Para isso, fez-se uso do seguinte procedimento:

3.12.2.1. Evaporação do solo

$$\left(ES_{PD} - ES_{PC} \right) = \sum_1^C ES_{PD} - \sum_1^C ES_{PC} \quad (19)$$

Onde:

ES_{PD} = Evaporação da água do solo no plantio direto, mm;

ES_{PC} = Evaporação da água do solo no sistema convencional, mm.

C = Duração do ciclo da cultura do milho, dias.

3.12.2.2. *Transpiração da planta*

$$\left(T_{PD} - T_{PC} \right) = \sum_1^C T_{PD} - \sum_1^C T_{PC} \quad (20)$$

Onde:

T_{PD} = Transpiração da planta no plantio direto, mm;

T_{PC} = Transpiração da planta no sistema convencional, mm.

C = Duração do ciclo da cultura do milho, dias.

Usando-se esse modelo, simulou-se a disponibilidade de água no solo com o passo de tempo de um dia. Devido à dificuldade na apresentação desse conjunto de dados, fez-se a comparação da variação média diária da água do solo em cada sistema da seguinte forma:

$$(AS_{PD} - AS_{PC}) = \left[\left(\sum_1^C (AS_{PD}) / C \right) - \left(\sum_1^C (AS_{PC}) / C \right) \right] \quad (21)$$

Onde:

AS_{PD} = Água disponível no solo no plantio direto, mm;

AS_{PC} = Água disponível no solo no sistema convencional, mm.

C = Duração do ciclo da cultura do milho (130 dias).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Quantificação e modelagem dos efeitos das palhadas de milho, milheto e soja, na dinâmica da água, no sistema plantio direto

4.1.1. Capacidade de armazenamento da água pela palhada

A capacidade de armazenamento (CA) dos três tipos de material está apresentada na Tabela 4.1. Analisando-se os resultados, verifica-se que as palhadas do milheto e do milho apresentaram potencial ligeiramente maior para armazenar água em relação ao seu peso: 326% e 324%, respectivamente, do que a da soja, 262%.

Esses resultados estão de acordo com os valores encontrados por SCOPEL et al., 1998. A maior capacidade dessas palhadas em armazenar água, provavelmente, deve-se à estrutura porosa do seu material constituinte, como o colmo e a panícula, enquanto a soja apresenta material mais fibroso.

Os dados de peso seco (**s**) e de água armazenada (**w-s**), constantes na Tabela 4.1, foram transformados em toneladas/hectare e milímetros, respectivamente e, em seguida, procedeu-se à análise estatística para ajustar os dados observados a uma regressão linear simples.

Analisando-se esses resultados, verifica-se que a quantidade máxima de armazenamento da água dos três tratamentos correlaciona-se significativamente com a quantidade da palhada. Os valores da constante **a**, resultantes dos ajustes, estão apresentados na Tabela 4.2, e os valores observados e preditos estão relacionados na Figura 4.1.

Na Figura 4.1, pode-se observar a baixa capacidade de armazenamento da água dos três tipos de palhada. Considerando-se uma quantidade de resíduo de 4,5 t/ha, como indicado na Figura 4.1, os restos de cultura do milho e do milheto apresentaram capacidade para interceptar e armazenar apenas 1,45 mm de água, ou seja, 14,5 m³/ha, ao passo que os da soja só conseguiram armazenar 1,18 mm, equivalentes a 11,8 m³/ha.

Tabela 4.1. Capacidade de armazenamento da água (%) por diferentes quantidades de palhada' de milho, milho e soja.

Número da amostra	Palhada de milho			Capacidade de armazenamento (%)
	Peso úmido (w) (g)	Peso seco (s) (g)	w-s (g)	
1	241	54	187	346,2963
2	523	119,4	403,6	338,0235
3	766	173,2	592,8	342,2633
4	899	218,7	680,3	311,0654
5	930	242,7	687,3	283,1891
6	1143	266,3	876,7	329,2152
7	1342	314,5	1027,5	326,7091
8	2035	460,5	1574,5	341,911
9	2861	725,6	2135,4	294,2944
Média				323,663

Amostra	Palhada de milho			Capacidade de armazenamento (%)
	Peso úmido (w) (g)	Peso seco (s) (g)	w-s (g)	
1	294	67,9	226,1	332,9897
2	415	98,5	316,5	321,3198
3	712	166,3	545,7	328,1419
4	787	188,9	598,1	316,6226
5	976	240,3	735,7	306,159
6	1025	238,8	786,2	329,2295
7	390	87,6	302,4	345,2055
8	1231	296,4	934,6	315,3171
9	1424	324,2	1099,8	339,235
10	1908	448,9	1459,1	325,039
Média				325,9259

Continua...

Tabela 4.1. Continuação.

Amostra	Palhada de soja			Capacidade de armazenamento (%)
	Peso úmido (w) (g)	Peso seco (s) (g)	w-s (g)	
1	231	63,6	167,4	263,2075
2	510	134,8	375,2	278,3383
3	578	153,8	424,2	275,8127
4	532	147,9	384,1	259,7025
5	702	192,6	509,4	264,486
6	813	230,7	582,3	252,4057
7	871	240,8	630,2	261,711
8	1131	313,8	817,2	260,4207
9	953	264	689	260,9848
10	1715	494,2	1220,8	247,0255
Média				262,4095

Tabela 4.2. Resumo da análise de regressão linear simples que associa capacidade de armazenamento da água (mm) com quantidade de resíduo (t/ha) de soja, milheto e milho.

Tratamento	Constantes		Coeficiente R^2	Modelo $Y^* = ax+b$
	a	B		
Soja	0,2474	0,0243	0,99	$Y = 0,2472x + 0,0243$
Milheto	0,3245	0,0001	0,99	$Y = 0,3245x + 0,0001$
Milho	0,3019	0,0393	0,98	$Y = 0,3019x + 0,0393$

- Y = Estimativa da quantidade máxima de armazenamento da água.
- x = quantidade de palha.

ARREOLA TOSTADO (1996), estudando a capacidade potencial de armazenamento da água de três tipos de palha de milho, mostrou que 4,5 t/ha podem armazenar até 1,7 mm de água.

Usando um simulador de chuva, SAVABI e STOTT (1994) estudaram a interceptação da água da chuva por diversos tipos de resíduos. Os autores afirmaram que palhadas de milho (*Zea mays*) e de soja (*Glycine max* L.) interceptam, mais ou menos, a mesma quantidade de água, ou seja, eles observaram que para 4,5 t/ha desses resíduos, pode-se armazenar até 1,4 mm de água ou 14 m³/ha. Esses resultados corroboram os obtidos nesta

pesquisa para a palhada do milho, enquanto para os resíduos da soja, os mesmos autores encontraram valor superior.

Se por um lado a palhada apresenta vantagens por funcionar como uma camada dissipadora de energia, diminuído, assim, as perdas por evaporação direta da água do solo para a atmosfera e o escoamento superficial, por outro lado, ela apresenta desvantagem, pois, a água por ela interceptada e armazenada é perdida diretamente para a atmosfera sem fazer parte do sistema solo-planta.

As equações lineares apresentadas na Tabela 4.2 representam um formalismo simples de modelar a capacidade de armazenamento de água das palhadas de soja, milho e milheto e podem ser incorporadas aos modelos de balanço hídrico para contabilizar parte da água da chuva que não vai chegar ao reservatório do solo.

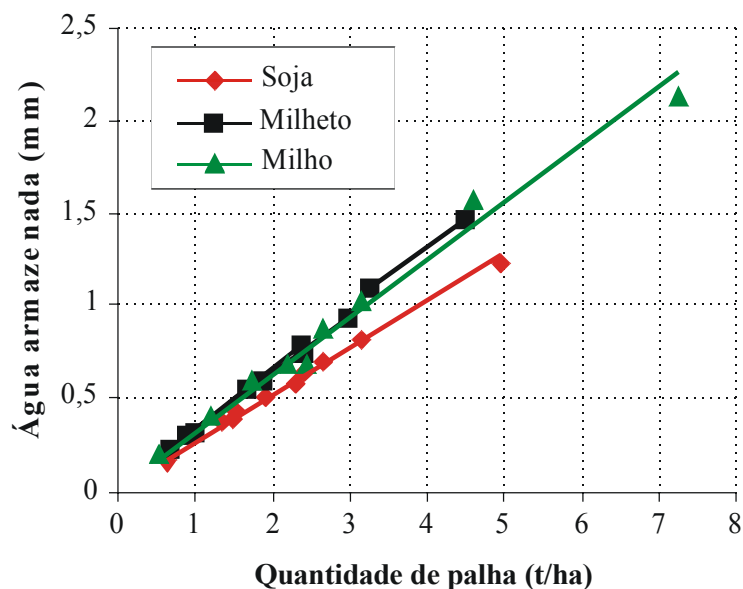


Figura 4.1. Capacidade de armazenamento da água em função da quantidade da palhada de soja, milheto e milho.

4.1.2. Relação entre quantidade de palha e cobertura do solo

Os resultados obtidos da análise estatística aplicada às fotografias classificadas são apresentados no Anexo 4.1. Na Figura 4.2, observa-se que 0,5 tonelada de palha de milho por hectare oferece uma cobertura de 16% do solo segundo estimativa na qual se usou o módulo estatístico do ENVI.

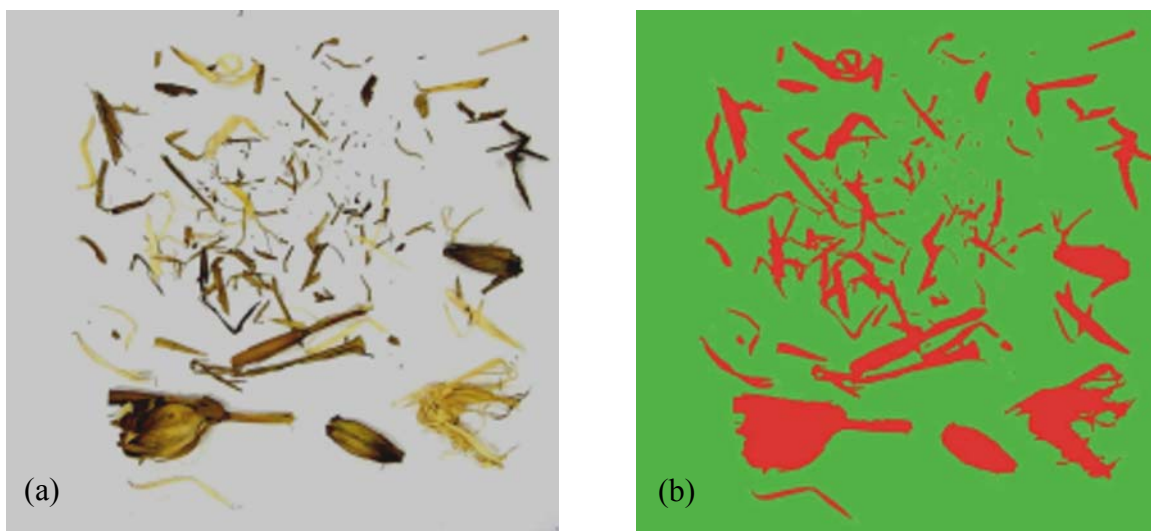


Figura 4.2. Foto de 0,5 tonelada de palha de milho (a) adquirida por máquina digital e imagem classificada pelo método da máxima verossimilhança (b) indicando uma cobertura de 16% do solo.

Com base nos dados apresentados no Anexo 4.1, estabeleceu-se uma relação entre taxa de cobertura (TC, %) e quantidade de palha (Q , $t \cdot ha^{-1}$) expressa pela seguinte função exponencial:

$$TC = K(1 - e^{-\alpha \cdot Q}) \quad (22)$$

onde:

TC = taxa de cobertura do solo pela palhada (%);

Q = quantidade de resíduo (t/ha);

K e α = parâmetros de ajuste.

As relações ajustadas entre taxa de cobertura (TC, %) e quantidade de palha (Q , t/ha) de milho, milheto e soja são apresentadas na Figura 4.3. Analisando-se essa figura, constata-se que as taxas de cobertura são praticamente equivalentes para os três tipos onde 3,5 t/ha de palhada de milho, soja e milheto cobrem 70%, 65% e 63% da superfície do solo, respectivamente.

Observa-se também que na curva da palhada do milho há maior inclinação, isso implica que esses resíduos cobrem mais rapidamente o solo do que os de milheto e de soja.

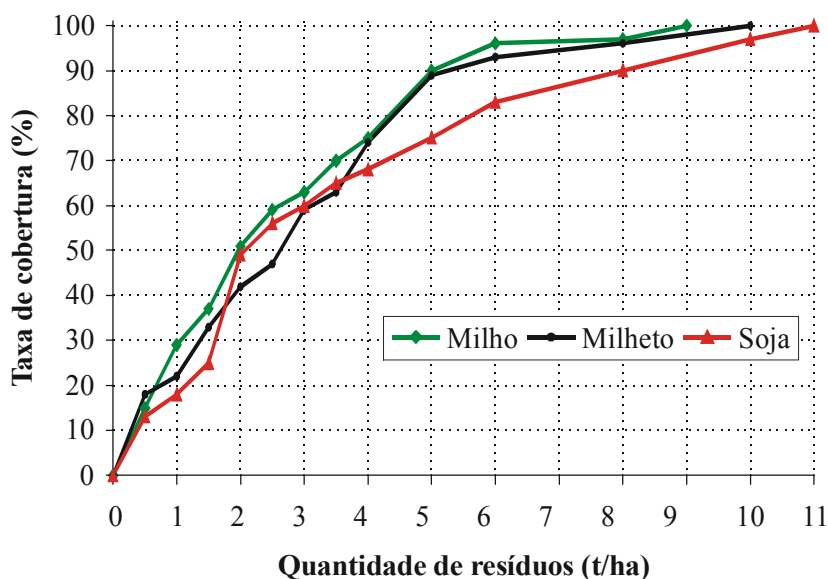


Figura 4.3. Taxa de cobertura do solo (%) em função da quantidade (t/ha) e tipo de palha.

Ou seja, para que o solo fique totalmente coberto, são necessárias 9 t/ha de resíduos de milho, enquanto para o milheto e a soja necessita-se de 10 t/ha e 11 t/ha, respectivamente.

Com o ajustamento exponencial dos dados observados (Figura 4.4), elaboraram-se modelos para estimativa da taxa de cobertura do solo em função da quantidade de resíduos, bem como os parâmetros α e os coeficientes de determinação R^2 cujos valores podem ser visualizados na Tabela 4.3.

Essas equações podem ser incorporadas aos modelos de balanço hídrico no sistema de plantio direto, que para ser implantado e conduzido de maneira eficiente, é indispensável a manutenção permanente de uma quantidade mínima de 2,0 t/ha de matéria seca (CRUZ et al., 2001).

Os mesmos autores afirmaram que a quantidade ideal seria a presença de 6,0 t/ha de matéria seca na superfície do solo. As culturas do milho e do milheto têm a vantagem de deixar uma grande quantidade (8 a 9 t/ha) de restos culturais e que, segundo o modelo gerado (Tabela 4.3), vai cobrir totalmente o solo e contribuir para reduzir as perdas de água e a erosão. Já a soja contribui com muito pouco, pois, raramente ultrapassa 2,5 t/ha de matéria seca (RUEDELL, 1998), cobrindo entre 50% e 55% da superfície do solo.

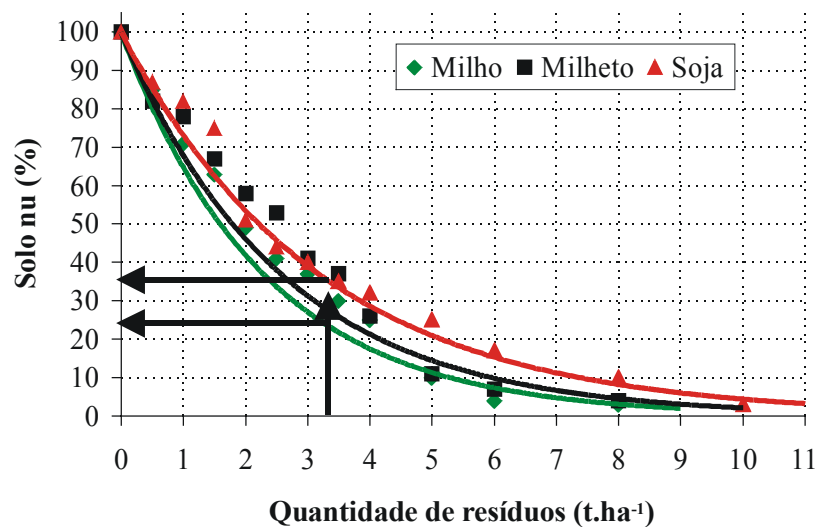


Figura 4.4. Ajuste exponencial entre taxa de cobertura (TC, %) e quantidade (t/ha) de palha de milho, milheto e soja.

Tabela 4.3. Valores de α , dos coeficientes de determinação R^2 e os respectivos modelos de estimativa da taxa de cobertura (TC, %) do solo em função da quantidade (t/ha) de resíduos de soja, milheto e milho.

Tratamento	Valor de α	Coeficiente R^2	Modelo
Soja	0,3121	0,97	$TC = 100(1 - e^{-0,3121*Q})$
Milheto	0,3859	0,94	$TC = 100(1 - e^{-0,3859*Q})$
Milho	0,4341	0,94	$TC = 100(1 - e^{-0,4341*Q})$

ARREOLA TOSTADO (1996) estudando a porcentagem de cobertura da palhada do milho encontrou $\alpha = 0,367$, enquanto GILLEY et al., (1986) encontraram $\alpha = 0,155$ para o mesmo tipo de palhada e, $\alpha = 0,243$ para os resíduos de soja.

4.1.3. Interceptação da radiação solar pela palhada

Os valores percentuais das radiações PAR e IR que atingiram o solo e que foram interceptadas pelas palhadas de milho, de milheto e de soja estão registrados no Anexo 4.2. A

quantidade que chegou ao solo foi calculada, tendo como base a diferença entre o percentual total (100%) e o que foi interceptado por elas.

Nas Figuras 4.5 e 4.6, mostram-se as respectivas relações entre os percentuais das radiações PAR e IR interceptadas e as quantidades de resíduos de milho, milheto e soja.

Analisando-se essas figuras, conclui-se que as palhadas apresentam comportamentos similares na interceptação das duas radiações, podendo-se afirmar que são necessárias, aproximadamente, 2 t/ha de palha de milho e de 4 t/ha de milheto ou de soja para que sejam interceptados 50% de quaisquer radiações. Observa-se, ainda, nas duas figuras uma ascendência mais rápida da curva que representa a palhada do milho. Isso significa que esse tipo de resíduo intercepta mais radiação do que os de milheto e de soja para a mesma quantidade de palhada.

Quando grande parte do solo está coberta, os três tipos de resíduos equiparam-se na interceptação das radiações. É importante destacar que mesmo sendo de 100% a taxa de cobertura do solo, os três tipos de resíduos ainda deixam passar um percentual das duas radiações.

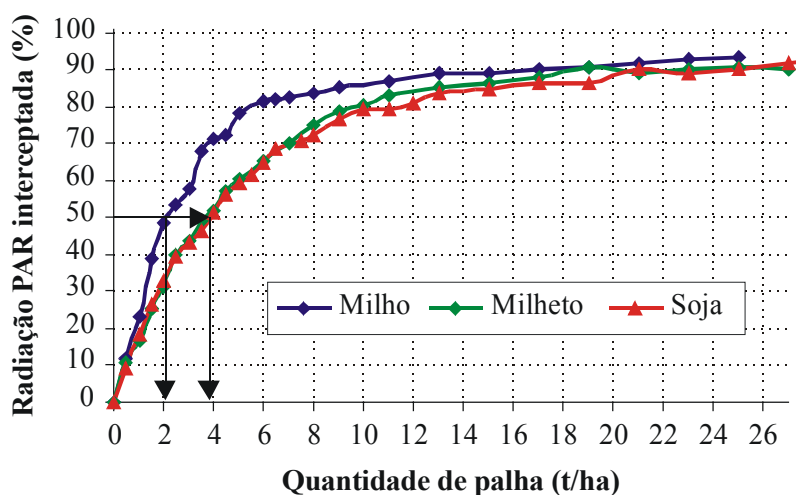


Figura 4.5. Porcentagem da radiação PAR interceptada em função da quantidade (t/ha) de resíduos de milho, milheto e soja.

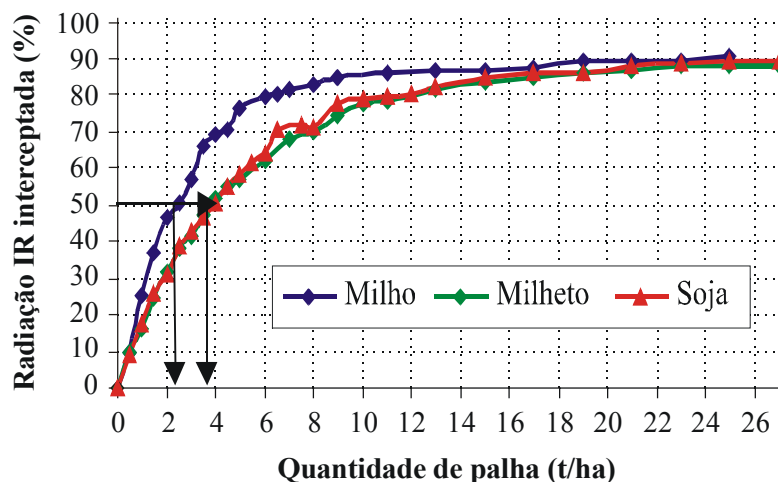


Figura 4.6. Porcentagem da radiação IR interceptada em função da quantidade (t/ha) de resíduos de milho, milheto e soja.

Com base nos dados contidos no Anexo 4.2, estabeleceu-se um ajuste, tipo exponencial, entre os valores percentuais das radiações PAR e IR que atingiram o solo e as quantidades de palha de milho, milheto e soja. O ajustamento foi do tipo exponencial e obedeceu à seguinte relação:

$$RS = RM * e^{-\beta Q} \quad (23)$$

sendo:

RS = radiação que chega ao solo, (W/ m²);

RM = radiação que chega à palhada, (W/ m²);

Q = quantidade de palhada (t/ha);

β = parâmetro dependente do tipo de palha e do tipo de radiação.

Nas Figuras 4.7 e 4.8, nota-se que houve bom ajuste entre os percentuais das radiações PAR e IR que chegam ao solo e os três tipos de resíduos. Os valores do parâmetro β que depende do tipo de palha e de radiação, os coeficiente de determinação R^2 e as equações que estimam a quantidade de radiação que chega ao solo em função da quantidade de resíduos são apresentados Tabela 4.4.

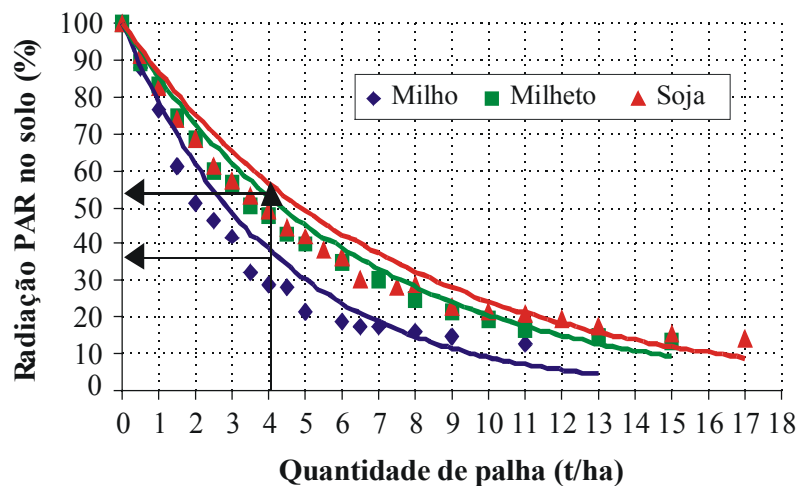


Figura 4.7. Ajuste da porcentagem da radiação PAR em função da quantidade (t/ha) de palha de milho, milheto e soja.

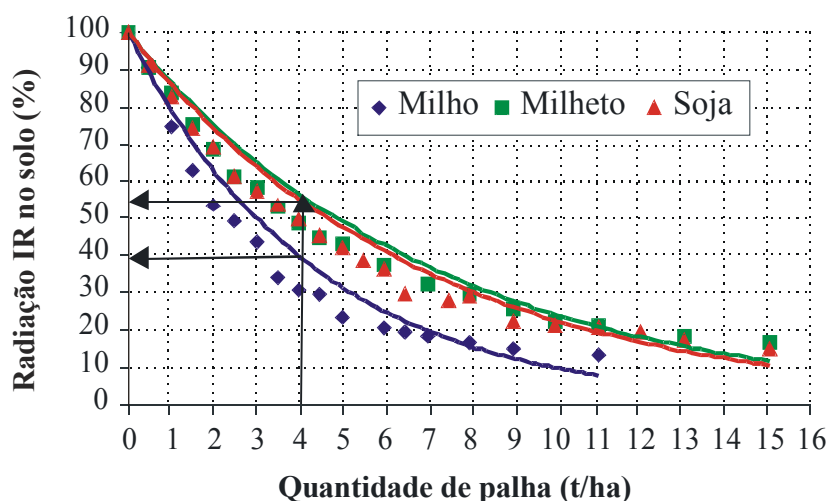


Figura 4.8. Ajuste da porcentagem da radiação IR em função da quantidade (t/ha) de palha de milho, milheto e soja.

Analisando-se as Figuras 4.7 e 4.8, observa-se que os três tipos de palhada apresentam comportamentos similares, porém, a do milho foi ligeiramente mais eficiente na interceptação das quantidades das radiações PAR e IR. De acordo com os valores simulados, como indicado nessas figuras, quando se aplicam 4 t/ha da palhada do milho, apenas 35% e 40% das radiações PAR e IR, respectivamente, chegam ao solo, enquanto para essa mesma quantidade de resíduos de milheto ou de soja, 55% das mesmas radiações conseguem atingir o solo.

Tabela 4.4. Valores de β , coeficientes de determinação R^2 e modelos que estimam a quantidade de radiação PAR e IR que chegam ao solo em função da quantidade de resíduo de milho, milheto e soja.

Tratamento	Radiação PAR		
	Valor de β	Coeficiente R^2	Modelo
Milho	0,2403	0,87	$RS = RM * e^{-0,2403 * Q}$
Milheto	0,1585	0,95	$RS = RM * e^{-0,1585 * Q}$
Soja	0,1435	0,92	$RS = RM * e^{-0,1435 * Q}$
	Radiação IR		
	Valor de β	Coeficiente R^2	Modelo
Milho	0,2303	0,89	$RS = RM * e^{-0,2303 * Q}$
Milheto	0,1418	0,94	$RS = RM * e^{-0,1418 * Q}$
Soja	0,1484	0,94	$RS = RM * e^{-0,1484 * Q}$

ARREOLA TOSTADO (1996), ao estudar a interceptação das radiações PAR e IR, afirmou que para se obter uma interceptação de 50% dessas radiações são necessárias 4 t/ha de resíduos de milho.

Os modelos encontrados para a estimativa da radiação que chega ao solo e os respectivos valores de β apresentados na Tabela 4.4, demonstram coerência com os encontrados por ARREOLA TOSTADO (1996) para a palhada do milho, $\beta=0,294$ para a radiação PAR e $\beta=0,256$ para a IR e constituem subsídios importantes para serem incorporados, posteriormente, nas funções usadas para calcular a evaporação da água do solo do modelo STICS.

4.1.4. Dinâmica da evaporação da água armazenada na palhada

A dinâmica de dessecação dos três tipos de palhada foi calculada repetindo-se quatro vezes cada quantidade considerada.

Os dados referentes à evapotranspiração potencial do dia de medição, ETPdia (mm/dia), da hora, ETPhora (mm/hora) e da palhada, ETPcaptada (mm/hora), bem como os valores da perda de umidade (%) em função do tempo e das diferentes quantidades das palhadas de milho, milheto e soja estão apresentados nos Anexos 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente.

Analisando-se as informações contidas nesses anexos, observa-se que os valores da evapotranspiração potencial são diferentes para os três tipos de material. Isso deve-se ao fato de que as medições foram feitas em dias diferentes.

Nas Figuras 4.9, 4.10 e 4.11, mostra-se a velocidade da perda de umidade das diferentes quantidades de resíduos de milho, milheto e soja conforme dados apresentados nos Anexos 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente.

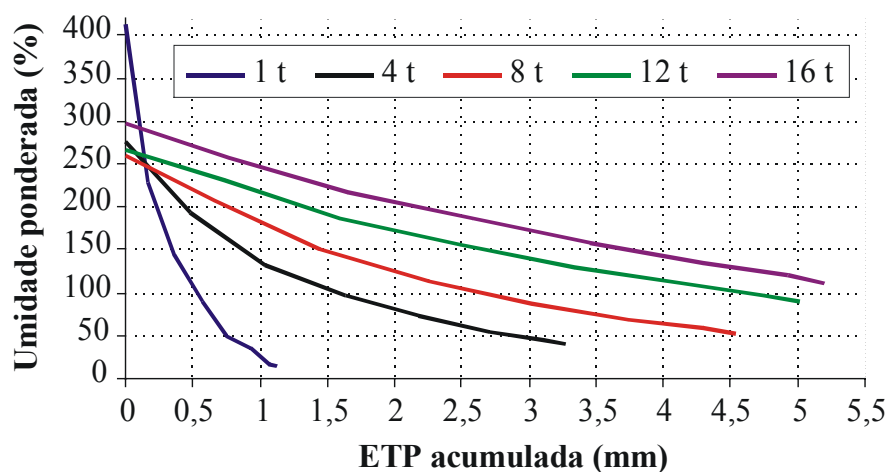


Figura 4.9. Velocidade de dessecação de diferentes quantidades (t/ha) de palhada de MILHO em relação à evapotranspiração potencial (ETP acumulada), do dia, captada pela palhada.

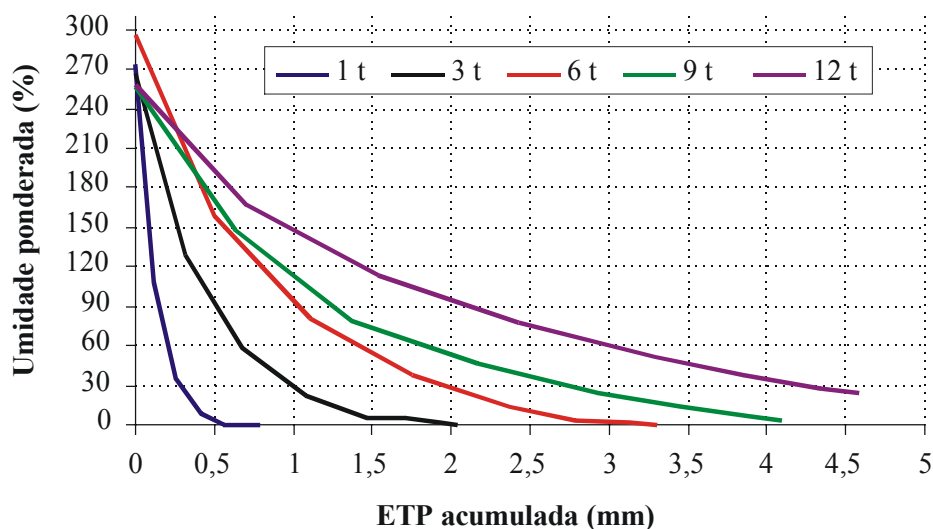


Figura 4.10. Velocidade de dessecação de diferentes quantidades (t/ha) da palhada de MILHETO em relação à evapotranspiração potencial (ETP acumulada), do dia, captada pela palhada.

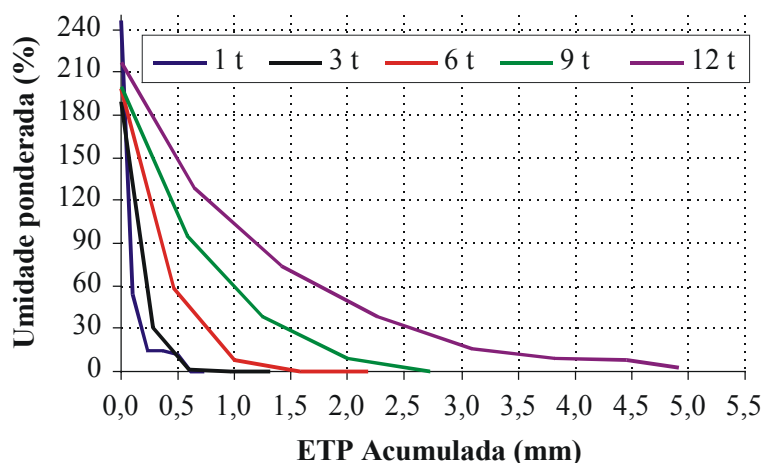


Figura 4.11. Velocidade de dessecação de diferentes quantidades (t/ha) da palhada de SOJA em relação à evapotranspiração potencial (ETP acumulada), do dia, captada pela palhada.

Analisando-se as Figuras 4.9, 4.10 e 4.11, observa-se que os dados obtidos das umidades ponderadas iniciais são diferentes para os três tipos de palhada, sendo a do milho a que mais variou, entre 255% e 412%, em seguida, a do milheto de 256% a 300% e, por último, a da soja cuja variação foi de 188% a 246%.

Observa-se, na Figura 4.9, que as quantidades de 1 t/ha, 4 t/ha e 8 t/ha de resíduos de milho com umidades ponderadas, no início do dia, de 412%, 255% e 260%, respectivamente,

perderam, nessa mesma ordem, quase que totalmente a água armazenada, alcançando 0%, 41% e 53% no final do dia. Já as quantidades de 12 t/ha e 16 t/ha de resíduos dessa mesma palhada que apresentaram umidade inicial de 266% e 300% chegaram, no final do dia, com 90% e 111% de umidade, respectivamente.

Considerando que 12 t/ha e 16 t/ha de palhada de milho podem interceptar e armazenar apenas 3,6 mm e 4,8 mm de água, por hectare, respectivamente, conclui-se que essas palhadas estão praticamente secas no final de um dia com evapotranspiração potencial elevada.

Nas Figuras 4.10 e 4.11, mostra-se que, para todas as quantidades de palhada de milheto e de soja, houve perda quase que total de umidade no final de um dia. Esses resultados estão coerentes com os encontrados por ARREOLA TOSTADO (1996) que trabalhou em uma região do México em condições de clima semi-árido e concluiu que quantidades diferentes de palhada do milho em decomposição também perderam totalmente sua umidade no final de um dia.

As lâminas de água evaporadas pelos resíduos de milho, milheto e soja em relação à quantidade de energia por eles interceptada também estão apresentadas nos Anexos 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente.

A Figura 4.12 representa a evaporação de água da palhada do milheto. Analisando-se essa figura percebe-se que, no início, a quantidade de água evaporada indica proporcionalidade direta com a evapotranspiração potencial propiciada pela quantidade de energia captada pela palhada.

Na seta em destaque, na Figura 4.12, vê-se a separação das duas fases da perda de água de 6 t/ha da palhada do milheto. Na primeira fase, pode-se considerar que na evaporação há proporcionalidade direta até uma evapotranspiração acumulada de 1,5 mm, a partir desse valor ela passa a ser menos intensa. Fato esse que se repete para as outras quantidades de palhada.

Dessa observação, pode-se afirmar que, nessa primeira etapa, a água armazenada pela palhada evapora facilmente, tal qual um solo coberto com grama e com umidade na capacidade de campo, ou seja, nessa fase, a evaporação é determinada pela demanda evapotranspirativa.

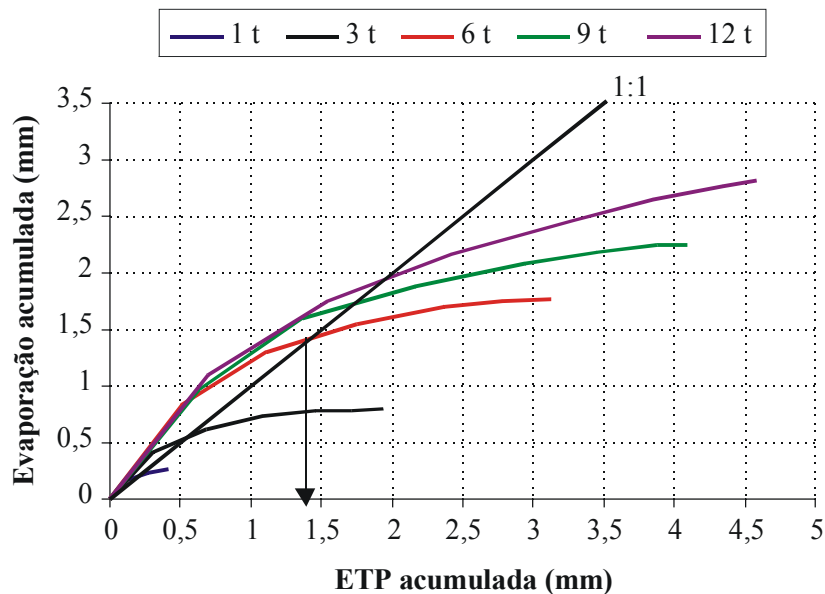


Figura 4.12. Evaporação acumulada (mm) da palhada do milho em relação à quantidade de energia interceptada (ETP acumulada - mm).

Em seguida, fica evidente que a evaporação acontece em menor intensidade quando comparada com a evapotranspiração acumulada. Isso se deve ao fato, possivelmente, de que a partir desse momento, forças de resistência passam a atuar na transferência da água do interior para a superfície dos resíduos.

Na Figura 4.13, representa-se a evaporação da água contida em diferentes quantidades de palhada do milho em relação ao conteúdo de água inicial e à quantidade de energia interceptada.

Comparando-se as Figuras 4.12 e 4.13, pode-se concluir que a fase de proporcionalidade direta entre a evaporação da água e a ETP acumulada acontece até a evaporação entre 70% e 87% de toda a água contida nas diferentes quantidades de palhada do milho.

As setas em destaque nessas duas figuras mostram o exemplo para 6 t/ha de palhada. Para essa quantidade de palhada, a fase de proporcionalidade direta vai até quando a ETP acumulada atinge o valor de 1,5 mm (Figura 4.12). Para esse mesmo valor, na Figura 4.13, observa-se que mais de 80% da água contida na palhada já evaporou.

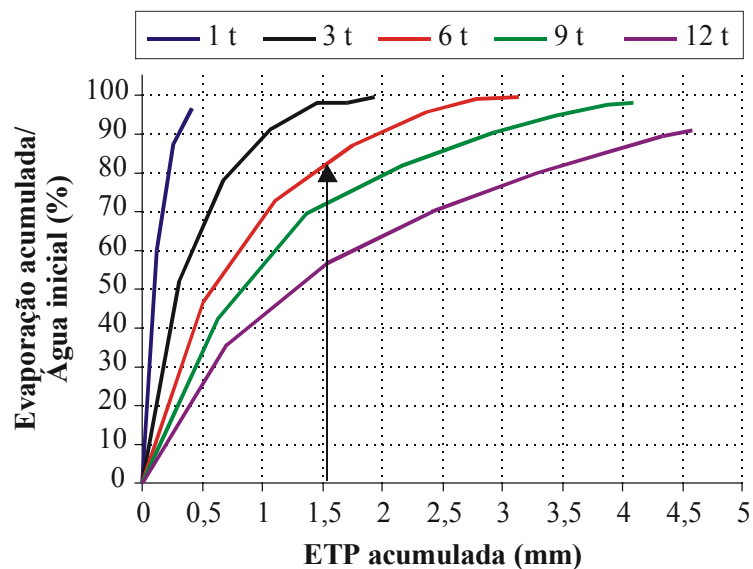


Figura 4.13. Evaporação acumulada (%) da água contida em diferentes quantidades (t/ha) de palhada do milho em relação ao seu conteúdo de água inicial e à sua quantidade de energia captada (ETP acumulada - mm).

A evaporação acumulada (mm) da palhada da soja em relação à quantidade de energia interceptada (ETP acumulada - mm) pode ser visualizada na Figura 4.14.

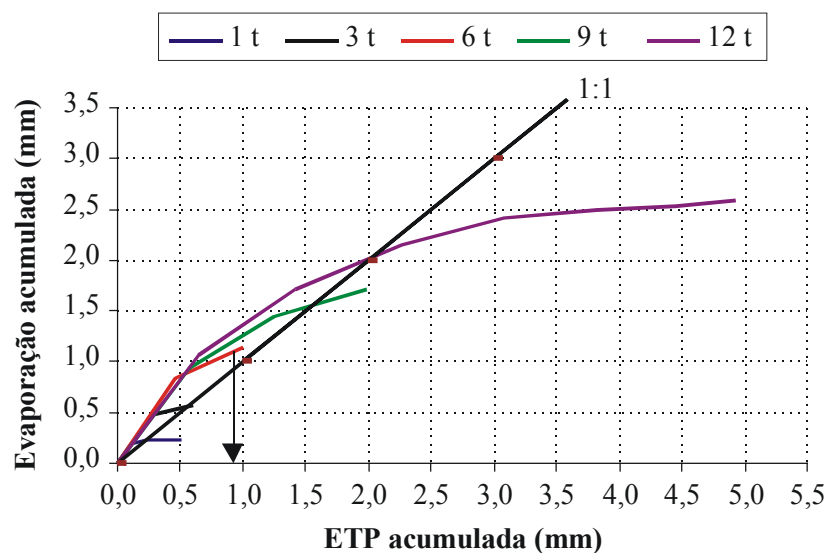


Figura 4.14. Evaporação acumulada (mm) da palhada da soja em relação à quantidade de energia interceptada (ETP acumulada - mm).

Analisando-se a figura 4.14, observa-se que a palhada da soja apresenta comportamento similar à do milho (Figura 4.12) no que diz respeito ao processo de perda da água para a atmosfera, ou seja, no início, a quantidade de água evaporada apresenta uma proporcionalidade direta com a evapotranspiração potencial propiciada pela quantidade de energia captada pela palhada.

A evaporação da água contida em diferentes quantidades de palhada da soja em relação ao conteúdo de água inicial e à quantidade de energia interceptada pode ser visualizada na Figura 4.15.

Comparando-se as Figuras 4.14 e 4.15, conclui-se que a fase de proporcionalidade direta entre a evaporação da água e a ETP acumulada acontece até a evaporação entre 82% e 100% de toda a água contida nas diferentes quantidades de palhada da soja.

Analisando-se o exemplo destacado pelas setas nessas duas figuras, observa-se que para 6 t/ha dessa palhada, a fase de proporcionalidade direta vai até quando a ETP acumulada atinge o valor em torno de 1,0 mm (Figura 4.14). Para esse mesmo valor, na Figura 4.15, observa-se que 96% da água contida na palhada já evaporou. Isso mostra que a palhada da soja, comparada com a do milho, além de armazenar menos água, perde-a com mais facilidade.

Na Figura 4.16, representa-se a evaporação acumulada (mm) da palhada do milho em relação à quantidade de energia interceptada (ETP acumulada - mm). Analisando-se essa figura, observa-se que a palhada do milho apresenta comportamento diferente das palhadas de milho e de soja (Figuras 4.12 e 4.14, respectivamente) no que diz respeito ao processo de perda da água para a atmosfera.

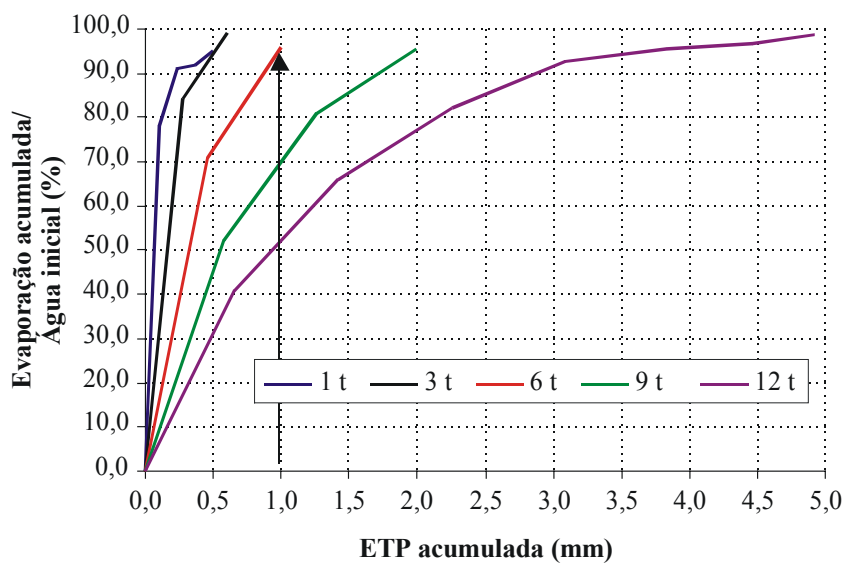


Figura 4.15. Evaporação acumulada (%) da água contida em diferentes quantidades (t/ha) de palhada da soja em relação ao seu conteúdo de água inicial e à sua quantidade de energia captada (ETP acumulada - mm).

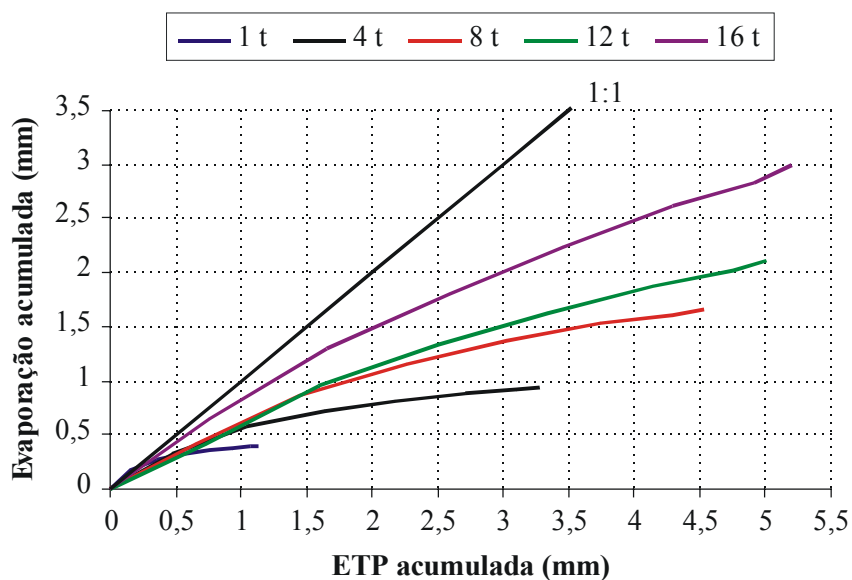


Figura 4.16. Evaporação acumulada (mm) da palhada do milho em relação à quantidade de energia interceptada (ETP acumulada - mm).

Na figura 4.16., observa-se que a água armazenada na palhada do milho evapora num ritmo mais lento do que a demanda evaporativa. Isso se deve ao fato, possivelmente, de que esse tipo de palhada armazena água de forma diferente do que os dois tipos anteriores, devido

à constituição do seu material, principalmente, a parte interna do colmo, que funciona como verdadeiro reservatório, e com isso a ação das forças de resistência na transferência da água do interior para a superfície dos resíduos é mais intensa.

A evaporação da água contida em diferentes quantidades de palhada do milho em relação ao conteúdo de água inicial e à ETP acumulada (mm), proporcionada pela quantidade de energia interceptada pela palhada, pode ser visualizada na Figura 4.17. Observa-se, nessa figura, que para uma ETP acumulada de 4,5 mm a evaporação de água para as menores quantidades de palhada (1 t/ha, 4 t/ha e 8 t/ha) varia entre 80% e 100%. Já para as quantidades mais elevadas (12 t/ha e 16 t/ha), aconteceu uma evaporação próxima dos 60% quando a ETP acumulada foi próxima de 5,0 mm. Considerando a pequena quantidade de água armazenada por essa palhada, pode-se afirmar que, ao final de um dia, a palhada do milho perde, no mínimo, 70% da água por ela retida.

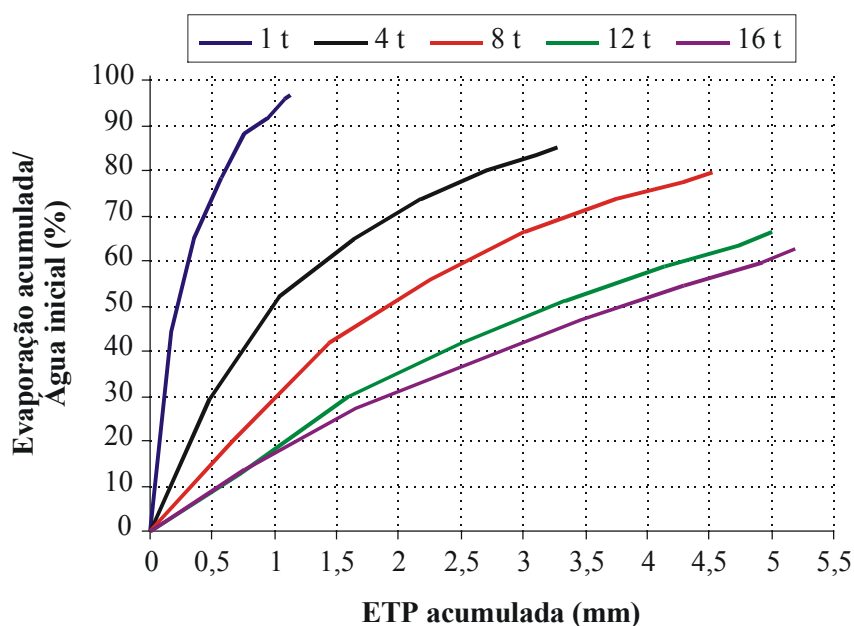


Figura 4.17. Evaporação acumulada (%) da água contida em diferentes quantidades (t/ha) de palhada do milho em relação ao seu conteúdo de água inicial e à sua quantidade de energia captada (ETP acumulada - mm).

De acordo com os resultados apresentados, pode-se afirmar que a evaporação da água das palhadas de milho, milheto e soja é proporcional à ETP proporcionada pela quantidade de energia recebida pelas palhadas e pode ser expressa pela seguinte função exponencial:

$$ETP_{PALHADA} = ETP * (1 - e^{-\beta * Q}) \quad (23)$$

onde:

$ETP_{PALHADA}$ = evaporação de água da palhada, mm/dia;

ETP = evapotranspiração potencial, mm/dia;

β = parâmetro de ajuste para a radiação PAR (Tabela 4.5);

Q = quantidade de palha, t/ha.

Na Tabela 4.5, apresentam-se as equações de estimativa da perda de umidade das palhadas de milho, milheto e soja. É importante ressaltar que neste estudo considerou-se o solo coberto apenas pela palhada, sem contabilizar o efeito de uma cultura que pode interferir no balanço de energia.

Com a presença de uma cultura, a palhada recebe menos energia e, conseqüentemente, a evaporação será mais lenta. Não obstante o método superestimar a evaporação de água da palhada, é um importante subsídio na modelagem dos fluxos hídricos no sistema de plantio direto.

Tabela 4.5. Coeficientes β de ajustes de interceptação da radiação PAR e equações de estimativa da evaporação da água armazenada nas palhadas de milho, milheto e soja.

Tratamento	Valor de β	Modelo
Milho	0,2403	$ETP_{PALHADA} = ETP * (1 - e^{-0,2403 * Q})$
Milheto	0,1585	$ETP_{PALHADA} = ETP * (1 - e^{-0,1585 * Q})$
Soja	0,1435	$ETP_{PALHADA} = ETP * (1 - e^{-0,1435 * Q})$

Os dados dos Anexos 4.6, 4.7 e 4.8 também foram obtidos do experimento que estudou a dinâmica de dessecação das palhadas de milho, milheto e soja. Nesses anexos,

podem-se observar os valores do conteúdo de água inicial para cada hora de observação (mm), da evapotranspiração potencial da hora (mm) e da quantidade de água evaporada (mm) para as diversas quantidades de palhada.

Com os dados dos anexos 4.6, 4.7 e 4.8 procedeu-se a uma análise estatística para ajustar os dados observados a uma regressão linear múltipla do tipo:

$$Y_i = b_0 + b_{1i-1} * A_i + b_{2i} * ETP \quad (24)$$

onde:

Y_i = Evaporação de água da palhada no tempo i (mm);

A_i = Água Inicial contida na palhada no tempo $i-1$ (mm);

ETP = Evapotranspiração Potencial (mm/h);

b_0, b_1 e b_2 = Coeficientes de ajuste da regressão linear múltipla.

Para isso, correlacionou-se a evaporação de água da palhada com a quantidade de água inicial e com a evapotranspiração potencial, ou seja, a quantidade de água evaporada estimada no tempo i (0,19 mm) é função da quantidade de água existente na palhada no tempo $i-1$ (0,25 mm) e da evapotranspiração potencial do tempo i (0,79 mm), como se pode observar no Anexo 3.8.

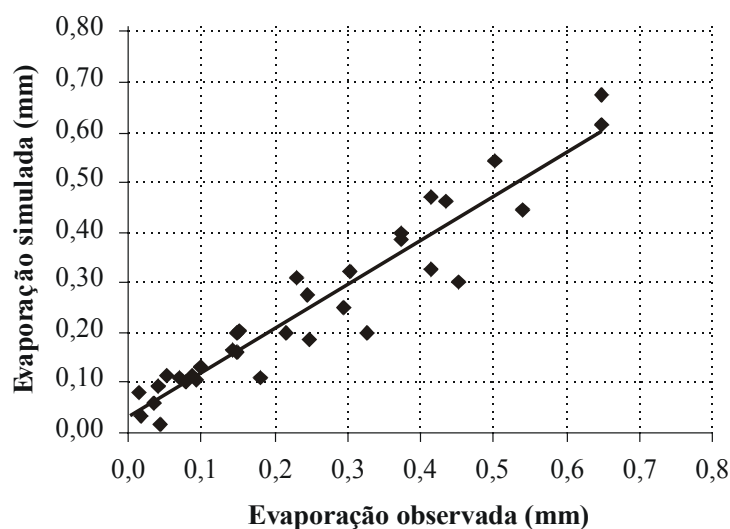


Figura 4.18. Relação entre a evaporação observada (mm) e a simulada (mm) para diversas quantidades de palhada de milho.

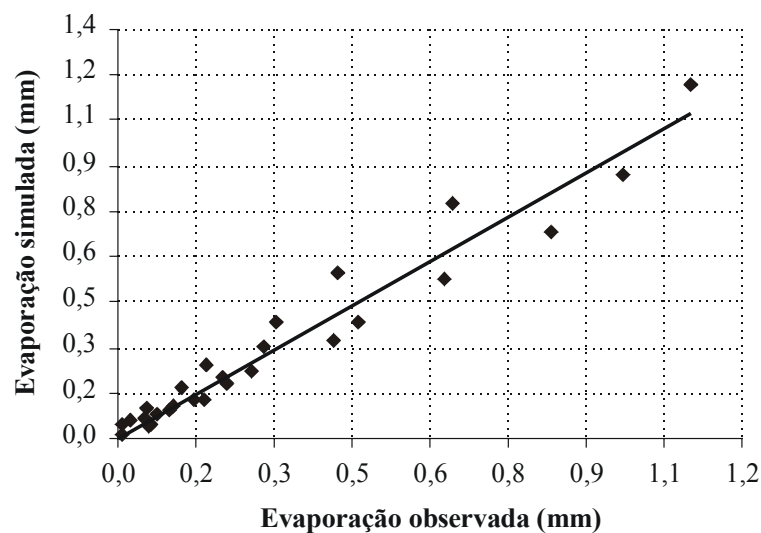


Figura 4.19. Relação entre a evaporação observada (mm) e a simulada (mm) para diversas quantidades de palhada de milho.

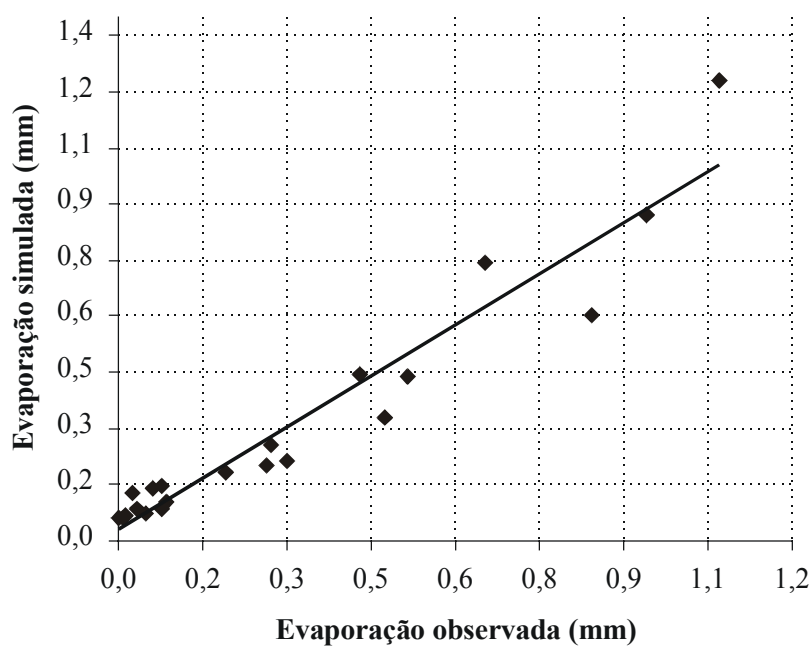


Figura 4.20. Relação entre a evaporação observada (mm) e a simulada (mm) para diversas quantidades de palhada de soja.

Nas Figuras 4.18, 4.19 e 4.20, mostra-se a relação entre a evaporação observada e a simulada para as palhadas de milho, milheto e soja, respectivamente.

Analisando-se essas figuras, bem como os resultados da análise de ajuste da regressão linear múltipla, observa-se que a quantidade de água evaporada correlaciona-se

significativamente com a quantidade inicial de água armazenada pela palhada e com a evapotranspiração potencial. Os parâmetros de ajuste R^2 e os coeficientes β_0 , β_1 e β_2 , além dos modelos de estimativa de evaporação de água para os três tipos de palhada são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Valores dos coeficientes e dos parâmetros de ajuste e modelos de estimativa de evaporação de água para diferentes quantidades de palhada de milho, milheto e soja.

Tratamento	Coeficientes			R^2	Pr (%)	Modelo
	B_0	b_1	b_2			
Milho	-0,103	0,129	0,207	0,91	0,01	$Y = -0,103 + 0,129 * Ai + 0,207 * ETP$
Milheto	-0,047	0,367	0,089	0,95	0,01	$Y = -0,047 + 0,367 * Ai + 0,089 * ETP$
Soja	0,161	0,442	-0,106	0,92	0,01	$Y = -0,161 + 0,442 * Ai + 0,106 * ETP$

As equações apresentadas na Tabela 4.6 representam subsídios importantes que podem ser introduzidos em modelos de simulação de balanço hídrico para contabilizar as perdas de água dos resíduos que permanecem no solo no sistema de plantio direto.

4.1.5. Influência da palhada no escoamento superficial

As medições do escoamento superficial nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto permitiram evidenciar as diferenças entre as perdas de água da chuva ocasionadas pelos dois sistemas.

Quando se analisam os dados do Anexo 4.9, verificam-se as lâminas de água escoada para cada evento pluviométrico.

Observando-se os dados da Tabela 4.7, pode-se constatar a eficiência dos resíduos no controle do escoamento superficial em que, do total de 843,5 mm de água precipitada, durante o período experimental, apenas 45,5 mm foram perdidos pelo escoamento superficial no sistema de plantio direto (5,4 % do total), enquanto no sistema convencional (solo nu e revolvido) as perdas de água foram de 222,5 mm, o que corresponde a 26,4% do total de água precipitado.

Tabela 4.7. Totais de Precipitação (P, mm) e de escoamento superficial (R, mm) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC), no ano agrícola de 2001/2002, na UFG.

Lâmina total precipitada	Lâmina total escoada			
	Plantio Direto		Plantio Convencional	
	mm	%	mm	%
843,5	45,5	5,4	222,5	26,4

Utilizando-se os dados do Anexo 4.9, procedeu-se a uma análise estatística para ajustar os dados observados a uma regressão linear simples. Com os resultados dos ajustes, estabeleceu-se uma relação empírica que estimou o escoamento superficial (R, mm) em função da quantidade de água precipitada (P, mm) como se mostra a seguir:

$$R = \alpha(P - P_{lim}) \quad (25)$$

onde, P_{lim} e α são os parâmetros empíricos do ajuste que significam, respectivamente, o valor limite da precipitação abaixo do qual não acontece escoamento superficial e a proporção de água escoada quando esse limite é ultrapassado.

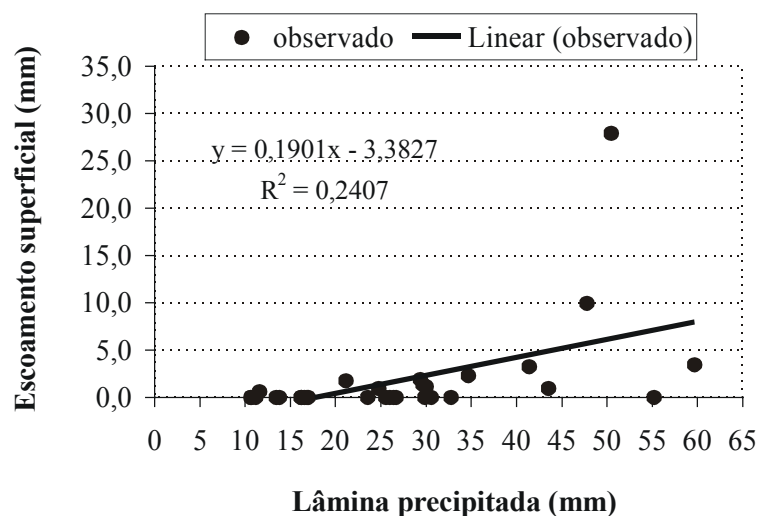


Figura 4.21. Coeficiente de determinação (R^2) e modelo de ajuste linear (y) entre lâminas precipitadas (mm) e lâminas escoadas (mm) observadas no sistema de plantio direto.

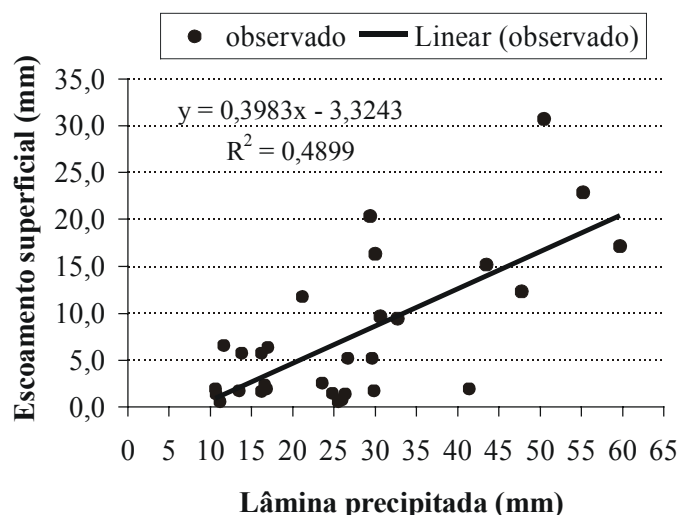


Figura 4.22. Coeficiente de determinação (R^2) e modelo de ajuste linear (y) entre lâminas escoadas (mm) observadas no sistema convencional.

Os dados utilizados e os ajustes estatísticos estabelecidos para determinar a chuva limite (L, mm) e a proporção do escoamento superficial nos sistemas convencional e no plantio direto são apresentados nas Figuras 4.21 e 4.22, respectivamente.

Os resultados mostram que existem diferenças entre os valores, acima dos quais se inicia o escoamento superficial, bem como, entre os coeficientes que determinam a proporção da água escoada quando esse limite é ultrapassado nos dois sistemas estudados de manejo do solo (Tabela 4.8).

Tabela 4.8. Valores da chuva limite (P_{lim} , mm), dos coeficientes de escoamento superficial (α) e modelos de estimativa do escoamento superficial para os sistemas de manejo convencional (PC) e plantio direto (PD).

Tratamento	Coeficientes		Modelo
	α	P_{lim}	$R = \alpha(P - P_{lim})$
PC	0,40	10	$R = 0,40(P - 10)$
PD	0,20	20	$R = 0,19(P - 20)$

R = escoamento superficial (mm).

A modelagem do escoamento superficial é muito complexa, pois, são muitas as variáveis que podem modificá-lo, tais como: umidade e tipo de solo, quantidade e qualidade

da cobertura do solo, comprimento e declividade da rampa, intensidade da chuva, fase do ciclo da planta etc.

Nesse estudo, utilizou-se uma abordagem simples para quantificá-lo. A não-consideração desses fatores explica, em grande parte, os erros apresentados nos ajustes feitos para os dois sistemas estudados.

Analizando-se as Figuras 4.21 e 4.22, verifica-se que os erros entre os valores observados e simulados para eventos pluviométricos isolados são elevados, mas, ao longo do ciclo, eles se compensam. Apesar de simples, esses modelos empíricos ilustram bem a diferença de comportamento da água escoada nos tratamentos, porém, recomenda-se que eles sejam validados para condições diferentes das que foram estudadas.

4.1.6. Dinâmica de decomposição dos resíduos de milho

Os valores percentuais de resíduos do milho decompostos e que permaneceram no solo nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC), avaliados durante o ano agrícola 2001/2002, estão apresentados na Tabela 4.9. Analisando-se esses dados, observa-se que as taxas de decomposição foram ligeiramente superiores no plantio convencional, ou seja, no tratamento em que houve incorporação dos resíduos. Os índices de decomposição mais elevados nos tratamentos com incorporação podem ser atribuídos ao fato de que a maior superfície de contato com o solo favorece a ação biológica dos microrganismos.

Tabela 4.9. Avaliação do percentual de resíduos de milho remanescentes no solo e do decomposto nos sistemas de plantio direto (PD) plantio convencional (PC) em função das diferentes datas de coleta.

Avaliação	Data de coleta	PD	PC
		Decomposição (%)	Decomposição (%)
1	16/10/2001	37,17	34,83
2	20/12/2001	66,95	67,49
3	20/01/2002	71,31	79,38
4	21/02/2002	75,78	83,81
5	20/03/2002	79,78	87,73

Com base nos dados apresentados na Tabela 4.9, estabeleceu-se uma relação entre a taxa de decomposição dos resíduos de milho (TD) e o tempo (T), para os sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC), expressa pela seguinte função exponencial:

$$TD = 100(1 - e^{-\alpha \cdot t}) \quad (26)$$

Onde:

TD = taxa de decomposição (%);

t = tempo, em dias;

α = parâmetro de ajuste.

Na Figura 4.23, evidenciam-se as relações exponenciais ajustadas entre as taxas de resíduos de milho remanescentes no solo em função do tempo (dias) para os sistemas de plantio direto e convencional.

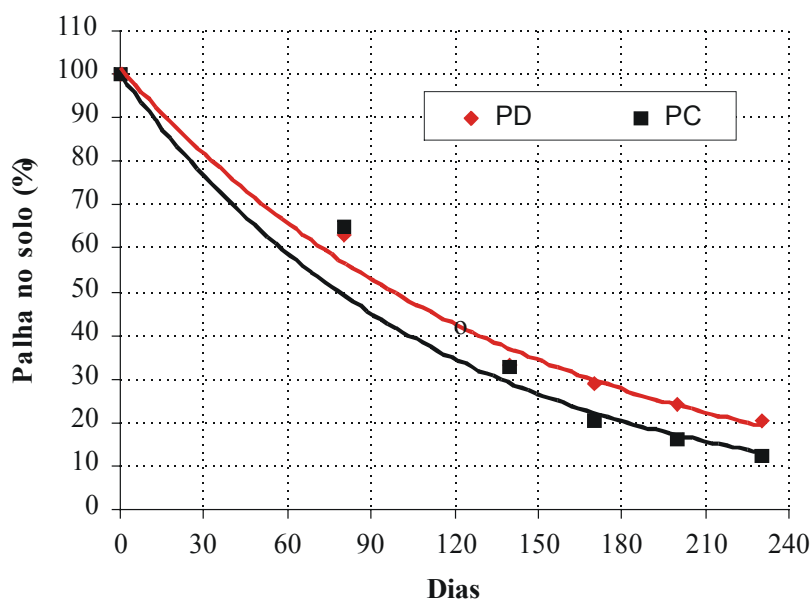


Figura 4.23. Percentual de palha de milho remanescente no solo em função do tempo T (dias) nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto (PD).

Analisando-se a Figura 4.23, constatou-se que depois de 230 dias, 90% e 80% dos resíduos de milho tinham sido decompostos nos sistemas convencional e plantio direto, respectivamente. Verificou-se também que houve ajuste entre os dados observados e os

simulados das taxas de resíduos remanescentes no solo em função do tempo. Com o ajuste exponencial desses dados, elaboraram-se modelos para estimativa da taxa de resíduos remanescentes no solo (TR) e da taxa de decomposição (TD), bem como dos valores do parâmetro de ajuste (α) e do coeficiente de determinação (R^2) (Tabela 4.10).

Em função da consistência entre o modelo elaborado e os dados observados, essas equações poderão servir como uma ferramenta para simular a decomposição dos resíduos de milho ao longo do tempo.

Tabela 4.10. Valores de α , coeficientes de determinação R^2 e modelos de estimativa da taxa de resíduos remanescentes (TR) e taxa de decomposição (TD) dos resíduos de milho em função do tempo (t, dias) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC).

	α	R^2	$TR = 100 * e^{\alpha * t}$	$TD = 100 * e^{\alpha * t}$
Plantio direto (PD)				
Milho	-0,0071	0,99	$TR = 100 * e^{-0.0071 * (t)}$	$TD = 100 * (1 - e^{-0.0071 * (t)})$
Plantio convencional (PC)				
Milho	-0,0088	0,97	$TR = 100 * e^{-0.0088 * (t)}$	$TD = 100 * (1 - e^{-0.0088 * (t)})$

4.2. Aquisição dos dados para a calibração do modelo STICS: comparação dos sistemas plantio direto e convencional

4.2.1. Variáveis climáticas

4.2.1.1. Precipitação

No ano do experimento, as chuvas começaram no mês de outubro/01 quando foram registrados 80,3 mm nos primeiros 20 dias e, em seguida, houve um veranico de 15 dias. O fortalecimento da estação chuvosa aconteceu no início do mês de novembro/01, data na qual a umidade do solo favoreceu o plantio.

A partir dessa data, as chuvas foram regulares e bem distribuídas (Figura 4.24) caracterizando uma boa oferta de água para o desenvolvimento da cultura do milho, principalmente, no mês de janeiro, época de florescimento e da formação de grãos da cultura.

Nos meses de março e abril, a oferta pluviométrica diminuiu sensivelmente dificultando o desenvolvimento do milho, que foi plantado no dia 28/03/2002 e teve, à sua disposição, apenas 60 mm de chuva distribuídos de forma irregular, inclusive, com ocorrência de períodos de seca (veranicos) de mais de 15 dias. Isso ocasionou elevado estresse hídrico ao milho que teve baixa produção de biomassa.

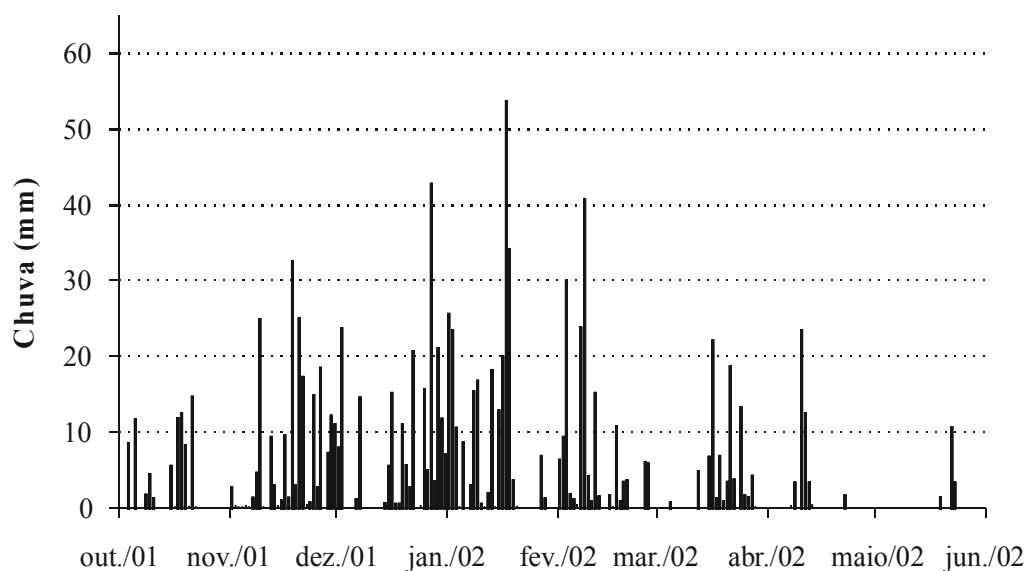


Figura 4.24. Distribuição da chuva diária (mm) durante a fase experimental na Embrapa Cerrados.

4.2.1.2. Temperaturas mínima e máxima do ar

As médias das temperaturas máxima e mínima na área de estudo foram de 26,4 °C e 15,9 °C, respectivamente. Analisando-se a Figura 4.25, observa-se que, durante o período em que foi conduzido o experimento, a temperatura máxima variou entre 20,6 °C e 30 °C, enquanto a mínima variou entre 20 °C e 11 °C. Observa-se também que, a partir do mês de

abril, a amplitude térmica foi mais elevada em relação ao período anterior devido à queda das temperaturas mínimas nessa época do ano na região.

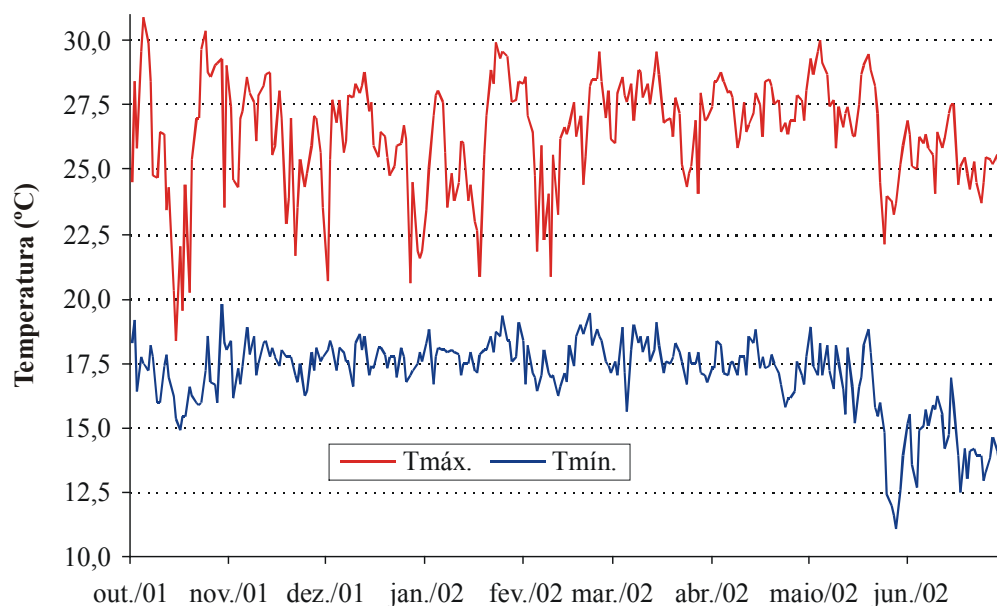


Figura 4.25. Variação das temperaturas máxima (Tmáx.) e mínima (Tmín.) (°C) diárias durante a fase experimental na Embrapa Cerrados.

4.2.1.3. Radiação global

Na Figura 4.26, observa-se a radiação global ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) medida durante a condução do experimento. Os valores observados variaram entre $151 \text{ Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $755 \text{ Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, ambas registradas no mês de dezembro. O valor mais baixo registrado em dezembro deveu-se, basicamente, à elevada nebulosidade na região nessa época do ano. Observa-se, na Figura 4.26, que a partir do mês de abril a quantidade de energia recebida na área de estudo diminuiu sensivelmente, quando se registraram valores entre $300 \text{ Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $550 \text{ Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e, ao mesmo tempo, uma amplitude menor da radiação global na região por causa do baixo índice de nebulosidade nessa época do ano.

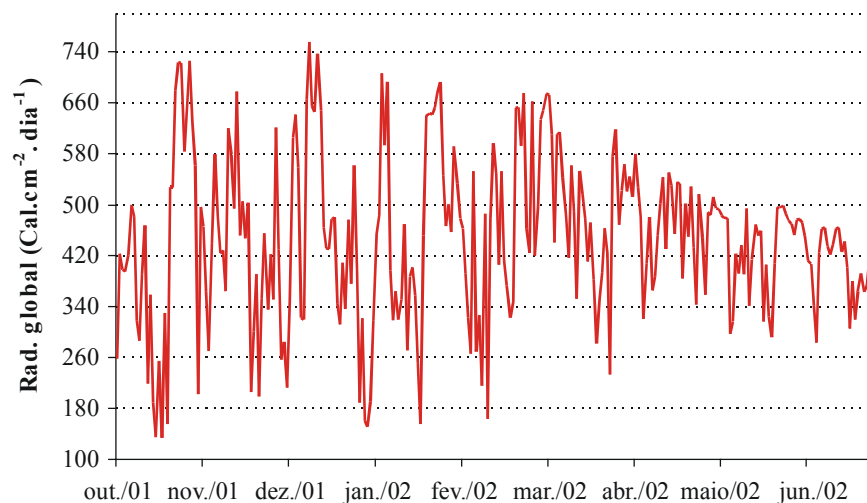


Figura 4.26. Comportamento da radiação global diária ($\text{Cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) durante a fase experimental na Embrapa Cerrados.

4.2.1.4. Evapotranspiração potencial

As variações diárias dos valores estimados da ETP_{Pen} podem ser vistas na Figura 4.27. Analisando-se essa Figura, observa-se que durante a fase inicial do experimento (novembro a março) a ETP_{Pen} apresentou uma oscilação elevada, com valores entre $1,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ e $7,6 \text{ mm.dia}^{-1}$. Na segunda fase, ou seja, a partir do mês de março, a amplitude verificada foi inferior, com valores estimados entre $2,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ e 6 mm.dia^{-1} .

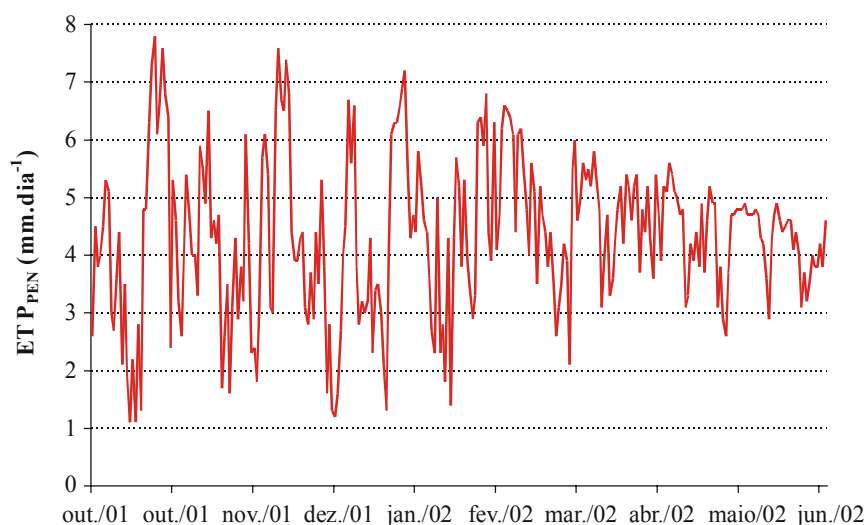


Figura 4.27. Variação diária da evapotranspiração potencial calculada pelo método de Penman - ETP_{Pen} (mm.dia^{-1}) - durante o período experimental na Embrapa Cerrados.

4.2.2. Caracterização física do solo

Os resultados percentuais das análises granulométricas dos solos das subparcelas cultivadas nos sistemas de plantio direto (PD1, PD2 e PD3) e convencional (PC1, PC2 e PC3) estão apresentados no Anexo 4.10. Analisando-se os resultados, verifica-se que os solos não apresentam variabilidade significativa nas classes texturais ao longo do perfil (em média 69% de argila, 9% de silte, 3% de areia grossa e 20% de areia fina) e, segundo o diagrama triangular das classes texturais esses solos classificam-se como muito argilosos.

A densidade do solo foi determinada com base nas amostras indeformadas coletadas até 1,20 m de profundidade. No Anexo 4.11, estão apresentados os dados sobre a densidade do solo DAP (g.cm^{-3}) nas diversas profundidades (cm). Com base nessa análise (Figura 4.28), constata-se a baixa variabilidade da densidade aparente ao longo do perfil dos dois sistemas de manejo do solo, 0,99 g.cm^{-3} a 0,86 g.cm^{-3} . Esses dados são considerados normais para os solos da região quando eles não apresentam camadas adensadas.

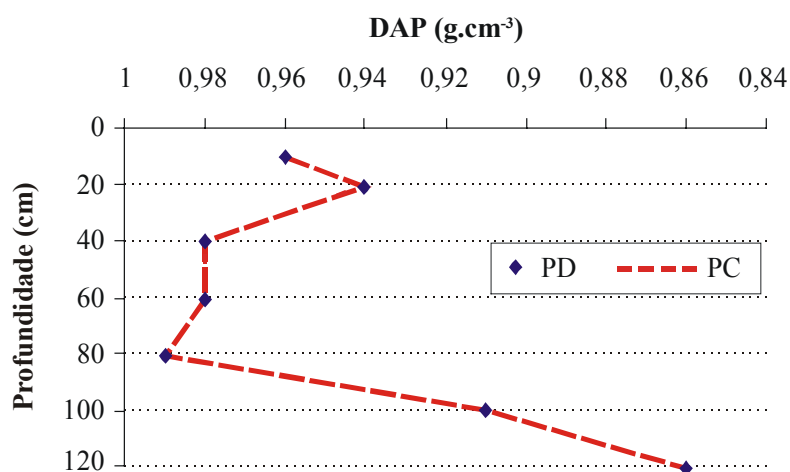


Figura 4.28. Variação da densidade aparente DAP (g.cm^{-3}) nas diversas profundidades (cm) dos solos das parcelas cultivadas nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC).

4.2.3. Caracterização hidrodinâmica

No modelo STICS, considera-se o solo como uma sucessão de camadas horizontais. Suas características hídricas, tais como, conteúdo de água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente e a densidade do solo são assumidas como constantes.

O Anexo 4.12 apresenta as principais características hídricas dos solos das parcelas cultivadas sob os sistemas de manejo convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3) que serviram para a confecção dos arquivos de solos necessários para alimentar o modelo.

4.2.4. Dados da planta

4.2.4.1. Área Foliar

No modelo STICS, o crescimento da planta é guiado pelo balanço de carbono, ou seja, a radiação solar é interceptada pelo dossel, em seguida, é transformada em biomassa aérea e, na fase final do ciclo, em produção de grãos. Portanto, a área foliar desempenha função importante na estrutura do modelo. No Anexo 4.13, apresenta-se o índice de área foliar (IAF) do milho medido em diferentes épocas do ciclo nos sistemas convencional (PC1, PC2 e PC2) e plantio direto (PD1, PD2 e PD3). Analisando-se esses dados, observa-se que o IAF máximo do milho foi alcançado no dia 11/01/2002 em todas as subparcelas cujos valores variaram entre 3,19 e 3,53.

A comparação entre as médias do IAF do milho pelo Teste *t* (student) revelou que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, entre os dois tratamentos. Isso pode ser comprovado pela análise da Figura 4.29 que representa a média do índice de área foliar (IAF) da cultura do milho medido em diferentes épocas do ciclo nos sistemas convencional (PC) e plantio direto (PD).

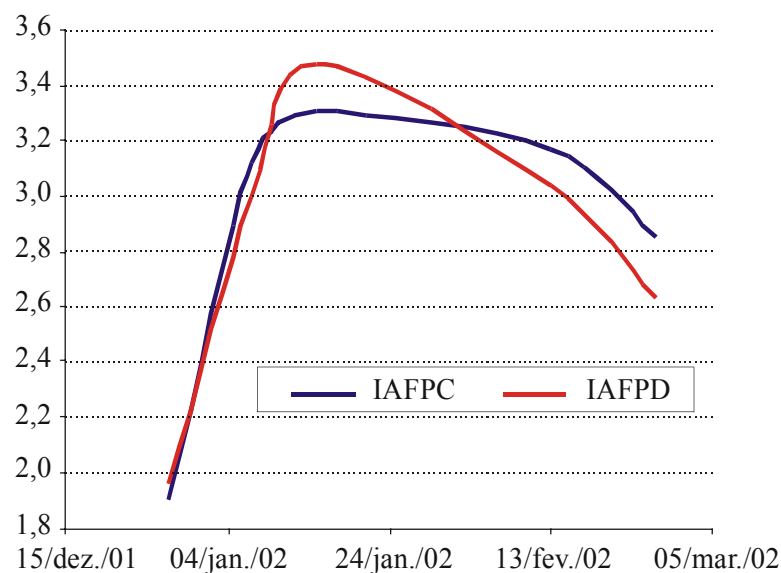


Figura 4.29. Média do índice de área foliar (IAF) da cultura do milho medido em diferentes épocas do ciclo nos sistemas convencional (PC) e plantio direto (PD)

A Tabela 4.11 mostra o índice de área foliar (IAF) do milho medido em diferentes épocas do ciclo no sistema plantio direto (PD1, PD2 e PD3). Analisando-se essa tabela, observa-se que o IAF máximo do milho foi alcançado no dia 13/06/2002, com valores entre 2,03 no tratamento PD1 e 2,21 no PD3.

Tabela 4.11. Índice de área foliar (IAF) da cultura do milho medida pelo LI-2000 em diferentes épocas do ciclo da cultura nos sistemas de manejo convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).

Tratamento	Data	LAI
PD1	27/05/02	1,88
PD1	31/05/02	1,98
PD1	13/06/02	2,03
PD1	28/06/02	1,48
PD2	27/05/02	2,01
PD2	31/05/02	2,15
PD2	13/06/02	2,16
PD2	28/06/02	1,70
PD3	27/05/02	2,15
PD3	31/05/02	2,20
PD3	13/06/02	2,21
PD3	28/06/02	1,69

4.2.4.2. Componentes de produção e biomassa total

4.2.4.2.1. Milho

No modelo STICS, a cultura é caracterizada pela produção de biomassa aérea total, pelo índice de área foliar e pelo número e peso de grãos. A medição dessas variáveis no campo permite avaliar a performance do modelo na simulação do crescimento e desenvolvimento da cultura do milho. Por isso, utilizando-se as parcelas experimentais descritas no item 3.10.4., foram feitas medições no final do ciclo da cultura cujos resultados são apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12. Componentes da produção de grãos e biomassa aérea total da cultura do milho nos sistemas convencional (PC1, PC2 e PC3) e plantio direto (PD1, PD2 e PD3).

Tratamento	Grãos por m²	Peso Seco 1 grão (mg)	Rendimento de grãos (kg/ha)	Biomassa Aérea (kg/ha)	Biomassa Total (kg/ha)
PC1	3399,6	304,9	7638,1	8130,8	15769
PC2	3480,0	300,4	7246,7	7253,3	14500
PC3	3535,5	270,7	8220,1	7806,3	16026
PD1	3210,2	259,9	8233,3	7869,7	16103
PD2	3126,1	315,5	9408,3	8730	18138
PD3	2815,6	293,8	7521,9	7547,8	15070

Na Tabela 4.13, podem ser visualizados os valores médios de grãos de milho por m², do peso seco de um grão, do rendimento de grãos, da biomassa total e o teste t (Student) para comparar as diferenças entre as médias dos sistemas convencional e plantio direto. Analisando-se essa tabela, verifica-se que segundo o teste t, as médias das variáveis observadas não apresentaram diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4.13. Valores médios de grãos de milho por m², do peso seco de 1 grão, do rendimento de grãos, da biomassa total e valores do teste t (student) para comparar as diferenças entre as médias.

	Grãos por m²	Peso Seco 1 grão (mg)	Rendimento de grãos (kg/ha)	Biomassa Aérea (kg/ha)	Biomassa Total (kg/ha)
Média PC	3471,7	292	7701	7730	15431
Média PD	3050,6	290	8388	8049	16437
DIF (PD-PC)	-421,1	-2	687	319	1006
t	3,33 ns	0,11 ns	1,11 ns	0,73 ns	0,99 ns

t (2, 0,05) = 4,303. ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4.2.4.2.2. Milheto

Plantado em sequência à cultura do milho no sistema de plantio direto, com o objetivo de aproveitar a umidade do final da estação chuvosa, o milheto funcionou como planta de cobertura visando a produzir biomassa para proteger o solo. Portanto, nesse contexto, foi feito apenas o acompanhamento da produção de biomassa total cujo objetivo foi o de confrontar com os valores simulados pelo modelo.

Na Tabela 4.14, apresentam-se os valores medidos da biomassa total da cultura do milheto nas subparcelas PD1, PD2 e PD3. Analisando-se essa Tabela, observa-se que a produção de biomassa foi baixa, sendo o tratamento PD2, o que expressou a melhor produção, 4708 kg/ha. Isso se deve ao fato de que a cultura foi plantada no final da estação chuvosa e não teve à sua disposição água suficiente para expressar todo o seu potencial produtivo. Porém, essa quantidade de palhada pode ser considerada importante para o sistema plantio direto, pois, 3,5 t.ha⁻¹ é suficiente para cobrir 63% do solo, interceptar e armazenar 1,2 mm de água da chuva.

Tabela 4.14. Produção de biomassa aérea total da cultura do milho no sistema de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).

Tratamento	Biomassa total (kg/ha)
PD1	3280
PD2	4708
PD3	3609

4.2.4.3. Profundidade radicular

4.2.4.3.1. Milheto

Na simulação do crescimento radicular no modelo STICS, não se considerou a densidade das raízes (m.m^{-3}). O que se considerou foi, apenas, sua profundidade máxima no perfil de solo. Por isso, realizou-se, apenas, o levantamento do percentual de solo explorado pelas raízes do milho (Figura 4.30). Analisando-se essa figura, observa-se que a profundidade máxima atingida pelas raízes do milho foi de 160 cm. Nessa figura, também se observa que nessa profundidade, 20% do solo estava sendo explorado pelas raízes, enquanto para as profundidades mais superficiais, ou seja, entre 10 cm e 50 cm, esse percentual ficou entre 90% e 100%.

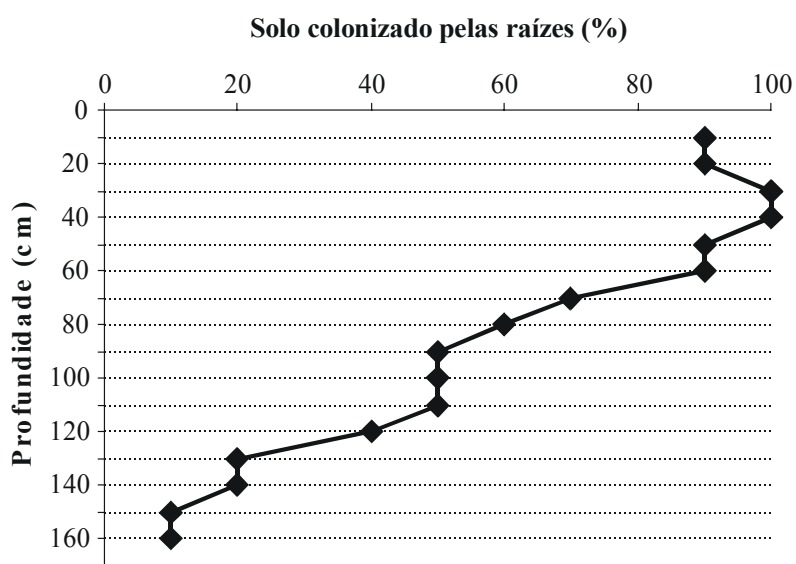


Figura 4.30. Profundidade máxima e percentual de solo explorado pelas raízes do milho no sistema de plantio direto.

4.2.4.4. Fenologia da cultura do milho

Na Tabela 4.15, registrou-se o somatório de calor efetivo ou os graus-dias (GD - °C dias) necessários para o florescimento da cultura do milho em função de diferentes datas de plantio. Observando-se essa Tabela, verifica-se que, quando plantado entre maio e início de agosto, a cultura do milho necessita de 60 dias após o plantio (DAP), em média, para atingir o florescimento ou o equivalente a uma soma térmica de 550 graus dias (GD). Quando plantado a partir do final de agosto até outubro, última data de plantio considerada nesse experimento, são necessários, em média, 75 DAP para o florescimento que equivalem a uma soma térmica de 866 GD, em média. Isso evidencia que o milho é uma planta de dia curto, ou seja, ela acelera seu ciclo, adiantando a floração, quando os dias são curtos.

Tabela 4.15. Datas de plantio e florescimento, dias após o plantio (DAP) e soma térmica (GD, °C dia) do plantio ao florescimento da cultura do milho.

Data		DAP	GD (°C dia)
Plantio	Florescimento		
28/mar./02	02/abr./02	52	461
09/maio/02	11/jul./02	59	466
22/maio/02	29/jul./02	63	512
04/jun./02	06/ago./02	57	484
19/jun./02	23/ago./02	58	521
05/jul./02	10/set./02	62	596
19/jul./02	27/set./02	65	650
09/ago./02	10/out./02	59	619
29/ago./02	11/nov./02	69	794
13/set./02	02/dez./02	75	873
27/set./02	23/dez./02	82	955
10/out./02	29/dez./02	74	842

Para a calibração da fenologia do milho (*Pennisetum americanum*), Variedade BRS 1501, foram usados os dados apresentados na Tabela 4.15. Esses resultados permitiram a

parametrização e a calibração do modelo referente ao período fenológico da germinação até o florescimento da cultura.

A Figura 4.31 representa os intervalos, em dias, da emergência ao florescimento do milho, simulados pelo modelo STICS e observados no dispositivo experimental (Tabela 4.7).

Analizando-se a Figura 5.1, verificou-se a calibração das datas de florescimento da cultura do milho pelo modelo STICS o ajuste dos dados observados com os simulados gerou coeficiente de determinação $R^2 = 0,80$. Dessa forma, pode-se afirmar que os valores simulados da fenologia do milho são adequados para os objetivos desse trabalho.

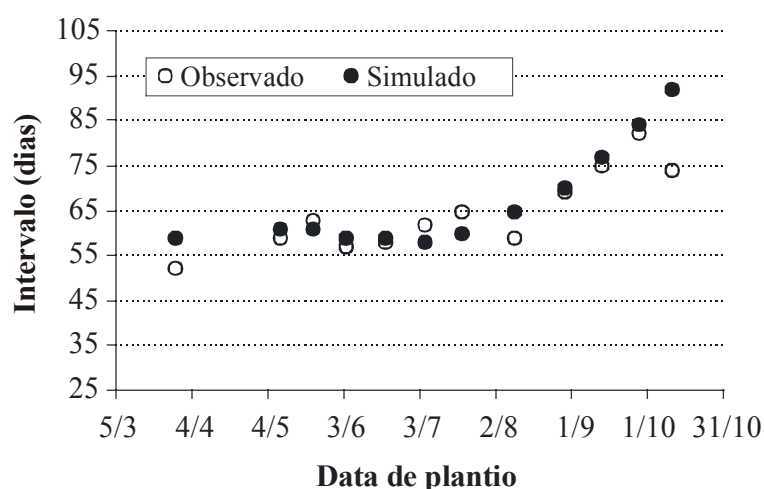


Figura 4.31. Intervalos, em dias, da emergência ao florescimento da cultura do milho, simulados pelo modelo STICS e observados em um dispositivo experimental conduzido na Embrapa Cerrados.

4.3. Calibração do modelo *STICS* para as culturas do milho e do milho nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto

4.3.1. Índice de área foliar

Para ajustar os dados do índice de área foliar máximo (LAI_{Max}), simulados e observados, o parâmetro do modelo que representa a taxa de desenvolvimento máximo da área foliar (**dlaimax**) foi calibrado com os valores de $1,65 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $1,50 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para as culturas do milho e do milho, respectivamente. Esses valores estão próximos do utilizado

por AFFHOLDER (2001) que usou um **dlaimax** $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para calibrar o índice de área foliar do milho nas condições climáticas do Município de Silvânia-GO.

Na Figura 4.32 (a), (b) e (c) tem-se a comparação entre os índices de área foliar (IAF) observados com um medidor de área foliar e os simulados pelo modelo para as três parcelas acompanhadas no sistema de manejo convencional do solo: PC1, PC2 e PC3, respectivamente. Analisando-se essa figura, observa-se o desempenho do modelo na estimativa do IAF. Isso ficou evidenciado pelos resultados da análise estatística (Anexo 4.14), em que os ajustes entre os valores observados e simulados geraram coeficientes de determinação (R^2) sempre superiores a 0,83.

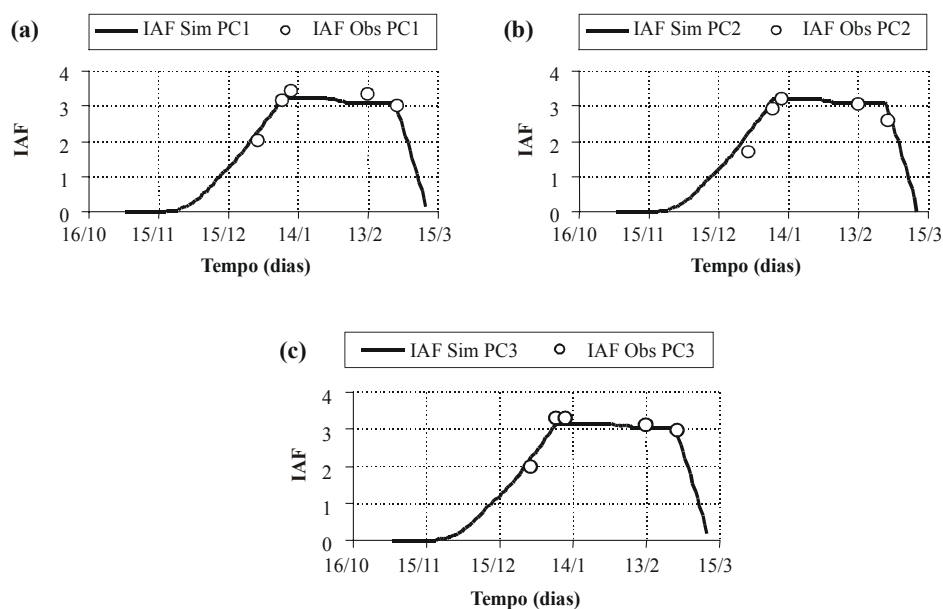


Figura 4.32. Índice de área foliar (IAF) observado com o uso do LAI 2000 e simulado pelo modelo STICS para a cultura do milho, variedade Cargil 901, nas parcelas PC1 (a), PC2 (b) e PC3 (c) cultivadas no sistema de manejo convencional do solo.

Na Figura 4.33 (a), (b) e (c), mostra-se a comparação entre os índices de área foliar (IAF) observados e simulados pelo modelo para a sequência milho-milheto nas três parcelas acompanhadas no sistema de plantio direto: PD1, PD2 e PD3, respectivamente. Assim como no sistema convencional, o modelo estimou o IAF para a sequência milho-milheto em que o ajuste para a cultura do milho foi superior ao do milheto. Os coeficientes de determinação (R^2)

foram sempre superiores a 0,88 para o milho (Anexo 4.15) e 0,81 para o milheto (Anexo 4.16).

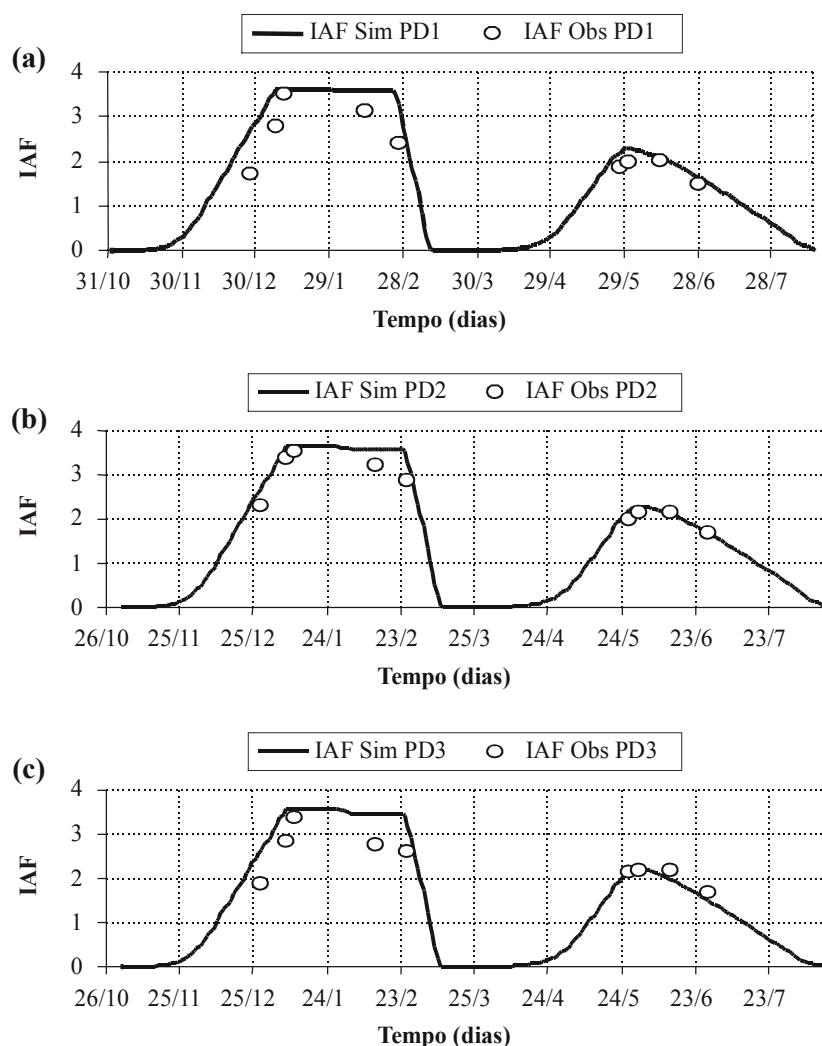


Figura 4.33. Índice de área foliar (IAF) observado com o uso do LAI 2000 e simulado pelo modelo STICS para a sequência das culturas do milho, variedade Cargil 901 e do milheto, variedade BRS 1501, nas parcelas cultivadas no sistema de plantio direto: PD1 (a), PD2 (b) e PD3 (c).

4.3.2. Balanço de água

Para calibrar o modelo STICS, no contexto do sistema de plantio direto, foram feitas mudanças e adaptações no seu módulo de balanço hídrico. O objetivo aqui não foi validar todos os detalhes dos resíduos, mas entender e quantificar seus principais impactos sobre a

dinâmica da água no solo, usando uma abordagem simples, tendo como base os seguintes aspectos:

- relação entre quantidade de resíduos e cobertura do solo.
- taxa de decomposição dos resíduos.
- capacidade de armazenamento da água dos resíduos.
- redução da evaporação da água do solo pelos resíduos.
- redução do escoamento superficial pelos resíduos.

Todo o formalismo adotado para relacionar a quantidade de resíduos com os aspectos acima citados foi descrito no item 3.8.1 (Equações 1 a 9). Já no item 4.1, apresentou-se a estimativa dos parâmetros exigidos por essas equações que foram introduzidas no módulo de balanço hídrico do modelo.

Neste trabalho, considerou-se o escoamento superficial e a evaporação do solo como os processos do balanço hídrico mais influenciados pelos resíduos que, nesse caso, funcionam como uma camada limitante da quantidade de energia que chega ao solo, afetando o primeiro estágio da evaporação. Essa suposição está de acordo com as conclusões feitas por BOND e WILLIS (1970) e STEINER (1989). Já para o escoamento superficial, FINDELING et al. (2003) afirmaram que os resíduos diminuem sensivelmente as perdas de água por aumentar a tortuosidade do fluxo e sua resistência.

Os valores calibrados para os coeficientes máximos de requerimento de água pelas culturas (K_c) do milho e do milheto foram 1,4 e 1,5, respectivamente.

Os modelos de estimativa da umidade volumétrica do solo foram adquiridos segundo análise estatística (Anexo 4.17) que geraram as equações apresentadas no Anexo 4.18.

O acompanhamento da umidade do solo teve início no dia 13 de dezembro de 2001 e estendeu-se até o final do ciclo das duas culturas. Na Figura 4.34 (a), (b), (c), (d), (e) e (f), observa-se a comparação entre os valores da água disponível no solo simulados e os observados para as seis parcelas acompanhadas.

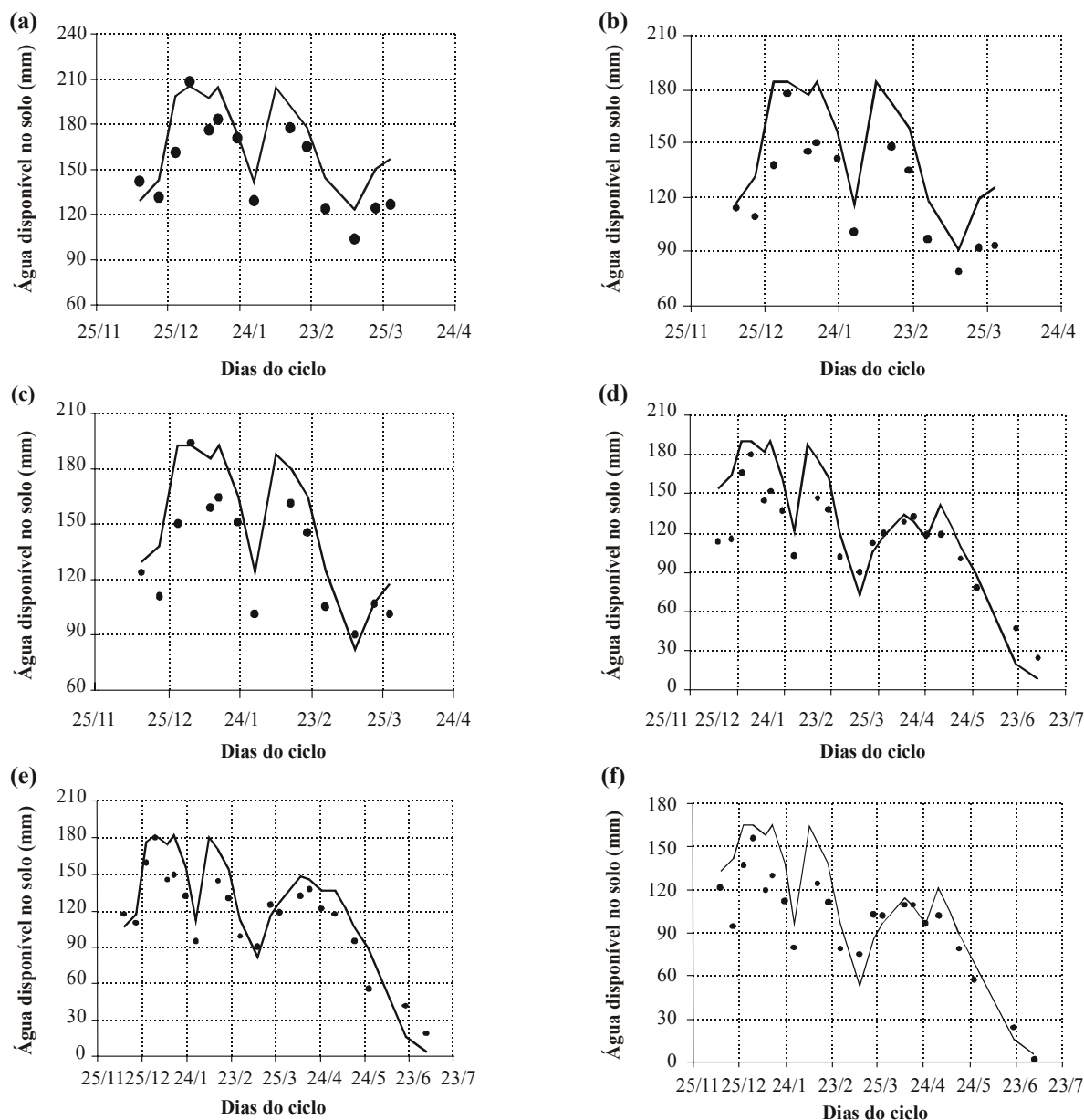


Figura 4.34. Comparação dos valores observados (• • • •) e simulados (—) da água disponível no solo (mm) até 180 cm de profundidade, durante o ciclo da cultura do milho, no sistema de manejo convencional PC1 (a), PC2 (b) e PC3 (c), e da seqüência milho-milheto no sistema de plantio direto PD1 (d), PD2 (e) e PD3 (f).

Analisando-se a Figura 4.34, observa-se que em função dos elevados índices pluviométricos que ocorreram nos meses de dezembro e janeiro, o conteúdo de água no solo das seis parcelas permaneceu elevado durante esse período. No início do mês de fevereiro houve um período seco fazendo com que a reserva hídrica do solo diminuísse sensivelmente,

mas por pouco tempo. A partir do mês de março, a oferta pluviométrica diminuiu e, por consequência, a água do solo.

Apesar de o modelo apresentar uma tendência para superestimar o comportamento da disponibilidade de água no solo, verificou-se ajuste adequado entre os dados medidos e observados durante os dois meses mais chuvosos. O decréscimo no conteúdo da água do solo que aconteceu no início do mês de fevereiro e, em seguida, no início da estação seca foi seguido pelo modelo que manteve o viés de superestimação do estoque de água no solo.

Os ajustes entre os dados da dinâmica de água no solo, medidos e simulados no sistema convencional são apresentados na Figura 4.34 (a), (b) e (c). A correlação entre eles produziu uma relação linear com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,81$ (Figura 4.35).

A comparação da disponibilidade de água no solo, simulada e observada no sistema de plantio direto pode ser vista na Figuras 5(d), 5(e) e 5(f), cuja correlação linear, apresentou coeficiente de determinação $R^2 = 0,87$ (Figura 4.36).

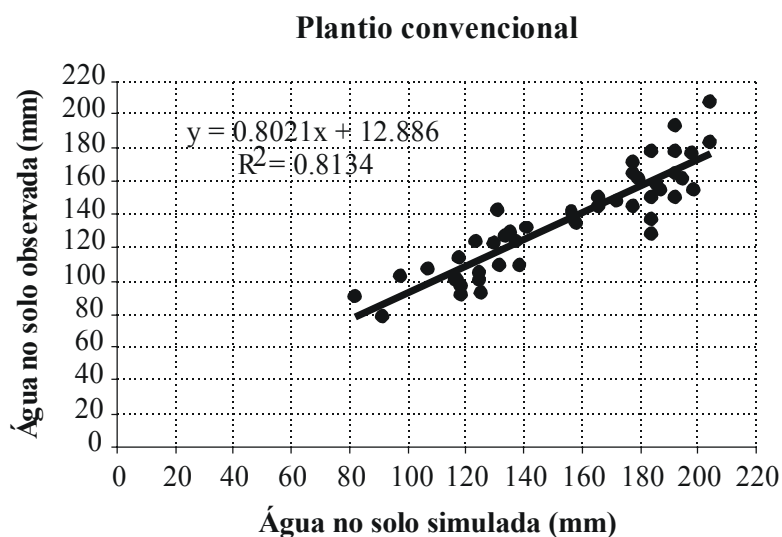


Figura 4.35. Comparação entre a disponibilidade de água no solo observada e simulada no sistema convencional PC1, PC2 e PC3.

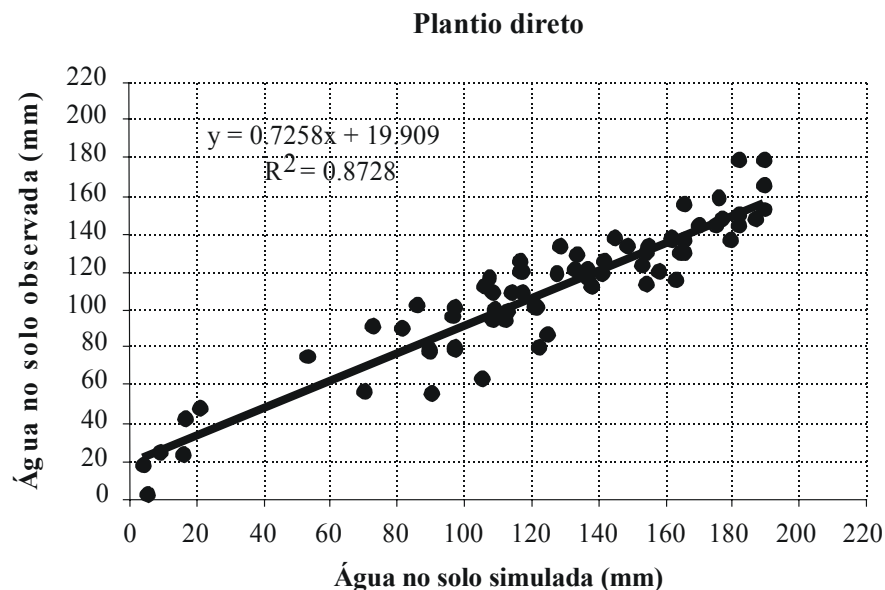


Figura 4.36. Comparação entre a disponibilidade de água no solo observada e simulada no sistema de plantio direto PD1, PD2 e PD3.

Considerando-se os resultados das análises apresentados nas Figuras 4.35 e 4.36, pode-se afirmar que com a incorporação dos novos submodelos que consideraram a influência dos resíduos sobre o balanço hídrico, o modelo STICS apresentou-se como uma ferramenta para simular a dinâmica da água no solo tanto no sistema de plantio direto (seqüência milho-milheto) quanto no convencional (milho).

4.3.3. Matéria seca total

O ajuste entre os dados observados e os simulados da matéria seca total do milho e do milheto foi feito em função da calibração dos parâmetros relacionados com a eficiência do uso da radiação (**efcroiveg**) e com a alocação de fotoassimilados para o grão (**efcroirepro**). Neste estudo, os valores ajustados desses parâmetros foram, respectivamente: 2,9 e 2,6 g.MJ⁻¹ para o milho e 3,0 e 2,8 g.MJ⁻¹ para o milheto.

BRISSON et al. (1998) recomendam que o valor do '**efcroiveg**' seja 4,2 g.MJ⁻¹ para a cultura do milho quando cultivado em condições potenciais, ou seja, sem limitação de água e nutrientes.

A avaliação da eficiência do modelo quanto à simulação da matéria seca total do milho no sistema convencional (PC1, PC2 e PC3) e da seqüência milho-milheto no sistema de plantio direto (PD1, PD2 e PD3) foi feita em função da diferença percentual entre os valores observados e os simulados (Tabela 4.16). Pelos resultados da análise, verifica-se que as diferenças entre a biomassa total observada e simulada para a cultura do milho variaram entre 9,9%, na parcela PD3 do sistema de plantio direto e 4,4% na parcela PC3 do sistema de manejo convencional. Para a cultura do milheto, a performance do modelo não foi a mesma, pois a diferença percentual variou entre 2,8% na parcela PD3 e 15% na PD1. Mesmo assim, pode-se afirmar que o modelo simulou satisfatoriamente a biomassa total das duas culturas.

Tabela 4.16. Diferença percentual (DIF, %) entre matéria seca total observada e simulada nos sistemas de manejo convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).

Sistemas	Matéria seca total (kg/ha)					
	Milho			Milheto		
	Observada	Simulada	DIF (%)	Observada	Simulada	DIF (%)
PC1	15700	14800	5,7			
PC2	14500	15400	6,2			
PC3	16000	15300	4,4			
PD1	16100	17000	5,6	3300	3800	15,2
PD2	18400	17200	6,5	4700	4000	14,9
PD3	15100	16600	9,9	3600	3500	2,8

Utilizando-se o modelo, simulou-se a produção diária da matéria seca, mas como a estrutura experimental não permitiu avaliar a biomassa, nas várias fases do ciclo das culturas, a comparação referiu-se apenas à produção da biomassa total.

Nos Anexos 4.19 e 4.20, podem-se analisar a matéria seca total observada no final do ciclo e a simulada diariamente pelo modelo das culturas do milho, nas parcelas PC1, (a), PC2 (b) e PC3 (c) do sistema convencional e da seqüência milho-milheto, nas parcelas PD1, (a), PD2 (b) e PD3 (c) do sistema plantio direto, respectivamente.

4.3.4. Produtividade de grãos

Outro índice utilizado para a calibração do modelo foi a produtividade de grãos, ajustada com base nos valores: 0,375 mg e 3500 grãos para o peso máximo de um grão (pgrainmax) e do número de grãos por m² (nbgrains), respectivamente.

A Tabela 4.17 apresenta a produtividade de grãos observada e simulada para a cultura do milho nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto.

Tabela 4.17. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) da cultura do milho (*Zea mays* L.), variedade Cargil 901, observada e simulada pelo modelo STICS para os sistemas de manejo convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).

Sistema de manejo	Produtividade de grãos (t/ha)		
	Observada	Simulada	Diferença (%)
PC1	7600	7400	2,6
PC2	7200	7600	5,6
PC3	8200	7500	8,5
PD1	8200	8500	3,7
PD2	9400	8500	9,6
PD3	7500	8200	9,3

Analisando-se essa tabela, observa-se que a produtividade de grãos no sistema de plantio direto foi mais elevada do que no sistema convencional.

As diferenças menores que 10%, entre os valores simulados e os observados podem estar relacionadas à variabilidade espacial dos dados experimentais ou atribuídas a pequenos erros de medição. O modelo superestimou a produtividade de grãos nas parcelas PC2, PD1 e PD3 e subestimou-a nas demais. A maior diferença percentual foi de 9,6%, registrada na parcela PD2 do sistema de plantio direto, enquanto a menor foi de 2,6%, na parcela PC1.

4.3.5. Comparação dos termos do balanço hídrico entre os sistemas de plantio convencional e plantio direto

Na Tabela 4.18, mostram-se os valores simulados dos principais termos do balanço hídrico, quais sejam: transpiração, evaporação da água do solo e dos resíduos, escoamento superficial e drenagem das parcelas cultivadas com milho no sistema de manejo convencional e com a sequência milho-milheto no sistema de plantio direto, bem como os valores da produção de grãos e da biomassa das duas culturas.

Analisando-se a Tabela 4.18, observa-se que o sistema de plantio direto apresentou vantagens sobre o manejo convencional do solo, no que diz respeito à melhor conservação de água, ou seja, nesse sistema houve menor escoamento superficial e evaporação do solo e, conseqüentemente, maior disponibilidade de água para as culturas do milho e do milheto que registraram transpiração mais elevada.

A maior quantidade de água disponível para as plantas resultou em maior rendimento em grãos, 8200 kg.ha^{-1} , em média, contra 7300 kg.ha^{-1} do plantio convencional. Somando-se as médias de 3700 kg.ha^{-1} de palhada produzida pelo milheto com $16.900 \text{ kg.ha}^{-1}$ produzidas pelo milho, ambas no sistema de plantio direto, conclui-se que, nesse sistema, foram produzidas 5500 kg.ha^{-1} a mais de resíduos em relação ao convencional ($15.100 \text{ kg.ha}^{-1}$).

Como pode-se analisar, no sistema plantio direto observou-se a importante característica de disponibilizar mais água para as plantas que, se forem cultivadas sem limitações de nutrientes, nem sofrerem ataques de pragas e doenças, poderão melhor expressar o seu potencial genético para aumentar a produção comercial.

Os resultados da simulação mostraram que a disponibilidade de água no solo no plantio direto em relação ao convencional (DAS, mm) foi em média 50 mm mais elevada. Considerando que a evapotranspiração potencial da região, nessa época do ano, é em torno de 5 mm.dia^{-1} , pode-se afirmar que o milho sob o sistema plantio direto suportaria um veranico de 10 dias. Portanto, para as condições deste estudo, o sistema plantio direto apresentou-se como uma técnica de exploração agropecuária que otimiza o uso do recurso pluviométrico no processo de produção agrícola e que atende aos novos padrões de sustentabilidade da agricultura moderna.

Tabela 4.18. Valores simulados da produção de grãos, biomassa e dos termos do balanço hídrico das culturas do milho e do milheto nos sistemas de plantio convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).

Balanço hídrico do milho									
Manejo	P (mm)	ES (mm)	ER (mm)	T (mm)	R (mm)	D (mm)	DAS (mm)	GR (t/ha)	BM (t/ha)
PC1	907,3	252,7	-	303,3	45,1	203,2	102,8	7,4	14,8
PC2	907,3	263,6	-	309,9	45,5	205,1	83,1	7,6	15,4
PC3	907,3	265,3		304,9	45,7	209,9	81,3	7,5	15,3
PD1	907,3	158,2	56,1	354,1	8,8	200,0	130,5	8,5	17,0
PD2	907,3	156,2	55,9	357,0	8,7	194,5	134,6	8,5	17,2
PD3	907,3	161,5	56,4	339,2	8,9	212,1	129,2	8,2	16,6
Balanço hídrico do milheto									
PD1	62,5	62,7	16	130,6	1	0	-147,4	-	3,8
PD2	62,5	62,3	16	135,2	1	0	-151,7	-	4,0
PD3	62,5	65,3	16	114,5	1	0	-133,8	-	3,5

P = precipitação (mm); ES = evaporação da água do solo (mm); ER = evaporação da água do resíduo (mm); T = transpiração da planta (mm); R = escoamento superficial (mm); D = drenagem (mm); DAS = disponibilidade de água no solo (mm); GR= produtividade de grãos (t/ha) e BM = Biomassa (t/ha).

4.4. Aplicação do modelo STICS para avaliar o risco climático do milho nos sistemas convencional e plantio direto

4.4.1. Comparação climática

As diferenças entre as médias mensais das temperaturas máxima e mínima, da precipitação e da radiação solar incidente em Planaltina-DF e Passo Fundo-RS empregadas nesse estudo são mostradas nas Figuras 4.37 e 4.38, respectivamente. As duas localidades representam condições climáticas bem diferenciadas.

Analisando-se a Figura 4.37, observa-se que Planaltina apresenta duas estações climáticas opostas e bem definidas: uma chuvosa que se inicia na primavera/verão, marcada por elevado excedente hídrico e outra seca que vai de março a setembro, marcada por profunda deficiência hídrica considerada como o principal fator climático limitante para o desenvolvimento das plantas nessa época do ano.

Em Passo Fundo, o padrão de distribuição da precipitação é bem diferente, ou seja, não há limitação hídrica, pois a chuva é bem distribuída durante todo o ano.

Na Figura 4.37(a), pode-se observar que em Planaltina, no semestre primavera/verão as temperaturas máximas mantêm-se quase sempre elevadas, principalmente, no mês de setembro. Já em Passo Fundo (Figura 4.37(b)), a partir do mês de abril até meados de setembro observa-se uma queda brusca tanto da temperatura máxima quanto da mínima. Isso representa uma limitação para o desenvolvimento de algumas culturas no município, principalmente a do milho.

Na Figura 4.38, verifica-se o comportamento da radiação solar incidente em Planaltina-DF e Passo Fundo-RS. Analisando-se essa figura, observa-se que em Passo Fundo no semestre primavera/verão ocorre maior incidência de radiação em relação à localidade de Planaltina. Já no semestre outono/inverno ocorre o inverso: em Passo Fundo, nessa época do ano, observa-se redução significativa da radiação solar que atinge níveis considerados baixos, $9 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

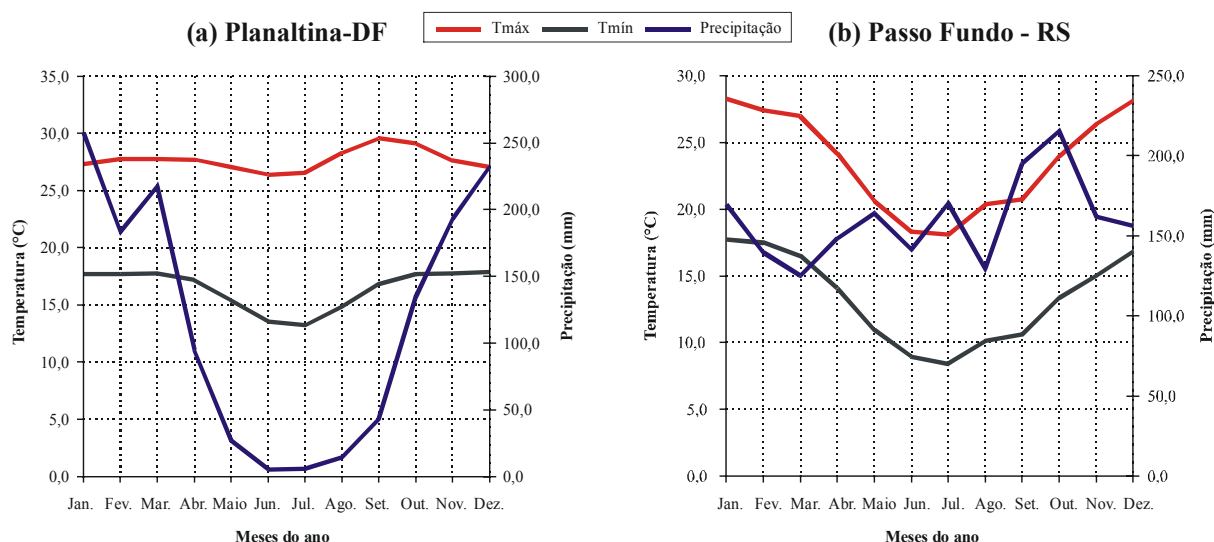


Figura 4.37. Média mensal da precipitação e das temperaturas máxima e mínima em (a) Planaltina-DF e (b) Passo Fundo-RS.

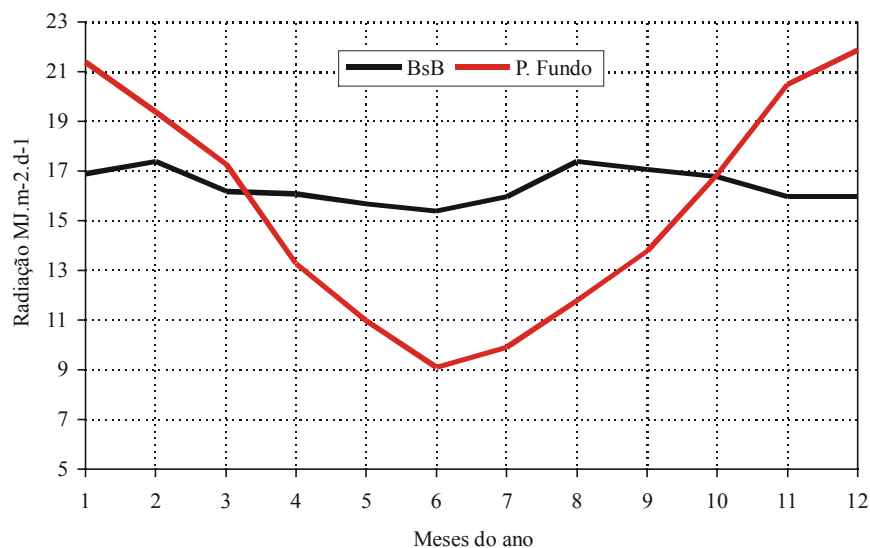


Figura 4.38. Radiação solar incidente em Planaltina-DF e Passo Fundo-RS.

Esse fato acontece concomitantemente com a redução das temperaturas máxima e mínima, e juntos constituem fatores climáticos limitantes para o desenvolvimento da cultura do milho nessa época do ano na região.

Com os cenários climáticos bem diferenciados dos dois municípios apresentados e utilizando as saídas geradas pelo STICS, espera-se quantificar e entender os efeitos dos resíduos sobre os principais fluxos hídricos nos sistemas convencional e plantio direto.

4.4.2. Efeitos dos resíduos de milho e do tipo de solo sobre o balanço hídrico do milho nos sistemas convencional e plantio direto

4.4.2.1. Em Planaltina-DF

4.4.2.1.1. Variação da água no solo

Na Figura 4.39, são mostrados os efeitos do tipo de solo sobre o balanço hídrico do milho nos sistemas convencional e plantio direto em Planaltina-DF. Analisando-se essa figura,

observa-se a diferença entre a média da disponibilidade hídrica diária simulada em dois Latossolos Vermelho-Amarelos: sendo um textura média e o outro argiloso, nos sistemas plantio direto (DHPD-mm) e convencional (DHPC - mm), para cinco datas de plantio: (a) 15 de outubro; (b) 15 de novembro, (c) 15 de dezembro, (d) 15 de janeiro e (e) 15 de fevereiro.

O solo argiloso, por apresentar maior capacidade de armazenamento de água, aliada aos resíduos que permaneceram na superfície, favoreceram maior disponibilidade de água para a cultura em relação ao plantio convencional, principalmente, para as datas de plantio de 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro (Figura 4.39(a), (b) e (c)), com maior destaque para a primeira em que se observou a maior diferença entre a disponibilidade hídrica do solo no plantio direto e no convencional. Esses resultados estão de acordo com os de CASTRO e DE MARIA (1993), DERPSCH et al. (1990) e YOUNG JR. (1982) que também observaram maior disponibilidade de água no solo no sistema de plantio direto.

A maior vantagem do plantio direto sobre o plantio convencional, em Planaltina-DF, foi observada para a data de plantio 15 de outubro do ano de 1990 (Figura 4.39 (a)), pois, a disponibilidade diária de água no solo, no plantio direto, foi, em média, 40 mm a mais do que no convencional.

Na Figura 4.40, vê-se a evolução diária da água no Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso, nos sistemas de manejo convencional e plantio direto para a data acima destacada. Analisando-se essa figura, observa-se que a disponibilidade hídrica no solo, no sistema plantio direto (DHPD), foi sempre superior à do convencional (DHPC) nos primeiros 85 dias do ciclo do milho.

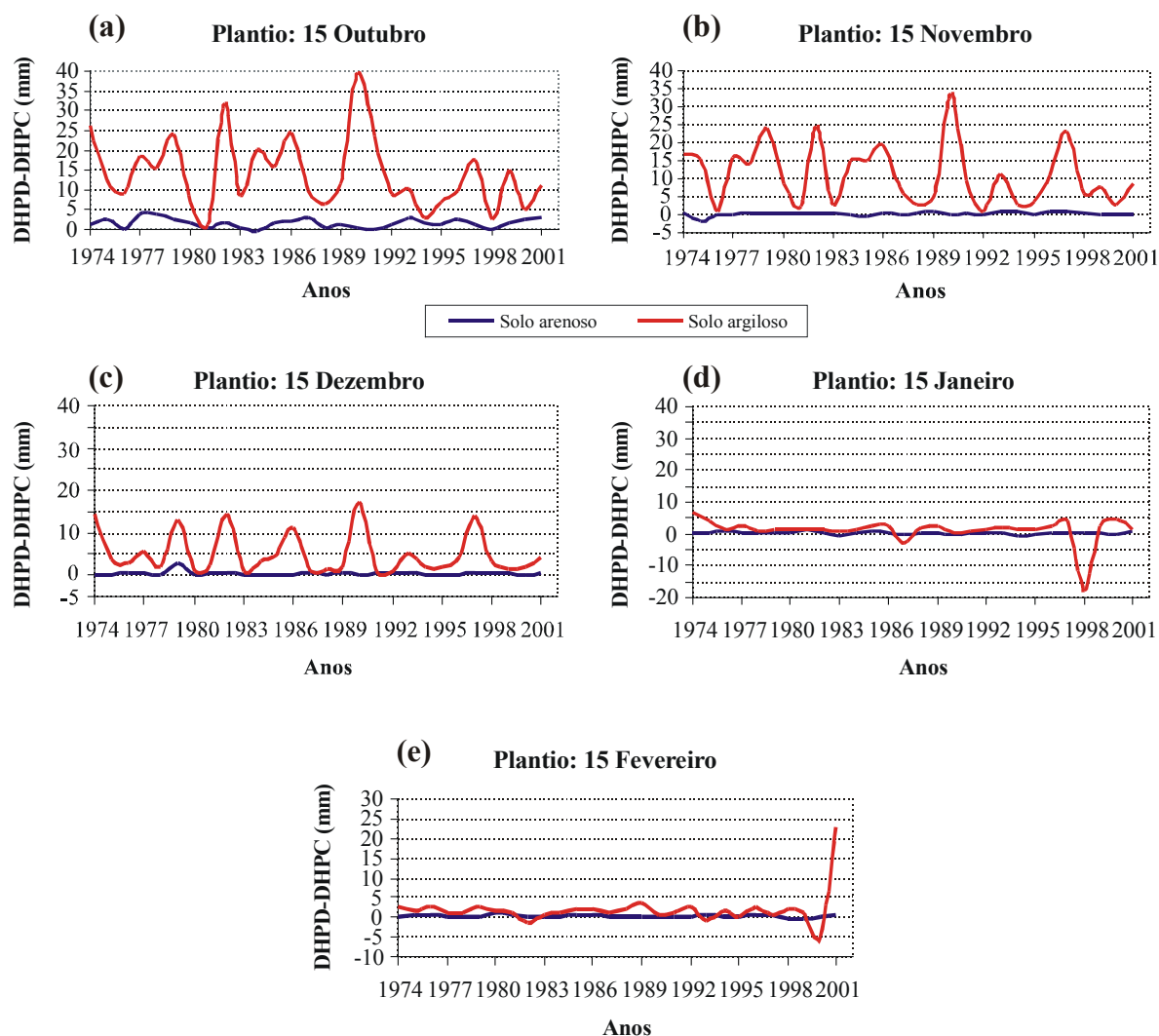


Figura 4.39. Diferença entre a média da disponibilidade hídrica diária nos sistemas plantio direto (DHPD-mm) e convencional (DHPC - mm) durante o ciclo do milho, plantado em (a) 15 de outubro; (b) 15 de novembro; (c) 15 de dezembro; (d) 15 de janeiro e (e) 15 de fevereiro, em Planaltina-DF.

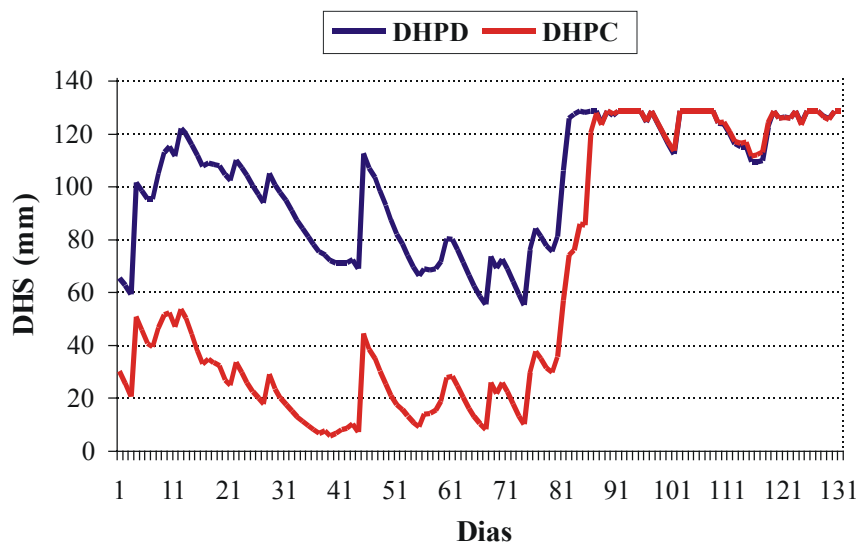


Figura 4.40. Evolução da disponibilidade hídrica num Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso, nos sistemas convencional (DHPC-mm) e plantio direto (DHPD-mm), referente à data de plantio de 15 de outubro do ano de 1990, em Planaltina-DF.

Observa-se, na figura 4.40 que o plantio direto foi mais eficiente no período seco, dando ao solo uma condição mais elevada de umidade em relação ao sistema convencional. Quando as chuvas se intensificaram e mantiveram o solo na sua capacidade máxima de armazenamento de água, os sistemas se igualaram.

Para o solo de textura média, as variações da água foram muito próximas para os dois sistemas de manejo em todas as datas de plantio, à exceção do plantio realizado em 15 de outubro (Figura 4.39(a)), quando, no plantio direto, houve maior disponibilidade de água no solo do que o convencional na maioria dos anos estudados.

Analisando-se a Figura 4.39, nota-se que o plantio direto, sob solo argiloso, para as datas de plantio 15 de janeiro e 15 de fevereiro (Figura 4.39(d) e (e)), continuou apresentando vantagens sobre o sistema convencional, porém, de forma menos eficiente, pois, a diferença de água armazenada entre os dois sistemas foi sempre menor do que a das três datas anteriores.

Observou-se também que, em alguns anos, principalmente, em 1998 (Figura 4.39(d)), a diferença de água no solo foi negativa. Isso não significa, necessariamente, que o plantio direto foi menos eficiente do que o convencional no uso efetivo da água pela cultura.

Para melhor entender esse fato, pode-se observar a Figura 4.41 na qual se vê a evolução diária da água no solo e do índice de área foliar da cultura do milho nos sistemas convencional e plantio direto, referente à data de plantio: 15 de janeiro do ano de 1998. Analisando-se essa figura, observa-se que nos primeiros dias do ciclo, as duas curvas que representam a variação de água no solo nos dois sistemas diminuem de forma similar.

A ocorrência de um veranico de 15 dias, nesse período do ano (Figura 4.42), foi a principal causa da diminuição da água disponível no solo para o milho. No sistema convencional, as perdas de água foram causadas, sobretudo, pela maior evaporação da água do solo, enquanto no plantio direto elas foram provocadas pela maior transpiração da planta. Isso comprova que o plantio direto foi mais eficiente na conservação da água do solo do que o sistema convencional, pois, os resíduos que ficaram sobre a superfície do solo diminuíram a evaporação do solo (Figura 4.43) e o escoamento superficial e, em consequência, aumentaram a transpiração da planta (Figura 4.44). Por isso, o milho teve melhor desenvolvimento do índice de área foliar no plantio direto, elevando o consumo de água em relação ao sistema convencional. Esse fato explica a diferença negativa da água no solo, observada na Figura 4.39(d), entre os dois sistemas e evidencia a importância dos resíduos na melhora do suprimento hídrico da planta quando ocorrem períodos secos durante seu ciclo.

Na Figura 4.42, pode-se ver a distribuição da precipitação pluviométrica durante o ciclo do milho plantado no dia 15 de janeiro de 1998. Analisando-se essa figura, comprova-se que, nos primeiros 15 dias do ciclo da cultura houve apenas duas chuvas inferiores a 5 mm, consideradas sem importância agrícola, pois seus valores não chegaram a superar a evapotranspiração potencial do período na região. Isso caracterizou um período de estiagem (veranico) de 15 dias e foi o principal fator para o desenvolvimento inferior do índice de área foliar do milho no sistema convencional (Figura 4.41).

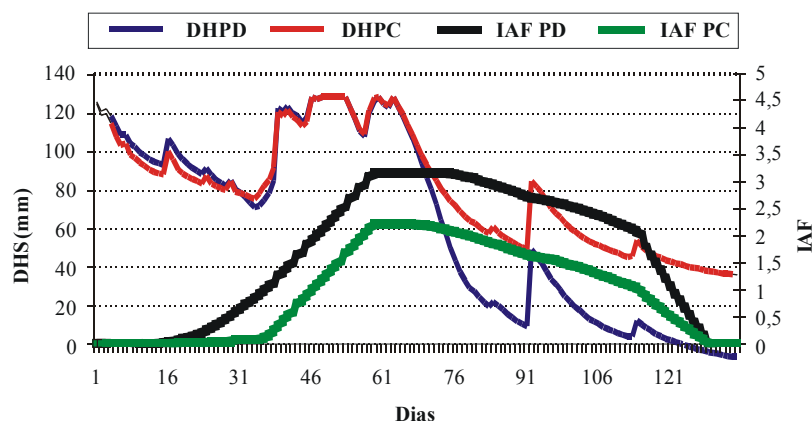


Figura 4.41. Evolução do índice de área foliar (IAF) e da disponibilidade hídrica num Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso, nos sistemas de manejo convencional (DHS PC-mm) e plantio direto (DHS PD-mm), referente à data de plantio de 15 de janeiro do ano de 1998 em Planaltina-DF.

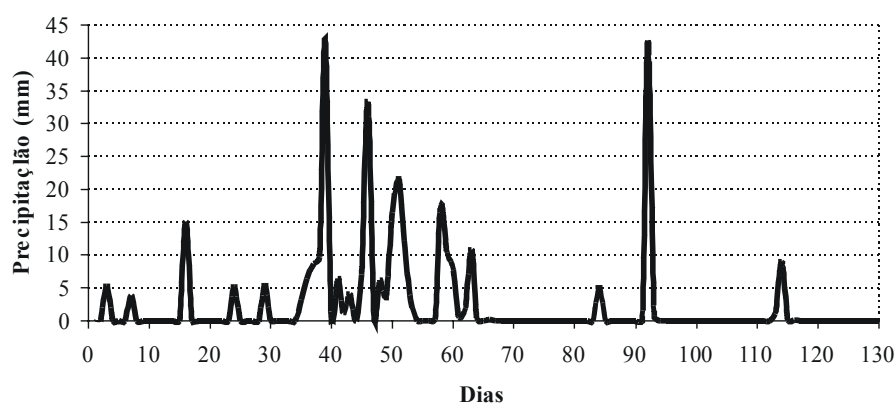


Figura 4.42. Distribuição da precipitação pluviométrica durante o ciclo do milho plantado no dia 15 de janeiro de 1998 em Planaltina-DF.

4.4.2.1.2. *Evaporação da água do solo*

A diferença entre a evaporação da água dos solos textura média e argiloso nos sistemas plantio direto e convencional, para cinco datas de plantio: 15 de outubro; 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro, em Planaltina-DF, são mostradas nas Figuras 4.43 e 4.44, respectivamente. Os valores negativos, apresentados nessas figuras, revelam que a evaporação do solo, no sistema de plantio direto, tanto no solo textura média quanto no argiloso, foi sempre inferior à do plantio convencional para todas as datas de

plantio. Porém, os efeitos dos resíduos sobre a evaporação foram mais importantes para as três primeiras datas simuladas: 15 de outubro; 15 de novembro, 15 de dezembro. Para o solo argiloso, na data de plantio de 15 de outubro, no ano de 1990, a diferença entre os dois sistemas foi de 150 mm, já no solo textura média, para o mesmo ano, a diferença foi de apenas 50 mm.

Analisando-se as figuras 4.43 e 4.44, observa-se, ainda, que a diferença da evaporação do solo entre os dois sistemas para as datas 15 de janeiro e 15 de fevereiro foi muito pequena, tanto no solo textura média quanto no solo argiloso, com uma ligeira vantagem para o argiloso. A data para a qual se observou o menor efeito dos resíduos sobre a evaporação do solo foi a de 15 de fevereiro. Nessa época do ano, em Planaltina, a quantidade de chuva diminui e aumenta a probabilidade de ocorrência de veranicos. Para essa data, observa-se que os sistemas tendem a se igualar (Figura 4.39(e)).

As afirmações de BOND e WILLIS (1969); IDSO et al. (1974) e UNGER e PARCKER (1976) de que a evaporação acumulada de um solo coberto com resíduos, comparada com a de um solo descoberto, pode estar muito próxima quando o período entre dois eventos pluviométricos for muito longo, explicam o que foi observado neste trabalho.

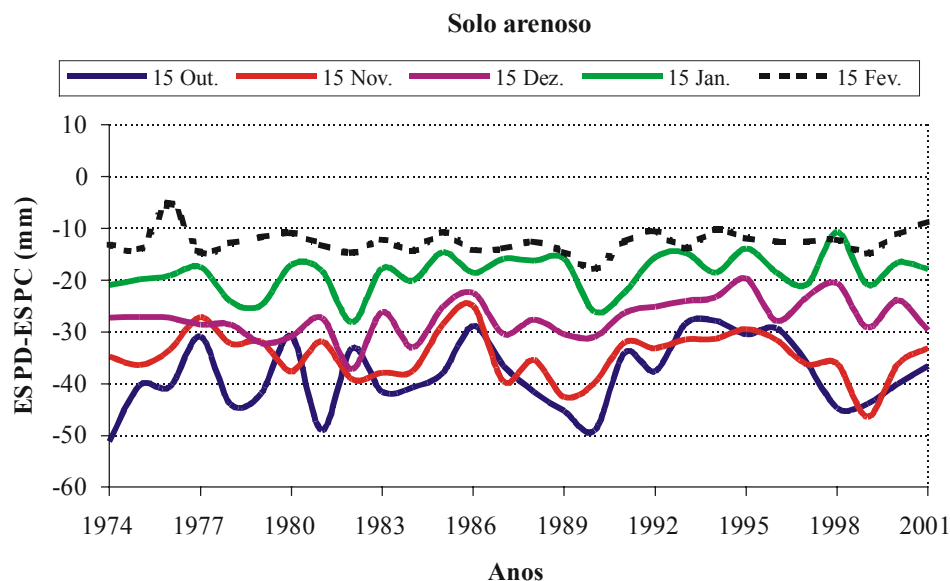


Figura 4.43. Diferença entre a evaporação da água do solo textura média nos sistemas plantio direto (ESPD-mm) e convencional (ESPC-mm) para cinco datas de plantio em Planaltina-DF.

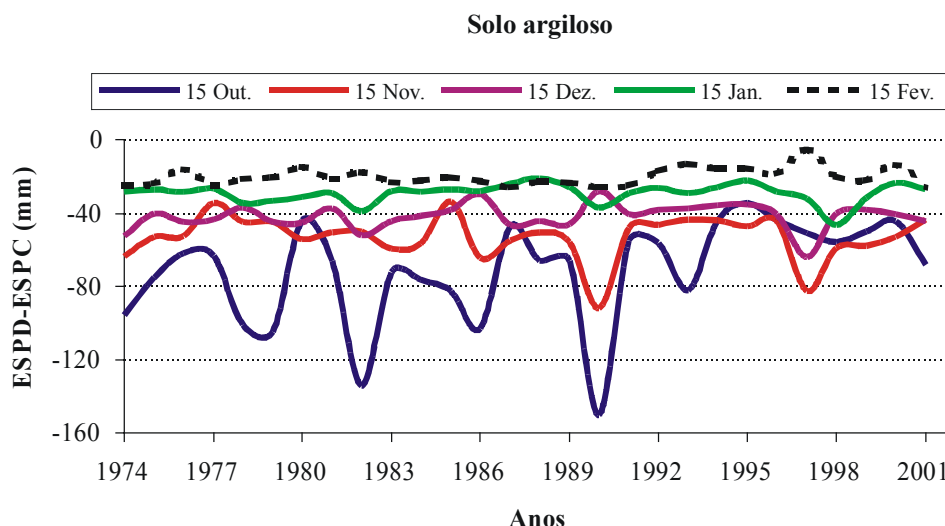


Figura 4.44. Diferença entre a evaporação da água do solo argiloso nos sistemas plantio direto (ESPD-mm) e convencional (ESPC-mm) para cinco datas de plantio em Planaltina-DF.

4.4.2.1.3. *Transpiração da cultura*

Os resultados das simulações que evidenciaram as diferenças entre a transpiração do milho nos sistemas plantio direto e convencional, para cinco datas de plantio: 15 de outubro, 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro, nos solos textura média e argiloso, em Planaltina, são mostrados nas Figuras 4.45 e 4.46, respectivamente.

Analisando essas figuras, observa-se que a transpiração da planta no sistema de plantio direto foi superior à do sistema convencional na maioria dos anos estudados, principalmente, para as datas: 15 de outubro e 15 de novembro, quando se verificaram diferenças em proveito do plantio direto de até 150 mm, no solo argiloso e 35 mm no solo textura média. Isso decorreu do fato de que, no plantio direto, em alguns anos, a média diária da disponibilidade de água no solo argiloso foi de 40 mm a mais do que no convencional para as primeiras datas de plantio (Figura 4.39(a)). Essa maior quantidade de água disponível no solo favoreceu o maior consumo da planta nesse sistema. Para as demais datas, as diferenças da transpiração da planta entre os dois sistemas foram pequenas, com médias de 15 mm para o solo argiloso e de 5 mm para o solo textura média.

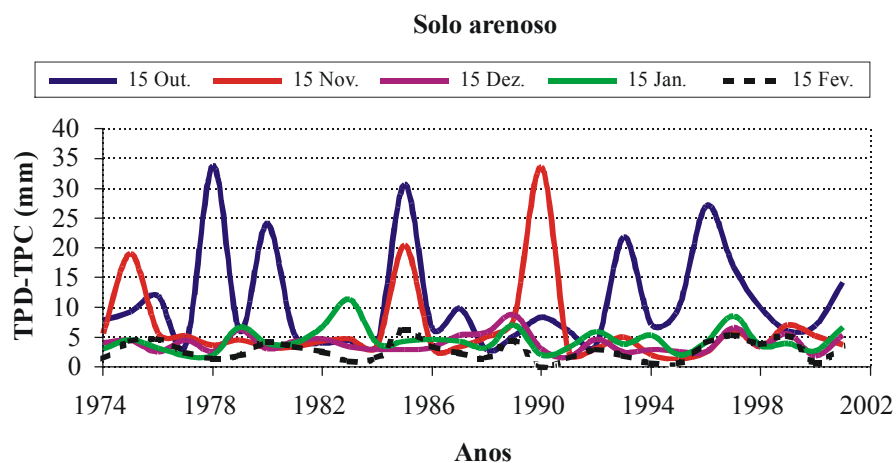


Figura 4.45. Diferença entre a transpiração do milho num solo textura média nos sistemas plantio direto (TPD-mm) e convencional (TPC-mm) para cinco datas de plantio em Planaltina-DF.

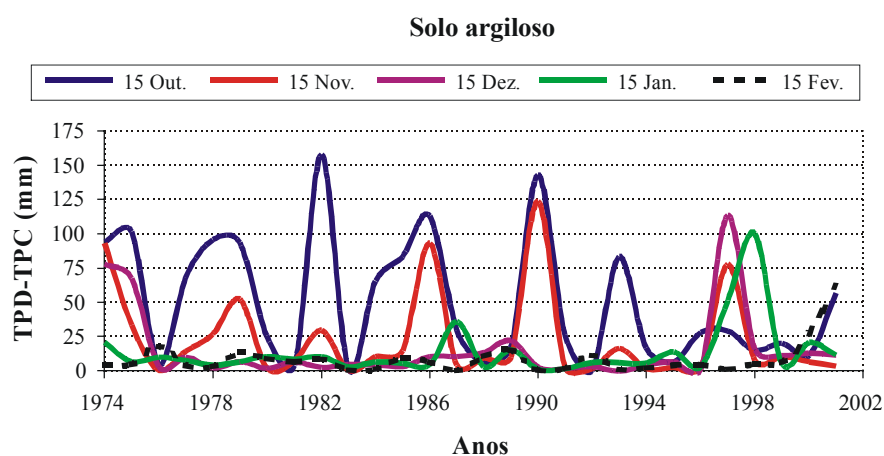


Figura 4.46. Diferença entre a transpiração do milho num solo argiloso nos sistemas plantio direto (TPD-mm) e convencional (TPC-mm) para cinco datas de plantio em Planaltina-DF.

4.4.2.2. Em Passo Fundo-RS

4.4.2.2.1. Variação da água no solo

Na Figura 4.47, verificam-se os efeitos do solo sobre o balanço hídrico da cultura do milho nos sistemas convencional e plantio direto em Passo Fundo-RS.

Analisando-se a figura 4.47 (a), (b), (c), (d) e (e), observa-se a diferença entre a média da disponibilidade hídrica diária simulada nos solos textura média e argiloso, nos

sistemas plantio direto (DHPD-mm) e convencional (DHPC-mm), para cinco datas de plantio: 15 de outubro, 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro.

Assim como foi observado para Planaltina, a capacidade de armazenamento de água dos solos também desempenhou função importante para o plantio direto nesse município, porém, com menor intensidade. Observa-se na figura 4.47 que, à exceção dos anos de 1980 e 1985, a diferença da média diária de água armazenada, no solo argiloso nos sistemas plantio direto e convencional, foi mínima para a maioria dos anos e datas de plantio simuladas cuja variação foi entre 0 e 10 mm de água a mais no sistema plantio direto.

Observa-se, ainda, na Figura 4.47, o maior número de anos, em relação à localidade de Planaltina onde a diferença entre a água armazenada no solo argiloso no plantio direto e convencional foi negativa. Esse fato é causado pela ocorrência de veranico durante o ciclo da cultura que, nessas circunstâncias, teve seu desenvolvimento favorecido no sistema de plantio direto por ser mais eficiente na conservação da água do solo. Nesse caso, a planta apresentou um índice de área foliar mais elevado e passou a consumir mais água a partir do início do período seco, proporcionando maior consumo.

As maiores vantagens do plantio direto sobre o convencional, em Passo Fundo-RS, foram observadas para o solo argiloso nos anos de 1980, para a data de plantio 15 de janeiro (Figura 4.47(d)), e 1985, para as datas de plantio: 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro (Figura 4.47(a), (b) e (c)), pois, a disponibilidade média diária de água no solo no plantio direto foi, respectivamente, 51, 59 e 74 mm a mais do que no plantio convencional. Nos demais anos, para todas as datas de plantio, as diferenças entre os dois sistemas foram pequenas.

Analisando-se a Figura 4.47 (a), (b), (c), (d) e (e), observa-se para todas as datas de plantio simuladas, na localidade de Passo Fundo-RS, que não houve diferenças entre o armazenamento médio diário de água nos dois sistemas em solo textura média. Isso demonstra que, sobre esses solos, o plantio direto é menos eficiente no armazenamento de água no solo do que quando praticado sobre solos argilosos.

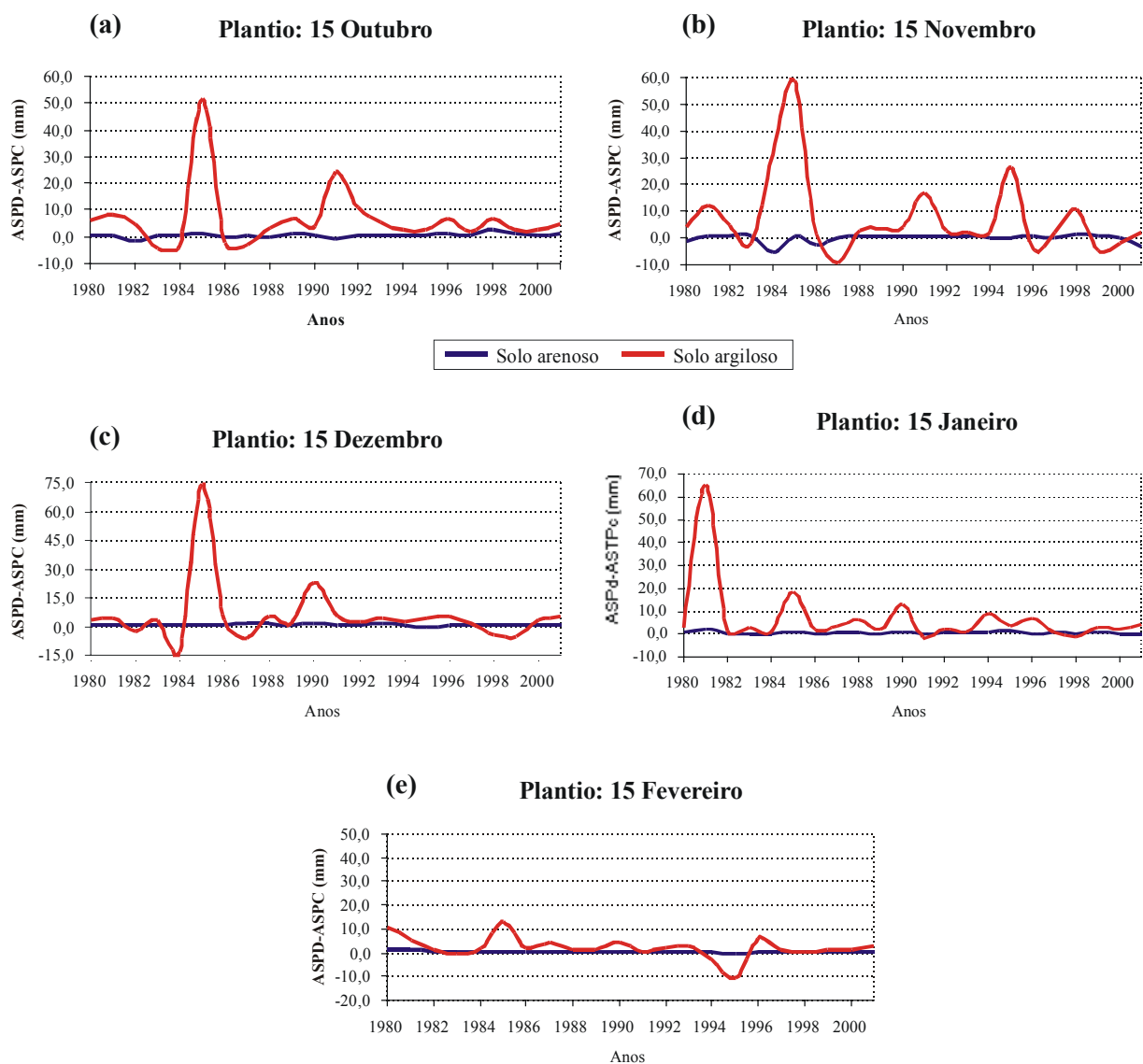


Figura 4.47. Diferença entre a média da disponibilidade hídrica diária nos sistemas plantio direto (DHPD-mm) e convencional (DHPC-mm) durante o ciclo do milho, plantado em (a) 15 de outubro; (b) 15 de novembro e (c) 15 de dezembro; (d) 15 de janeiro e (e) 15 de fevereiro em Passo Fundo-RS.

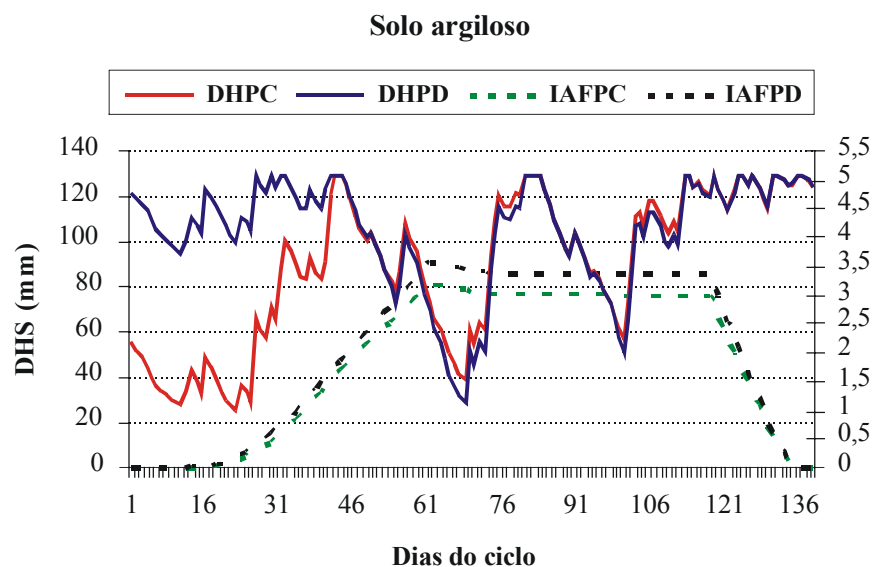


Figura 4.48. Evolução do índice de área foliar (IAF) e da disponibilidade hídrica num Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso, nos sistemas de manejo convencional (DHPC-mm) e plantio direto (DHPD-mm), referente à data de plantio de 15 de novembro do ano de 1991, em Passo Fundo-RS.

As Figuras 4.48 e 4.49 exemplificam a evolução do índice de área foliar (IAF) e da disponibilidade hídrica nos solos argiloso e textura média, respectivamente, nos sistemas convencional (DHPC-mm) e plantio direto (DHPD-mm), referente à data de plantio: 15 de novembro de 1991, em Passo Fundo-RS. As vantagens do plantio direto sobre o sistema convencional, em solo argiloso, podem ser vistas na Figura 4.48. Analisando-se essa figura, observa-se maior disponibilidade de água no solo nos primeiros 35 dias do ciclo e melhor desenvolvimento do índice de área foliar do milho no plantio direto.

Já para o solo textura média (Figura 4.49) não houve diferenças entre as curvas que representam a variação diária da disponibilidade hídrica do solo e a evolução do índice de área foliar nos sistemas plantio direto e convencional.

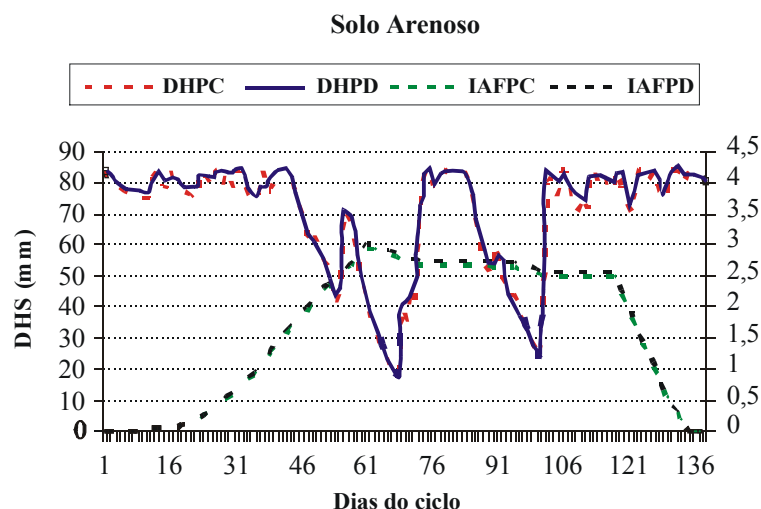


Figura 4.49. Evolução do índice de área foliar (IAF) e da disponibilidade hídrica num Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso, nos sistemas de manejo convencional (DHPC-mm) e plantio direto (DHPD-mm), referente à data de plantio de 15 de novembro do ano de 1991, em Passo Fundo-RS.

4.4.2.2.2. *Evaporação da água do solo*

A diferença entre a evaporação da água do solo textura média e do argiloso nos sistemas plantio direto e convencional, para cinco datas de plantio: 15 de outubro; 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro, no Município de Passo Fundo-RS, é mostrada nas Figuras 4.50 e 4.51, respectivamente.

O comportamento da evaporação da água do solo, nessa localidade, foi similar ao de Planaltina-DF, ou seja, analisando-se os valores negativos apresentados nessas figuras, verifica-se que evaporou menos água do solo no sistema de plantio direto, do que no convencional, tanto no solo textura média quanto no argiloso, para todos os anos e datas de plantio simuladas. Porém, os efeitos dos resíduos sobre a evaporação foram mais importantes para a data 15 de outubro, quando a evaporação da água do solo textura média no plantio direto foi, em média, 30 mm menor do que no convencional. Para o solo argiloso essa diferença foi de 60 mm.

Observa-se ainda nas Figuras 4.50 e 4.51, para a data 15 de fevereiro, tanto no solo textura média quanto no argiloso, que a diferença da evaporação da água do solo entre os dois

sistemas é muito pequena, variando em média, 10 e 20 mm, respectivamente, beneficiando o plantio direto.

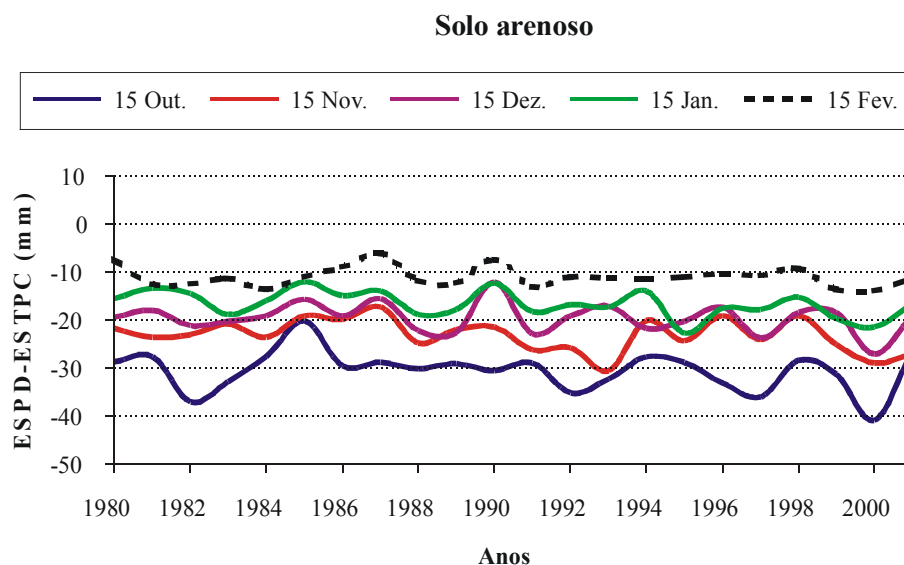


Figura 4.50. Diferença entre a evaporação da água de um solo textura média nos sistemas plantio direto (ESPD-mm) e convencional (ESPC-mm) para cinco datas de plantio em Passo Fundo-RS.

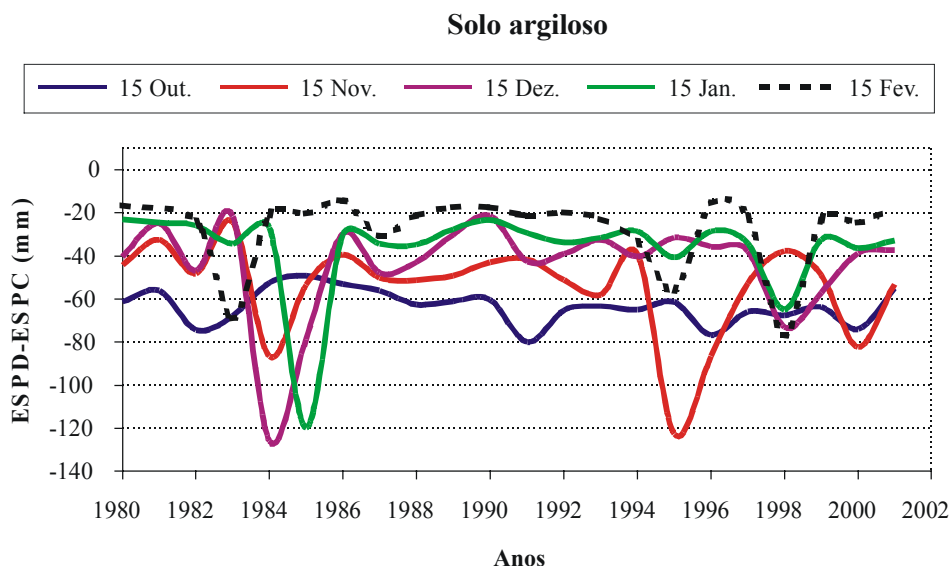


Figura 4.51. Diferença entre a evaporação da água de um solo argiloso nos sistemas plantio direto (ESPD-mm) e convencional (ESPC-mm) para cinco datas de plantio em Passo Fundo-RS.

4.4.2.2.3. *Transpiração da cultura*

Na comparação dos termos do balanço hídrico do milho entre os sistemas convencional e plantio direto, discutida no item 4.3.5, observou-se que no sistema plantio direto houve vantagens sobre o convencional por ter apresentado maior conservação de água no solo, menor escoamento superficial e evaporação do solo e maior transpiração da cultura. Os resultados das simulações realizadas para as séries climáticas de Planaltina-DF e Passo Fundo-RS comprovaram essas afirmações.

Nas Figuras 4.52(a), (b), (c), (d) e (e), e 4.53(a), (b), (c), (d) e (e), notam-se as diferenças entre a transpiração do milho nos sistemas plantio direto e convencional para cinco datas de plantio: 15 de outubro; 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro, nos solos textura média e argiloso, em Passo Fundo-RS, respectivamente.

Analisando-se essas figuras, observa-se que a transpiração da planta no plantio direto foi superior à do convencional na maioria dos anos estudados. No solo textura média (Figura 4.52), observa-se que a planta transpirou, em média, 10 mm a mais no plantio direto, à exceção de alguns anos que apresentou até 40 mm de diferença para as três primeiras datas de plantio. Para as duas últimas datas (15 de janeiro e 15 de fevereiro), os dois sistemas praticamente se igualaram, excetuando-se alguns anos em que houve diferenças de até 10 mm.

Como demonstrou-se que não existiram diferenças na evolução da disponibilidade de água no solo textura média entre os dois sistemas (Figura 4.47), pode-se afirmar que a água economizada no plantio direto pelo escoamento superficial e pela evaporação do solo é contrabalançada pelas perdas por transpiração. Isso evidencia que os resíduos, mesmo sobre os solos com textura média, beneficiam o desenvolvimento da planta quando os períodos secos não são muito longos.

A maior quantidade de água disponível no solo argiloso proporcionou consumo mais elevado da planta no plantio direto (Figura 4.53). Analisando-se essa figura, observa-se que a função dos resíduos sobre a transpiração da planta foi mais importante no solo argiloso, pois, para as três primeiras datas de plantio, as diferenças da transpiração entre os dois sistemas foram, em média, para a maioria dos anos estudados, superiores a 40 mm.

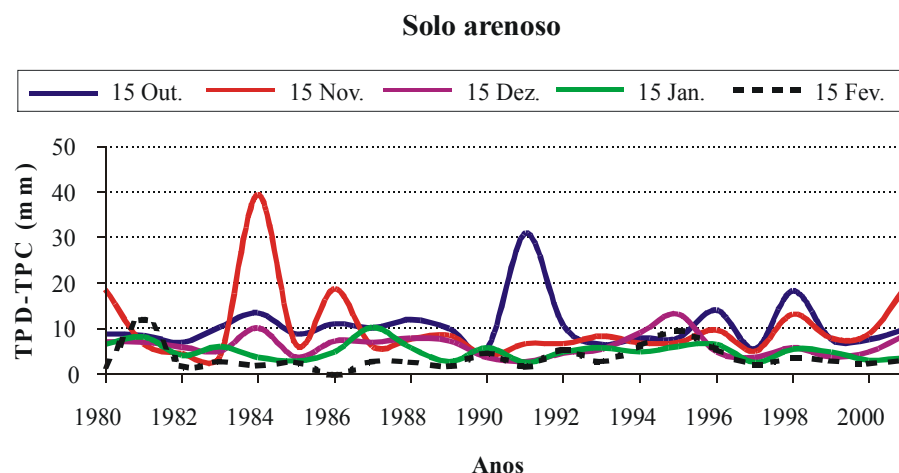


Figura 4.52. Diferença entre a transpiração do milho num solo textura média nos sistemas plantio direto (TPD-mm) e convencional (TPC-mm) para cinco datas de plantio em Passo Fundo-RS.

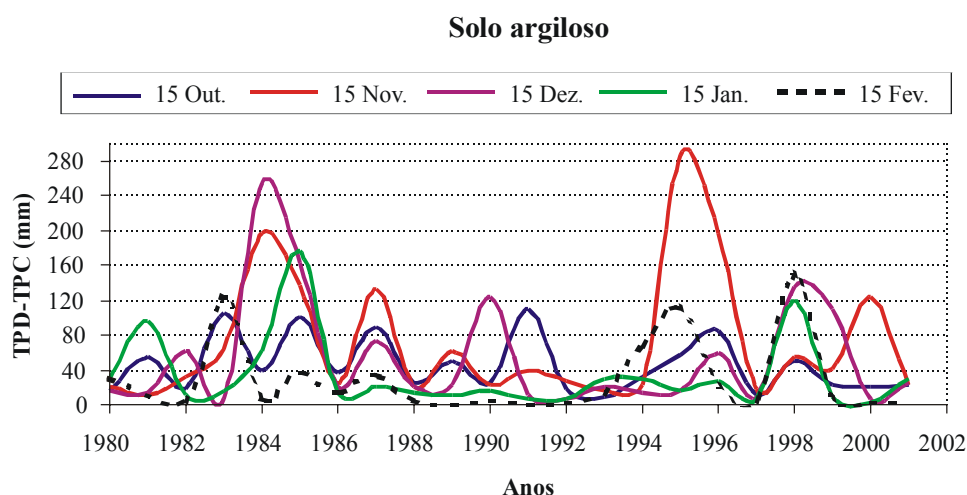


Figura 4.53. Diferença entre a transpiração do milho num solo argiloso nos sistemas plantio direto (TPD-mm) e convencional (TPC-mm) para cinco datas de plantio em Passo Fundo-RS.

4.4.3. Análise do risco climático

4.4.3.1. Em Planaltina-DF

Nas Figuras 4.54 e 4.55, representam-se as probabilidades ao nível de 75% de se obter o rendimento mínimo do milho, plantado nos solos textura média e argiloso,

respectivamente, nos sistemas plantio direto e convencional, para as seguintes datas: 15 de outubro, 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro.

Analisando-se a Figura 4.54a, observa-se que no sistema plantio direto, em solo textura média, o rendimento mínimo esperado, ao nível de 75% de probabilidade, foi: 9490; 8050; 8130; 6500 e 2150 kg.ha⁻¹ para as datas de plantio: 15 de outubro, 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro, respectivamente. Evidenciou-se que a data 15 de outubro foi a que apresentou maior potencial para a produção de milho. Isso se deveu ao fato de que, quando plantou-se a cultura mais cedo, ela foi menos afetada pelos veranicos. Para o plantio em 15 de fevereiro, observa-se que, três em cada quatro anos, obteve-se o menor rendimento entre as datas simuladas, 2150 kg.ha⁻¹. Sendo, portanto, a data em que verificou o maior risco para o milho plantado num solo textura média sob o sistema plantio direto nessa localidade. A causa principal do baixo potencial de rendimento observado nessa data deveu-se, principalmente, à falta de água na fase de enchimento de grãos que, geralmente, coincide com o final da estação chuvosa na região.

Observa-se, ainda, nessa figura, que os rendimentos mínimos, ao nível de 75% de probabilidade, no sistema plantio direto, foram praticamente os mesmos para as datas de plantio 15 de novembro e 15 de dezembro. Já no sistema convencional, constatou-se que o rendimento mínimo, ao nível de 75% de probabilidade, foi semelhante ao do plantio direto para todas as datas simuladas, à exceção de 15 de outubro, quando foi inferior. Mesmo assim, foi nessa data, que o milho alcançou maior potencial de produção nesse sistema.

Comparando-se os rendimentos simulados para o plantio direto, em solo argiloso (Figura 4.55a), observa-se que, nas três primeiras datas de plantio, o potencial de rendimento, possível de ser alcançado três em cada quatro anos, foi superior a 9000 kg.ha⁻¹, com destaque para o plantio em 15 de outubro cujo potencial de produção foi 9410 kg.ha⁻¹. Já 15 de fevereiro foi a data em que o rendimento mínimo foi o menor, 3450 kg.ha⁻¹. Para o milho, no sistema convencional, observaram-se rendimentos superiores a 9000 kg.ha⁻¹, apenas quando se plantou nas datas: 15 de novembro e 15 de dezembro, sendo esta última a que apresentou a maior produção potencial: 9410 kg.ha⁻¹ em 75% dos casos estudados. Da mesma forma que no plantio direto, a data 15 de fevereiro foi a que apresentou o rendimento mínimo mais baixo, 3450 kg.ha⁻¹.

Ao comparar os rendimentos mínimos simulados para os dois sistemas, em solo argiloso, ao nível de 75% de probabilidade, observa-se, entre as datas, uma pequena vantagem do sistema plantio direto em relação ao convencional, pois, a superioridade da produção variou entre 40 e 240 kg.ha⁻¹, à exceção do plantio em 15 de outubro cuja vantagem foi mais expressiva (Figura 4.55a), quando o aumento do rendimento potencial chegou a 1270 kg.ha⁻¹.

As curvas de distribuição das frequências acumuladas do rendimento do milho plantado em 15 de outubro, nos solos textura média e argiloso, nos sistemas plantio direto e convencional, em Planaltina, podem ser vistas nas Figuras 4.54b e 4.55b, respectivamente.

Analisando-se a Figura 4.54b, observa-se que a curva que representa as frequências acumuladas do rendimento no sistema plantio direto, em solo textura média, foi superior à do convencional e proporcionou aumento em torno de 460 kg.ha⁻¹, em 75% dos anos estudados. Observa-se ainda nessa figura que, quando se plantou em 15 de outubro, obteve-se rendimento igual ou superior a 5800 kg.ha⁻¹ nos dois sistemas estudados, ou seja, para essa data, a probabilidade de se obter essa produção foi 100%. Os valores mais baixos foram estimados para os anos com pouca chuva. Observa-se, ainda, na mesma figura, valores elevados e iguais do rendimento potencial nos dois sistemas, 12.800 kg.ha⁻¹. Esses valores foram simulados para os anos denominados úmidos, ou seja, com maior regularidade e quantidade da oferta pluviométrica.

Com base nas observações acima, chegou-se à conclusão de que os dois sistemas, em condições de solo textura média, igualaram-se na disponibilidade de água para a planta e apresentaram o mesmo potencial hídrico para a produção de milho em anos considerados extremos, ou seja, anos muito secos ou muito úmidos.

Quanto à Figura 4.55b, observa-se que a curva que representa as frequências acumuladas do rendimento do milho no sistema plantio direto, em solo argiloso, foi sempre superior à do convencional, proporcionando aumento de 1270 kg.ha⁻¹, ao nível de 75% de probabilidade. Observa-se ainda, nessa figura que, quando plantou-se milho, em 15 de outubro, obtiveram-se rendimentos iguais ou superiores a 6500 e 7000 kg.ha⁻¹, nos sistemas convencional e plantio direto, respectivamente, ou seja, a probabilidade de se obter esses valores foi 100%. Da mesma forma que os resultados encontrados para o solo textura média, esses valores mais baixos foram estimados para os anos com pouca chuva, ou seja, anos considerados secos enquanto, os valores mais elevados foram atribuídos aos anos com maior

pluviometria. Para os anos secos, o plantio direto foi superior ao convencional e aumentou o rendimento potencial do milho em 450 kg.ha^{-1} , enquanto nos anos mais úmidos, o aumento foi 810 kg.ha^{-1} .

Baseando-se nas observações feitas acima, conclui-se que nos dois sistemas, para o plantio em 15 de outubro, em condições de solo argiloso, os comportamentos foram diferenciados. O plantio direto foi sempre superior ao convencional por ter disponibilizado mais água no solo para a planta que respondeu com o aumento do seu rendimento potencial.

As probabilidades de o rendimento do milho, nos solos textura média e argiloso, nos sistemas convencional e plantio direto, serem iguais ou superiores a 9000 kg.ha^{-1} são apresentadas nas Figuras 4.54c e 4.55c, respectivamente.

Analizando-se a Figura 4.54c, observa-se que em 75% e 82% dos anos estudados nos sistemas convencional e plantio direto, respectivamente, o rendimento do milho, plantado em 15 de outubro, no solo textura média, foi igual ou superior a 9000 kg.ha^{-1} . Quanto mais tarde se plantar, menor a probabilidade de ultrapassar esse valor, ou seja: quando se plantou em 15 de novembro, a probabilidade foi de 56% e 61%; em 15 de dezembro, 45% e 50% para os sistemas convencional e plantio direto, respectivamente. Em 15 de janeiro, a probabilidade foi a mesma para os dois sistemas: 19%.

Não se observou, em nenhum dos anos estudados, rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha^{-1} quando o milho foi plantado em 15 de fevereiro. Portanto, a probabilidade de o rendimento do milho ser igual ou superior a esse valor, nessa data, é zero, o que determina essa data como a de maior risco climático para o plantio do milho em solo textura média.

Observa-se, na Figura 4.55c, que as maiores probabilidades para se obter rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha^{-1} , em solo argiloso, foram encontradas para o sistema plantio direto, sendo a data: 15 de outubro a que mais se destacou com 87% de chances, seguida de 15 de dezembro com 84%. Esta última data foi também a que mais favoreceu a cultura no sistema convencional, quando 8 em cada 10 anos, o rendimento potencial simulado foi superior a 9000 kg.ha^{-1} .

Comparando-se as probabilidades encontradas para os dois sistemas, verifica-se que as maiores diferenças foram encontradas para as datas: 15 de outubro e 15 de janeiro nas quais

o plantio direto apresentou 25% e 16%, respectivamente, mais chances do que o convencional em produzir quantidades superiores a 9000 kg.ha⁻¹ de grãos de milho.

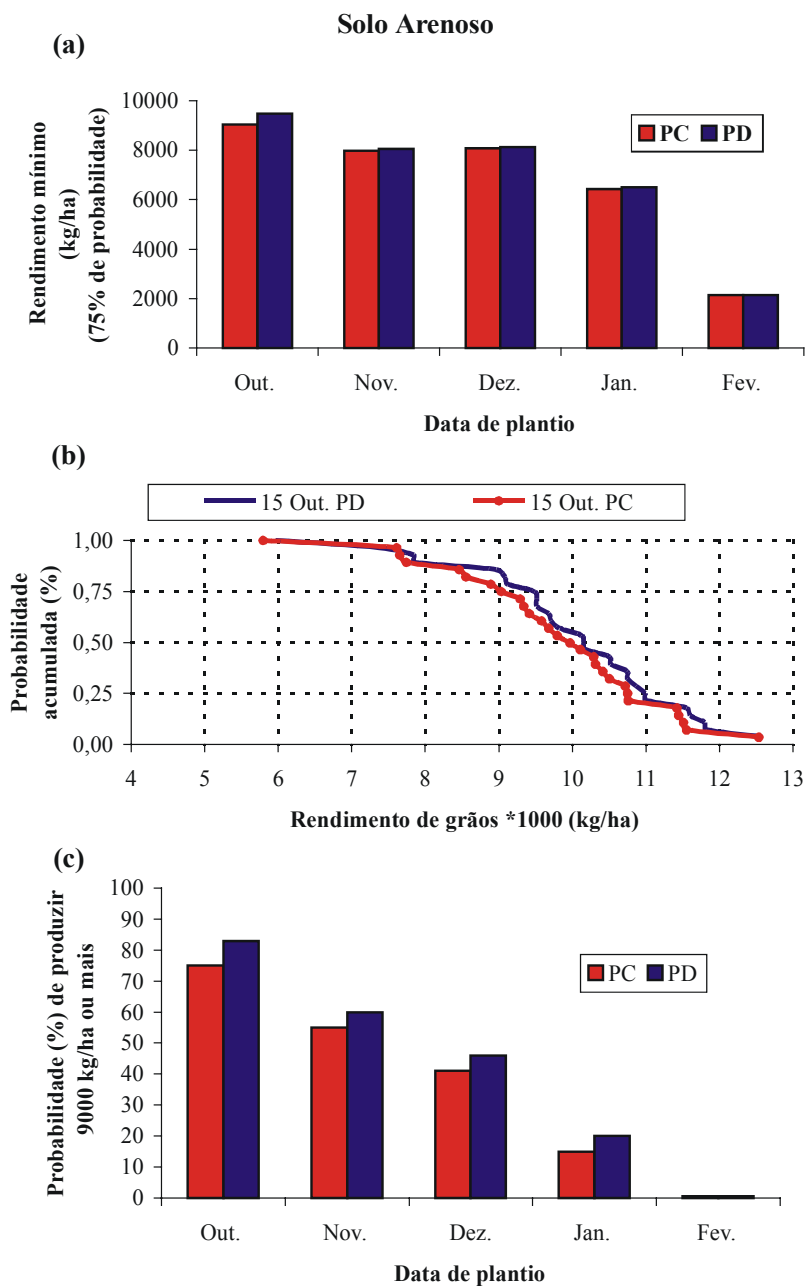


Figura 4.54. Rendimento mínimo (kg.ha⁻¹) do milho ao nível de 75% de probabilidade **(a)**, curvas das freqüências acumuladas (%) para o plantio em 15 de outubro **(b)** e probabilidade (%) de o rendimento do milho ser igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹ **(c)**, nos sistemas convencional e plantio direto, em solo textura média, na localidade de Planaltina-DF.

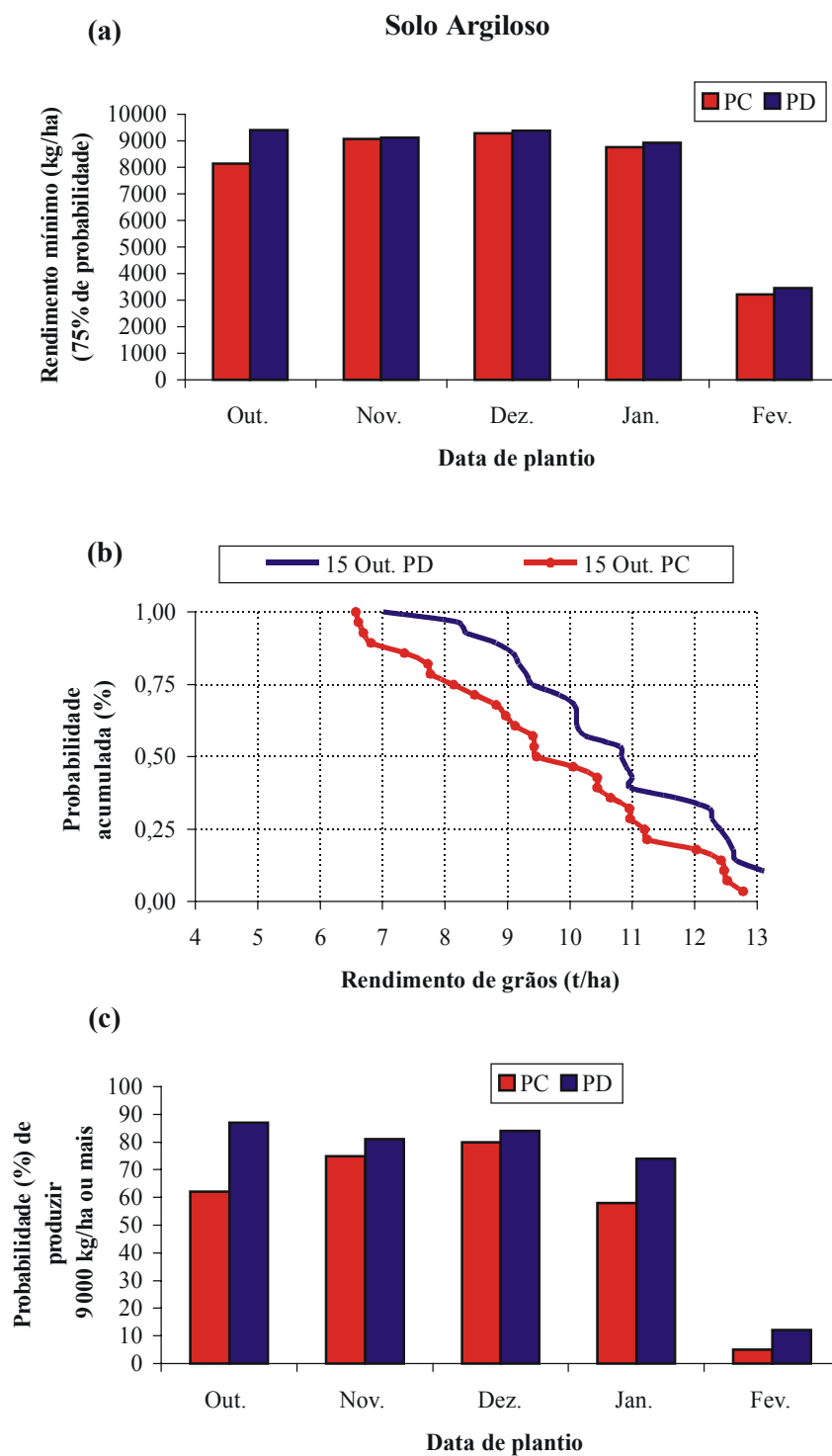


Figura 4.55. Rendimento mínimo ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) do milho ao nível de 75% de probabilidade (a), curvas das freqüências acumuladas (%) para o plantio em 15 de outubro (b) e probabilidade (%) de o rendimento do milho ser igual ou superior a $9000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (c), nos sistemas convencional e plantio direto, em solo argiloso, na localidade de Planaltina-DF.

Assim como no solo textura média, a data de maior risco para o plantio do milho, em solo argiloso foi: 15 de fevereiro, pois, a probabilidade de o rendimento ser igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹ foi de: 1 em cada 20 anos para o sistema convencional e 1 em cada 8 anos para o plantio direto.

4.4.3.2. Em Passo Fundo-RS

Nas Figuras 4.56a e 4.57a, representam-se a probabilidade, ao nível de 75%, de se obter o rendimento mínimo do milho plantado em solos textura média e argiloso, respectivamente, nos sistemas plantio direto e convencional, nas seguintes datas: 15 de outubro, 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro. Analisando-se a Figura 4.56a, observa-se que no sistema plantio direto, em solo textura média, o rendimento mínimo esperado, ao nível de 75% de probabilidade, foi: 7064; 8340; 6050; 5372 e 3092 kg.ha⁻¹ para as datas de plantio: 15 de outubro, 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro, respectivamente. Evidenciou-se que a data 15 de novembro foi a que apresentou maior potencial para a produção de milho. Para o plantio em 15 de fevereiro, obteve-se, para três em cada quatro anos, rendimento mais baixo entre as datas simuladas, 3092 kg.ha⁻¹. Sendo esta, portanto, a data em que se verificou o maior risco climático para o milho plantado sob o sistema plantio direto num solo textura média. A causa principal do baixo potencial de rendimento observado nessa data deveu-se, possivelmente, às baixas temperaturas e à redução da oferta pluviométrica durante o ciclo da cultura.

Comparando-se os rendimentos mínimos simulados para os dois sistemas, ao nível de 75% de probabilidade, verifica-se que: os rendimentos do plantio direto, em solo textura média, foram sempre superiores aos do convencional que variou entre: 6774; 8078; 5872; 5244 e 3040 kg.ha⁻¹ para as datas 15 de outubro, 15 de novembro, 15 de dezembro, 15 de janeiro e 15 de fevereiro, respectivamente. Observa-se também que, a maior vantagem do plantio direto sobre o convencional foi para a data de plantio: 15 de outubro, apesar de o rendimento mínimo mais elevado ter sido estimado para a segunda data de plantio (15 de novembro).

Fazendo-se uma análise das curvas de distribuição das freqüências acumuladas do rendimento do milho, em solo textura média, nos sistemas plantio direto e convencional, para

a data de plantio, na qual se obtiveram os maiores rendimentos (Figura 4.56 b), observa-se que o rendimento mínimo simulado no sistema plantio direto (6500 kg.ha^{-1}) foi maior do que no convencional (6000 kg.ha^{-1}). Isso demonstra que, para essa localidade, o plantio direto em solo textura média tem vantagens sobre o convencional para os anos considerados secos. Já os rendimentos máximos simulados foram os mesmos para os dois sistemas ($13.000 \text{ kg.ha}^{-1}$), ou seja, em condições de anos com muita chuva, os sistemas não se diferenciaram no que se refere aos rendimentos potenciais.

Comparando-se os rendimentos simulados para o plantio direto em solo argiloso (Figura 4.57a), observa-se que as três primeiras datas de plantio apresentaram potencial de rendimento possível de ser alcançado três em cada quatro anos, superior a 8500 kg.ha^{-1} , com destaque para o plantio em 15 de novembro, em que se registrou o maior potencial de produção, 9510 kg.ha^{-1} cuja distribuição das frequências acumuladas pode ser vista na Figura 4.57b. Já 15 de janeiro e 15 de fevereiro foram as datas que demonstraram menor potencial, ao nível de 75% de probabilidade, com rendimento mínimo esperado de: 5514 e 2800 kg.ha^{-1} , respectivamente. Da mesma forma que no plantio direto, essas, também, foram as datas em que ocorreu o menor potencial para o sistema convencional, com rendimento mínimo esperado de: 4648 e 2500 kg.ha^{-1} , respectivamente.

Ao comparar os rendimentos mínimos simulados para os dois sistemas, em solo argiloso, ao nível de 75% de probabilidade, observa-se que no plantio direto foram detectadas vantagens em relação ao convencional, pois, a superioridade da produção potencial variou entre 300 kg.ha^{-1} para o plantio em 15 de fevereiro e 2070 kg.ha^{-1} para 15 de dezembro, considerada como a data cuja vantagem foi mais expressiva. Isso comprova que, para as condições climáticas de Passo Fundo-RS, o plantio direto em solo argiloso é mais eficiente do que no solo textura média.

As curvas de distribuição das frequências acumuladas, relativas ao rendimento do milho plantado em 15 de novembro, nos solos textura média e argilosa, nos sistemas plantio direto e convencional, em Passo Fundo-RS, podem ser vistas nas Figuras 4.56b e 4.57b, respectivamente.

Analisando-se a Figura 4.56b, observa-se que a curva que representa as frequências acumuladas do rendimento potencial no sistema plantio direto, em solo textura média, foi um pouco superior à do convencional e proporcionou aumento de 262 kg.ha^{-1} em 75% dos anos estudados. Observa-se ainda, nessa figura que, quando se plantou em 15 de novembro, obteve-

se rendimento igual ou superior a 4580 kg.ha^{-1} , no sistema convencional e 4680 kg.ha^{-1} no plantio direto, ou seja, para essa data, a probabilidade de essas produções serem obtidas foi 100%. Os valores considerados mais baixos foram estimados para os anos com pouca chuva, ou seja, anos considerados secos. Para os anos com maior regularidade e quantidade da oferta pluviométrica, os dois sistemas não apresentaram diferenças, pois, observaram-se valores elevados e iguais ao do rendimento potencial do milho: $13.000 \text{ kg.ha}^{-1}$.

Tendo como base as observações acima, chegou-se à conclusão de que o plantio direto, em condições de solo de textura média, superou, com pequena vantagem, o convencional para os anos com pouca chuva e foi igual para os anos cuja umidade foi maior.

Fazendo-se uma análise das curvas de distribuição das frequências acumuladas do rendimento do milho, em solo argiloso, nos sistemas plantio direto e convencional, para a data de plantio: 15 de novembro na qual se obtiveram os maiores rendimentos (Figura 4.57 b), observa-se que o rendimento mínimo simulado no sistema plantio direto (4960 kg.ha^{-1}) foi maior do que no convencional (4700 kg.ha^{-1}). Os rendimentos máximos simulados também foram diferentes: $15.520 \text{ kg.ha}^{-1}$ para o plantio direto e para o convencional, 14900 kg.ha^{-1} . Isso demonstra que, para essa localidade, no plantio direto, em solo argiloso, constatarem-se vantagens sobre o convencional tanto nos anos secos quanto naqueles úmidos.

As probabilidades de o rendimento do milho serem iguais ou superiores a 9000 kg.ha^{-1} , nos solos textura média e argiloso, nos sistemas convencional e plantio direto, são demonstradas nas Figuras 4.56c e 4.57c, respectivamente. Analisando-se a Figura 4.56c, observa-se que em 64% e 69% dos anos analisados, nos dois sistemas estudados, respectivamente, o rendimento do milho, plantado em 15 de novembro, no solo textura média, foi igual ou superior a 9000 kg.ha^{-1} . A probabilidade de ultrapassar esse valor foi menor quando se plantou em 15 de outubro (60% e 65%), 15 dezembro (46% e 47%), 15 de janeiro (10% para os dois sistemas).

Não observou-se, em nenhum dos anos estudados, rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha^{-1} quando o milho foi plantado em 15 de fevereiro. Portanto, a probabilidade de o rendimento do milho ser igual ou superior a esse valor é zero, o que define essa data como a de maior risco climático para o plantio do milho em solo textura média.

Quanto à Figura 4.57c, observa-se que as maiores probabilidades para se produzir rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha^{-1} , em solo argiloso, foram encontradas para o sistema plantio direto, sobretudo, para o plantio em 15 de novembro, quando se encontrou

uma probabilidade de 78%, seguido de 15 de dezembro com 68%. No plantio convencional, a melhor data foi 15 de outubro, com 64% de chances, seguida das datas 15 de novembro e 15 de dezembro, ambas com 58%.

Comparando-se as probabilidades encontradas para os dois sistemas, observa-se que a maior diferença entre eles foi encontrada para o plantio em 15 de novembro, quando o milho, no plantio direto, apresentou 18% a mais de chances de se obter quantidade igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹ de grãos.

Assim como no solo textura média, a data de maior risco para o plantio do milho tanto no sistema convencional quanto no plantio direto, foi: 15 de fevereiro, pois, não se observou rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹, quando se plantou nessa data, em solo argiloso.

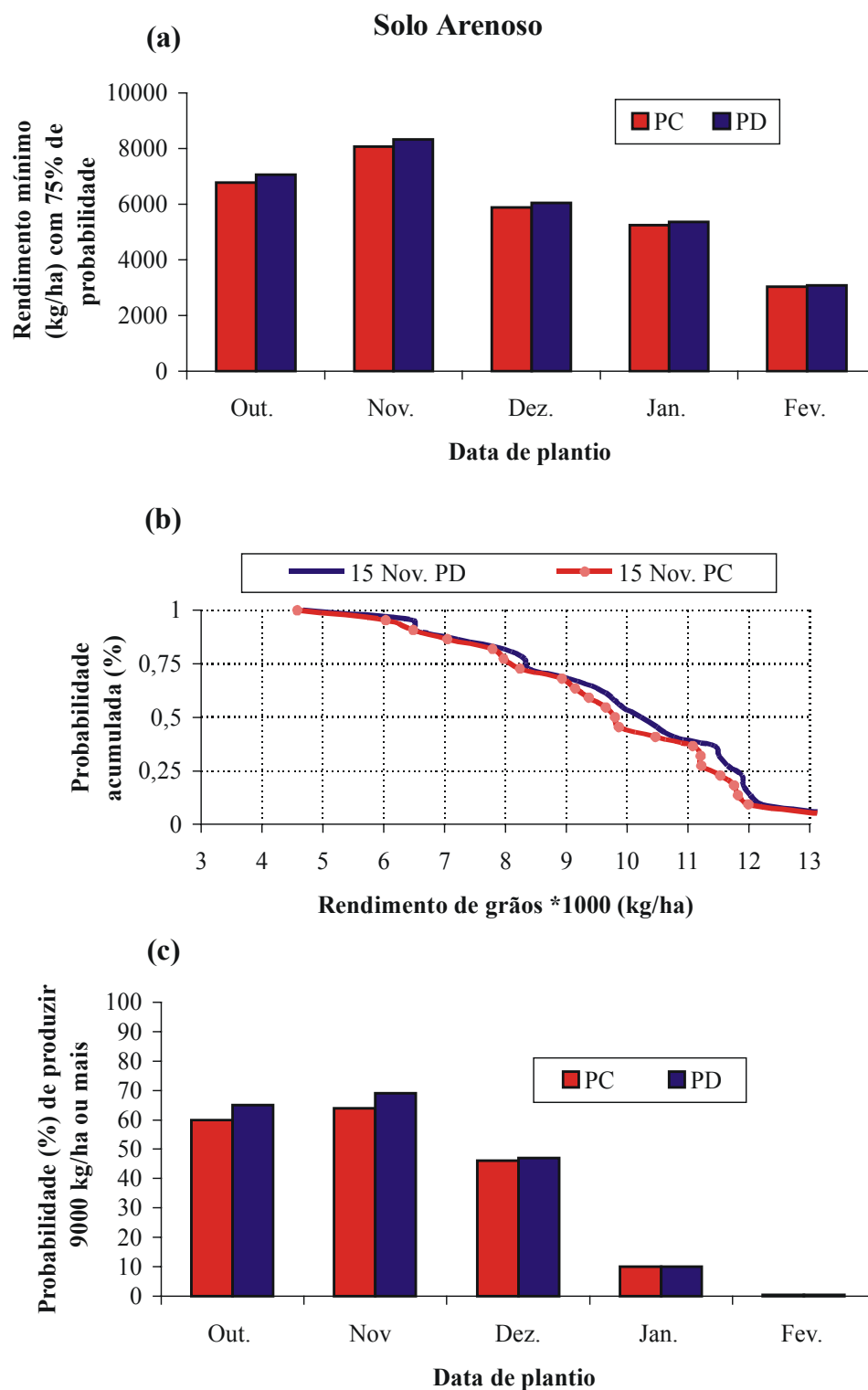


Figura 4.56. Rendimento mínimo ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) do milho ao nível de 75% de probabilidade **(a)**, curvas das freqüências acumuladas (%) para o plantio em 15 de outubro **(b)** e probabilidade (%) de o rendimento do milho ser igual ou superior a $9000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ **(c)**, nos sistemas convencional e plantio direto, em solo textura média, na localidade de Passo Fundo-RS.

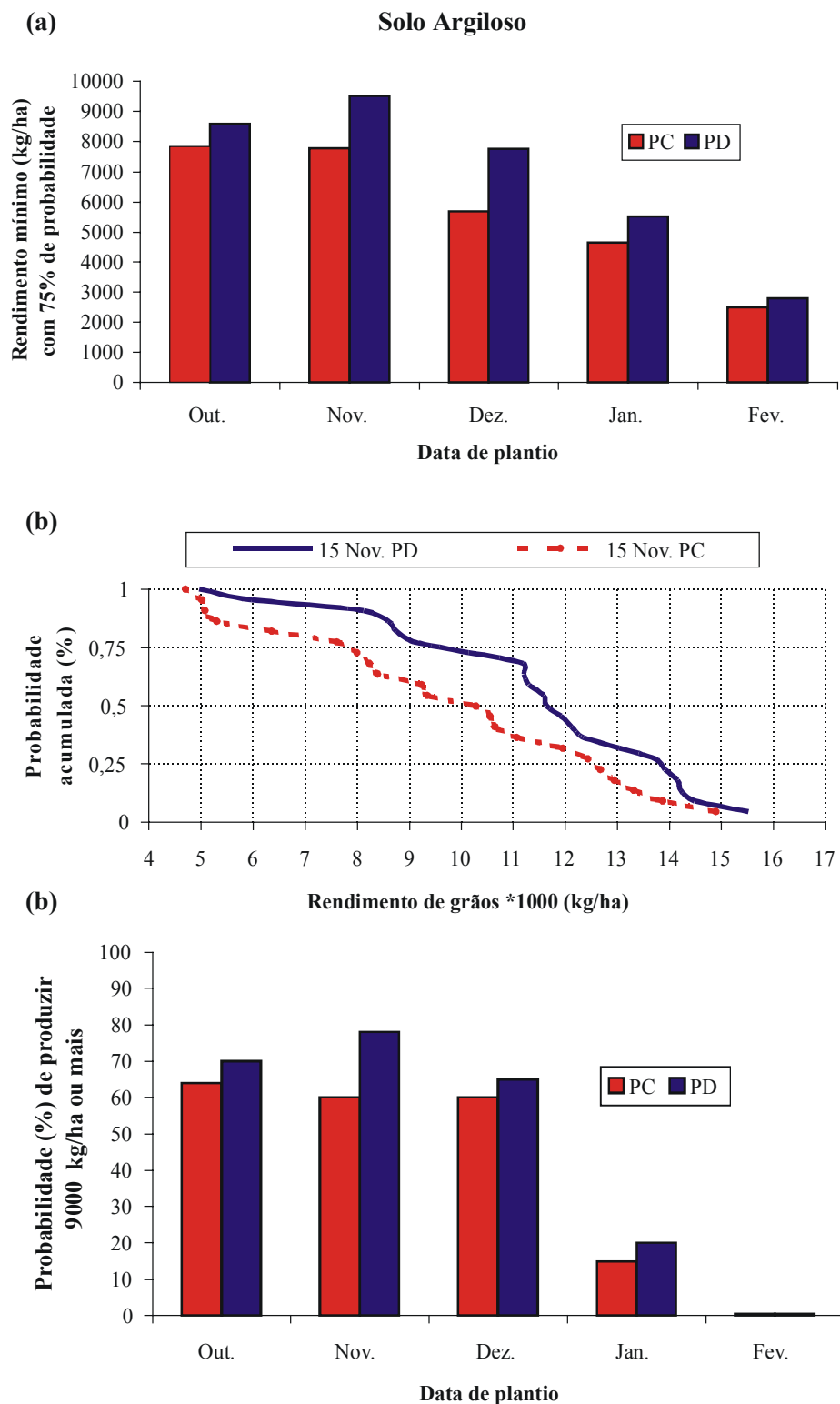


Figura 4.57. Rendimento mínimo ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) do milho ao nível de 75% de probabilidades (a), curvas das frequências acumuladas (%) para o plantio em 15 de outubro (b) e probabilidade (%) de o rendimento do milho ser igual ou superior a $9000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (c), nos sistemas convencional e plantio direto, em solo argiloso, na localidade de Passo Fundo-RS.

O procedimento de análise do risco climático da cultura do milho pode ser repetido para qualquer localidade que apresente dados de clima requeridos pelo modelo, servindo como uma ferramenta para indicar as áreas com maior potencial para o desenvolvimento do milho e do milheto nos sistemas de plantio direto e convencional.

As saídas do modelo podem ser georreferenciadas e conectadas a um Sistema Geográfico de Informações (SGI) para gerar mapas temáticos¹¹ que podem ajudar aos sistemas de auxílio às tomadas de decisão.

5. CONCLUSÕES

5.1. Quantificação e modelagem dos efeitos das palhadas de milho, milheto e soja, na dinâmica da água, no sistema plantio direto

5.1.1. Capacidade de armazenamento da água pela palhada

- As palhadas de milheto e de milho apresentam um potencial ligeiramente maior para armazenar água em relação ao seu peso: 3,26 e 3,24 g de $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1}$ de palhada, respectivamente, do que a da soja, 2,62 g de $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1}$.
- Observa-se baixa capacidade de armazenamento da água dos três tipos de palhada, ou seja, 4,5 t/ha de resíduos de milho e milheto são capazes de interceptar e armazenar apenas 1,45 mm de água, enquanto os da soja só conseguem armazenar 1,18 mm.
- O modelo linear expressa o comportamento dos dados observados, permitindo estimar a capacidade de armazenamento de água em função da quantidade das palhadas de milho, milheto e soja.

5.1.2. Relação entre quantidade de palha e cobertura do solo

- As taxas de cobertura são praticamente equivalentes para os três tipos de material onde 3,5 t/ha de palha de milho, soja e milheto cobrem 70%, 65% e 63% do solo, respectivamente.
- Observa-se que a palhada do milho cobre mais rapidamente o solo do que as de milheto e de soja. Isto é, para que o solo fique totalmente coberto são necessárias nove t/ha de resíduos de milho, enquanto para o milheto e a soja necessitam-se de 10 t/ha e 11 t/ha, respectivamente.
- O modelo exponencial expressa o comportamento dos dados observados, permitindo que a porcentagem de cobertura do solo seja estimada em função da quantidade e do tipo de resíduo remanescente no solo.

5.1.3. Intercepção da radiação solar

- Os três tipos de palhada apresentaram comportamentos similares na intercepção das quantidades das radiações PAR e IR, porém, a palhada do milho foi ligeiramente mais eficiente do que as de milheto e de soja, onde, são necessárias, aproximadamente, duas t/ha de palha de milho e de quatro t/ha de milheto ou de soja para que sejam interceptados 50% de quaisquer radiações.
- O modelo exponencial expressa o comportamento dos dados observados, permitindo que as porcentagens de radiações fotossinteticamente ativa (PAR) e infravermelha (IR) que chegam ao solo sejam estimadas em função da quantidade e do tipo de resíduo remanescente no solo.

5.1.4. Dinâmica da evaporação da água

A dinâmica de dessecação das palhadas de milho, milheto e soja foi estudada segundo dois formalismos simples:

1. A quantidade de água perdida pelos três tipos de palhada apresenta proporcionalidade direta com a evapotranspiração potencial, ou seja, ela é regida pela demanda evapotranspirativa.
2. A evaporação da água das palhadas é função da quantidade de água armazenada num instante t e da evapotranspiração potencial do instante $t+1$; nesse caso:
 - Um modelo de regressão linear múltipla expressa o comportamento dos dados observados, permitindo estimar a perda de água dos resíduos de milho, milheto e soja em função da quantidade de água inicial e da evapotranspiração potencial.

5.1.5. Escoamento superficial

- Os resíduos de milheto foram eficientes no controle do escoamento superficial onde do total de 843,5 mm de água precipitada durante o período experimental, apenas 45,5 mm foram perdidos pelo escoamento superficial no sistema de plantio direto (5,4% do total),

enquanto no sistema convencional as perdas de água foram de 222,5 mm que correspondem a 26,4% do total de água precipitado.

- A função que caracteriza os efeitos dos resíduos sobre o escoamento superficial é muito simples, podendo apresentar incertezas quando o modelo for usado em cenários diferentes dos da calibração.

5.1.6. Decomposição dos resíduos de milho

- O plantio convencional parece favorecer ligeiramente a decomposição dos resíduos de milho;
- Constatou-se que depois de 230 dias, 90% e 80% dos resíduos de milho tinham sido decompostos nos sistemas convencional e plantio direto, respectivamente.
- O modelo exponencial expressa o comportamento dos dados observados, permitindo estimar a porcentagem dos resíduos remanescentes no solo em função do tempo, conseqüentemente, estimar a porcentagem de decomposição deles ao longo do tempo.

Este estudo, além de ter quantificado os principais efeitos de vários níveis de resíduos de milho, milho e soja na dinâmica da água no sistema de plantio direto, permite sua modelagem, mesmo mediante equações matemáticas simples, possibilitando sua incorporação no módulo de balanço de água no solo de um modelo de cultivo.

5.2. Aquisição dos dados para a calibração do modelo stics: comparação dos sistemas plantio direto e convencional

As análises dos dados obtidos no acompanhamento das parcelas experimentais sob os sistemas convencional e plantio direto permitiram concluir que:

- A comparação entre as médias do índice de área foliar do milho nos sistemas convencional e plantio direto revelou que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade;

- Não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, do número grãos de milho por m², do peso seco de 1 grão, do rendimento de grãos e da biomassa total produzidos nos sistemas convencional e plantio direto.
- A produção de biomassa do milheto foi muito baixa em função da data de plantio e da pouca disponibilidade de água no solo. Porém, essa quantidade de palhada pode ser considerada importante para o sistema plantio direto, pois, 3,5 t/ha é capaz de cobrir 63% do solo e interceptar e armazenar 1,2 mm de água da chuva.
- O modelo STICS simulou as datas de florescimento da cultura do milheto, cujo ajuste entre os dados observados e os simulados apresentou coeficiente de determinação $R^2 = 0,80$.
- A disponibilidade de água no solo no plantio direto em relação ao convencional, durante o ciclo do milho, foi em média 50 mm mais elevada.

5.3. Calibração do modelo *STICS* para as culturas do milho e do milheto nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto

- Com a realização desta pesquisa, foi possível entender e quantificar os principais impactos dos resíduos de soja, milho e milheto sobre os fluxos hídricos no sistema de plantio direto.
- Mediante o uso de uma abordagem simples de modelagem, geraram-se equações empíricas que foram incorporadas ao módulo de balanço hídrico do modelo STICS, visando a representar a influência desses resíduos sobre a interceptação da radiação solar e da água da chuva e sobre as perdas de água por escoamento superficial.
- A partir dessa incorporação, o modelo simulou o crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho no sistema convencional, bem como a sequência milho-milheto no sistema de plantio direto, mostrando as diferenças do escoamento superficial, da evaporação da água do solo e da transpiração das plantas nos respectivos sistemas.
- O modelo estimou o índice de área foliar (IAF) das culturas do milho e do milheto. Os ajustes entre os valores observados e os simulados dessa variável resultaram em coeficientes de determinação (R^2) sempre superiores a 0,83.

- A pequena diferença percentual observada entre a matéria seca total medida e a simulada das culturas do milho e do milheto permitem afirmar que o modelo STICS também simulou a biomassa total das duas culturas.
- Mesmo apresentando ligeira tendência de superestimar a água no solo, nos dois sistemas de manejo estudados, pode-se afirmar que o STICS simulou a dinâmica da água no solo, tanto no sistema convencional, onde apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,81, quanto no sistema de plantio direto com $R^2 = 0,87$, resultantes da análise de regressão linear entre os valores observados e simulados.
- A diferença percentual entre os valores observados e simulados inferiores a 10%, indica que o modelo simulou o rendimento de grãos da cultura do milho de forma satisfatória.
- Pelos resultados obtidos do modelo STICS, observa-se que o sistema de plantio direto apresentou vantagens sobre o de manejo convencional do solo, no que diz respeito à melhor conservação de água, ou seja, nesse sistema, houve menos escoamento superficial e evaporação do solo, disponibilizando mais água para as culturas do milho e do milheto.
- A coerência dos resultados apresentados pela calibração do modelo STICS neste estudo, indica que esse modelo pode ser considerado uma ferramenta para quantificar os termos do balanço hídrico da cultura do milho, tanto no sistema convencional quanto no plantio direto, nas condições de um latossolo do Cerrado brasileiro.

5.4. Aplicação do modelo STICS para avaliar o risco climático do milho nos sistemas convencional e plantio direto

5.4.1. Efeitos dos resíduos de milheto e do tipo solo sobre o balanço hídrico do milho nos sistemas convencional e plantio direto

- Para os dois tipos de clima analisados, o balanço hídrico no plantio direto foi mais vantajoso do que no convencional, pois, apresentou maior disponibilidade de água para a planta.

- A vantagem na disponibilidade de água para a planta depende do tipo de solo, da oferta climática e da data de plantio. O plantio direto, em solo argiloso, nas duas localidades, na maioria dos anos e datas estudados, disponibilizou mais água do que o de textura média.
- Os dois sistemas, tanto em solo textura média quanto em argiloso, igualaram-se na disponibilidade de água para o milho em anos considerados extremos, ou seja, anos muito secos ou muito úmidos.
- Em condições de veranico, o plantio direto foi mais eficiente na conservação da água do solo do que o sistema convencional.
- A evaporação da água do solo no sistema de plantio direto, tanto no solo textura média quanto no argiloso, foi sempre inferior à do plantio convencional para todas as datas de plantio, porém, os efeitos dos resíduos sobre a evaporação da água do solo variaram de acordo com o tipo de solo, a data de plantio e o ano climático.
- A transpiração do milho no sistema de plantio direto, tanto no solo textura média quanto no argiloso, foi superior à do sistema convencional na maioria dos anos estudados. Os efeitos dos resíduos sobre a transpiração do milho variaram de acordo com o tipo de solo, a data de plantio e o ano climático.

5.4.2. Análise do risco climático do milho

5.4.2.1. Em Planaltina

- As melhores datas encontradas para o plantio do milho, nos dois sistemas e solos estudados, foram: 15 de outubro, 15 de novembro e 15 de dezembro cujos rendimentos mínimos esperados, três em cada quatro anos, superaram 8000 kg.ha⁻¹. Já 15 de fevereiro foi a que apresentou menor potencial para produção do milho.
- As probabilidades de o rendimento do milho, em solo textura média, serem iguais ou superiores a 9000 kg.ha⁻¹, foram 75% e 82% para o plantio em 15 de outubro nos sistemas convencional e plantio direto, respectivamente. Quando se plantou mais tarde, a probabilidade de ultrapassar esse valor diminuiu.

- Não se observou, em nenhum dos anos estudados, rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹ quando o milho foi plantado em 15 de fevereiro.
- As maiores probabilidades para se alcançar rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹ foram encontradas para o sistema plantio direto, em solo argiloso, com 87% de chances para o plantio em 15 de outubro.
- Para o plantio em 15 de fevereiro, no solo argiloso, a probabilidade de o rendimento ser igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹ foi de: 1 em cada 20 anos para o sistema convencional e de 1 em cada 8 anos para o plantio direto. Portanto, essa data pode ser considerada como a de maior risco climático para o plantio do milho nos dois sistemas e solos analisados.

5.4.2.2. Em Passo Fundo

- As melhores datas encontradas para o plantio do milho, nos dois sistemas e solos estudados, foram: 15 de outubro e 15 de novembro cujos rendimentos mínimos esperados, três em cada quatro anos, superaram 7000 kg.ha⁻¹. Já as datas: 15 de janeiro e 15 de fevereiro foram as que apresentaram menor potencial para produção do milho.
- As probabilidades de o rendimento do milho, em solo textura média, serem iguais ou superiores a 9000 kg.ha⁻¹, foram 64% e 69% para o plantio em 15 de novembro, nos sistemas convencional e plantio direto, respectivamente. A probabilidade de ultrapassar esse valor foi menor quando se plantou em 15 de outubro (60% e 65%), 15 de dezembro (46% e 47%), 15 de janeiro (10% para os dois sistemas).
- Não se observou, nos dois sistemas e solos estudados, rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹ quando o milho foi plantado em 15 de fevereiro.
- As maiores probabilidades para se obter rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹, em solo argiloso, foram encontradas no sistema plantio direto, sobretudo, para o plantio em 15 de novembro, quando se encontrou uma probabilidade de 78%. No plantio convencional, a melhor data foi 15 de outubro, com 64% de chances, seguido de 15 de dezembro, com 84%. Esta última data foi também a que mais favoreceu a cultura no sistema convencional, quando 8 em cada 10 anos, o rendimento potencial simulado foi superior a 9000 kg.ha⁻¹.

- A data de maior risco para o plantio do milho, tanto no sistema convencional quanto no plantio direto, foi: 15 de fevereiro, pois, não se observou rendimento igual ou superior a 9000 kg.ha⁻¹ nos dois solos estudados.

Os resultados e as conclusões apresentadas neste estudo evidenciaram que todos os objetivos propostos foram atingidos, bem como a aceitação da hipótese testada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASE, J.K.; WIGHT, J.R.; SIDDOWAY, T.H. Estimating soil water content on native rangeland. **Agricultural Meteorology**, v.12, 1973. p.185-191.

ABRAHAMS, A.; PARSON, A. ; WAINWRIGHT, J. Resistance to overland flow on semiarid grassland and shrubland hillslopes, Walnut Gulch, southern Arizona. *Journal of Hydrology*, v.156, 1994. p.431-446.

ADÂMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L.G.de; NETTO, J.M. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J. (Ed.) **Solos dos Cerrados : tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC / São Paulo: Nobel, 1986. p.33-74.

AFFHOLDER, F. Empirically modeling the interaction between intensification and climatic risk in semiarid regions. **Fields Crops Research**, v.52, 1997. p.79-93.

AFFHOLDER, F. Modélisation de culture et diagnostic agronomique régional – mise au point d’une méthode et application au cas du maïs chez les petits producteurs du Brésil Central. Paris, 2001, 246p. Thèse de doctorat – Institut National Agronomique Paris-Grignon.

AFFHOLDER, F. ; SILVA, F.A.M. da ; Estudo exploratório das interações entre risco climático e técnicas de manejo das culturas na região dos cerrados, usando o modelo SARRA. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997. Piracicaba, Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável, **Anais**, Piracicaba : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.366-368.

AFFHOLDER, F.; COSTA RODRIGUES, G.; ASSAD, E. Modelo agroclimático para avaliação do comportamento do milho na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, 1997. p.993-1002.

AGGARWAL, P.K. ; KALRA, N. Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype, and water and nitrogen availability on productivity of wheat : II, Climatically potential yields and management strategies. **Fields Crops Research**, v.38, 1994. p.93-103.

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, jan/fev. 2001.

ARKIN G.F. ; VANDERLIP R.L. ; RITCHIE, J.T. A dynamic grain sorghum growth model. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, 630, 1976. p.622-626

ARREOLA TOSTADO, J.M. Etude et modelisation de l'effet des paillis sur le bilan hydrique – le cas de semis direct sous paillis au Mexique. Montpellier, 1996. 82p. Diplôme d'Etudes Approfondies – Université des Sciences et Techniques du Languedoc.

ARREOLA TOSTADO, J.M. Representation spatialisée de l'effet du semis direct sur paillis de résidus, dans l'état de Jalisco, Mexique. Dijon, 2000, 204p. Thèse de doctorat – Université de Bourgogne.

ASSAD, E.D. ; SANO, E.E.; MASUTOMO, R.; De CASTRO, L.H.R.; SILVA, F.A.M. da, Veranicos na região dos cerrados brasileiros : frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n.9, p.993-1002, 1993.

ASSAD, E.D. (Coord). Chuva nos Cerrados: análise e espacialização. Brasília: EMBRAPA-CPAC; EMBRAPA-SPI, 1994. 423P.

BIRCH, C.J. ; CARBERRY, P.S. ; MUCHOW, R.C. ; McCOWN, R.L. ; HARGREAVES, J.N.G. Development and evaluation of a sorghum model based on CERES-maize in a semi-arid tropical environment. **Fields Crops Research**, v.24, 1990. p.87-104.

BLANCANEUX, P. ; FREITAS, P.L. de ; CARVALHO, A.M. de ; AMABILE, R.F. ; COURET, S. Plantio direto como prática de conservação dos solos sob vegetação de cerrados no centro-oeste brasileiro. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia, GO, **Resumos...** Goiânia : SBCS, 1993, v.3, p.129-130.

BOND, J. ; WILLIS, W. Soil water evaporation : first stage drying as influenced by surface residue and evaporation potential. **Soil Science Society of America Journal**, v.34. 1970. p.924-928.

BOND, J. ; WILLIS, W. Soil water evaporation : surface residue rate and placement effects. **Soil Science Society of America Journal**, v.33. 1969. p.445-448.

BOOTE, K.J. ; JONES, J.W. ; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, v.88, n.5, 1996. p.704-716.

BOUZINAC, S. ; SÉGUY, L. Arroz na América Latina : Perspectiva para o incremento da produção e do potencial produtivo. In : CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE, 9, 1994, Goiânia. **Resumo**, Goiânia : EMBRAPA/CNPAP/APA, 1995, v.1, p.123-137, (EMBRAPA/CNPAP, Documentos, 60).

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**, (1961-1990), Brasília. 1992.

BRISSON, N. ; MARY, B. ; RIPOCHE, D. ; JEUFFROY, M.H. ; RUGET, F. ; NICOULLAUD, B. ; GATE, P. ; DEVIENNE-BARRET, F. ; ANTONIOLETTI, R. ; DURR, C. ; RICHARD, G. ; BEAUDOIN, N. ; RECOUS, S. ; TAYOT, X. ; PLENET, D. ; CELLIER, P. ; MACHET, J.M. ; MAYNARD, J.M. ; DELÉCOLLE, R. **STICS** : A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I, Theory and parameterization applied to wheat and corn, **Agronomie** v.18, 1998. p.311-346.

BRISTOW, K.L. ; CAMPBELL, G.S. Simulation of heat and moisture transfer through a surface residue-soil system. **Agricultural and Forest Meteorology**, 36. 1986. p.193-214.

BUSSIÈRE, F. ; CELLIER, P. Modification of the soil temperature and water content regimes by a crop residue mulch : experiment and modeling. **Agricultural and Forest Meteorology**, 68. 1994. p.1-28.

CÁPRIO, J.M. ; GRUNWALD, G.K. ; SNYDER, R.D. Effect of standing stubble on soil water loss by evaporation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.34, 1985. p.129-144.

CARBERRY, P.S. ; MUCHOW, R.C. ; McCOWN, R.L. Tensting the CERES-maize simulation model in a semi-arid tropical environment. **Fields Crops Research**, v.20, 1989. p.297-315.

CARPENEDO, V. ; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.99-105. 1990.

CARVALHO, A.M. DE; DAMASO, F.H.M.; CARNEIRO, R.G.; SODRÉ FILHO, J.; MOURA, L.L. Decomposição dos resíduos de espécies vegetais em sistemas de plantio direto e adubação verde. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27, Brasília, DF**. 1999. (Resumos. CD Rom).

CASTRO, O.M. de; De MARIA, I.C. Plantio direto e manejo do solo. In : **Curso sobre adubação verde no instituto agrônomo, 1,** Coor : WUTKE, E.B. ; BULISANI, E.A. ; MASCARENHAS, H.A.A. Campinas : Instituto Agrônomo, 1993. p.87-107.

CHAPMAN, S.C. ; HAMMER, G.L. ; MEINKE, H. A sunflower simulation model : I, Model development. **Agronomy Journal**, v.85, 1993. p.725-735.

CHENG-HUA, L. ; CHENG-LIN, M. Sois cover with organic mulch and its influences on soil physical parameters (III) – Soil temperature regime under organic mulch. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.13, n.3, 1997. p.80-83.

CHOPART, J.L. Development and validation of a model to describe root length density of maize from root counts on soil profiles. *Plant and Soil*, n.213, 1999. p.93-98.

CRUZ, J.C.; FILHO, I.A.P.; ALVARENGA, R.C.; SANTANA, D.P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v.22, n.208, p.13-24 , jan/fev. 2001.

CUNHA, G.R. ; HAAS, J.C. ; MOREIRA, M.B. ; ASSAD, E.D. Sistema de zoneamento de riscos climáticos para a cultura de trigo no Brasil (ZonTrigo v.1.0). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.6, n.1, 1998. p.125-132.

DE JONG, R. Soil water models : a review. Agriculture Canadá / Research Branch. Ottawa. Tecnical Bulletin, n.123, 1994. 39p.

DE JONG, R. ; CAMERON, D.R, Cumputer simulation model for prediction soil water content profiles. **Soil Science**, v.128, 1979. p.41-48.

DE JONG, R. ; SHAYKEWICH, C.F. A soil water budget model with a nearly impermeable layer. **Canadian Journal of Soil Science**, v.61, 1981. p.361-371.

DENARDIN, J.E. ; KOCHHANN, R.A. Requisitos para implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In : **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo : Aldeia Norte, 1993. p.19-27.

DERPSCH, R. Agricultura sustentável. In : SATURNINO, H.M. ; LANDERS, J.N. (Eds.) **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília : EMBRAPA/SPI, 1977. p.29-48.

DERPSCH, R. ; ROTH, C.H. ; SIDIRAS, N. ; k ÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil : **Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn : GTZ/Londrina : IAPAR, 1990. 268p.

DERPSCH, R.; BENITES, J.R. Situation of conservation agriculture in the world. In: **World Congress Conservation Agriculture, 2, Foz do Iguaçu/PR - Brasil**. 2003. (Resumos. CD Rom).

DOUAY, C. Contribution à l'explication de la variabilité des rendements de maïs dans une petite région agricole du Brésil. Tèse DAA ENSAM, Montpellier, 49p. 1997.

EGLI, D.B. ; BRUENING, W, Planting date and soybean yield : Evaluation of environmental effects with a crop simulation model : SOYGRO. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.62, 1992. p.19-29.

ELTZ, F.L.P. ; PEIXOTO, R.T.G. ; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo de solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.13, n.2, p.259-267. 1989.

EMBRAPA. Embrapa cerrados e a região dos cerrados : informações básicas e dados estatísticos. Embrapa Cerrados (CPAC), 1998. 24P.

EWING, E.E. ; HEYM, W.D. ; BATUTIS, E.J. ; SNYDER, R.G. ; Ben KHEDHER, M. ; SANDLAN, K.P. ; TURNER, A.D. Modifications to the simulation model POTATO for use in New York. **Agricultural System**, v.33, 1990. p.173-192.

FARIAS, J.R.B. ; ASSAD, E.D. ; ALMEIDA, I.R. de ; EVANGELISTA, B.A. ; SILVA, F.A.M. da ; BEZERRA, H.S. ; LAZZAROTTO, C. Identificação de regiões com risco de déficit hídrico à cultura da soja. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba, Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável, **Anais**, Piracicaba : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997a. p.345-347.

FARIAS, J.R.B.; MARAUX, F.; NEUMAIER, N.; da COSTA VAL, W.N. Avaliação da estimativa do rendimento de grãos da cultura da soja pelo modelo SARRA. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável. **Anais**, Piracicaba : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997b. p. 366-368.

FILHO, A.C. ; BALOTA, E.L. ; ANDRADE, D.S. Plantio direto : microrganismos e processos. In : I Curso de atualização em fertilidade e biodinâmica no sistema plantio direto, 20 a 22 de setembro de 2000. Uberlândia-MG. Realização : Associação de Plantio Direto no Cerrado – APDC/UFU. [S.l : s.n., s.d.], Apostila. 2000.

FILHO, E.L.B. O desenvolvimento do plantio direto no Brasil. A conjunção de interesses entre agricultores, Indústrias e o Estado. 2001. Tese (Doutorado) IE. Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2001.

FINDELING A.; RUY, S.; SCOPEL, E. Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *Journal of Hydrology*, v.275, 2003. p.49-66.

FITZPATRICK, E.A. ; NIX, H.A. A model for simulating soil water regime in alternanting fallow-crop systems. **Agricultural Meteorology**, v.12, 1969. p.303-319.

FOREST, F.; CLOPES, A. Contribution à l'explication de la variabilité du rendement d'une culture de maïs plus ou moins intensifiée à l'aide d'un modèle de bilan hydrique. In: REYNIERS, F.N.; NETOYO, L. (eds) **Bilan Hydrique et Sécheresse en Afrique Tropicale**. J. Libbey Eurotext, Paris. p.3-15..1994.

GICHERU, P. Effects of residue mulch and tillage on soil moisture conservation. **Soil Technology**, v.7, 1994. p.209-220.

GILLEY, J.E.; FINKNER, S.C.; SPOMER, R.G.; MIELKE, L.N. Runoff and erosion as affected by corn residue. II Rill end interrill components. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.29, n.1, 1986. p.157-160.

GOEDERT, W.J. Solos dos Cerrados : tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina: EMBRAPA-CPAC / São Paulo: Nobel, 1986. 422p.

GONZALEZ-SOSA, E. ; BRAUD, I. ; JEAN-LOUIS, T. ; MICHEL, V. ; PIERRE, B. ; JEAN-CHRISTOPHE, C. Modelling heat and water exchanges of fallow land covered with plant-residue mulch. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97. 1999. p.151-169.

GRAF, B. ; RAKOTOBÉ, O. ; ZAHNER, P. ; DELUCCHI, V. ; GUTIERREZ, A.P. A simulation model for the dynamics of rice growth and development : Part I – The carbon balance. **Agricultural Systems**, v.32. 1990a. p.341-365.

GRAF, B. ; RAKOTOBÉ, O. ; ZAHNER, P. ; DELUCCHI, V. ; GUTIERREZ, A.P. A simulation model for the dynamics of rice growth and development : Part II – The competition with weeds for nitrogen and light. **Agricultural Systems**, v.32. 1990b. p.367-392.

GREGORY, J.M. Soil cover prediction with various amounts and types of crop residues. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.25, 1982. p.1333-1337.

HILLEL, D. ; TALPAZ, H. ; VAN KEULEN, H. A macro-scopic scale model of water uptake by a non-uniform root system and of water and salt movement in the soil profile. **Soil Science**, v.121. 1976. p.242-255.

HILLEL, D. ; VAN BAVEL, C.H.M. Dependence of profile water storage on soil texture and hydraulic properties : a simulation model. **Soil Science Society of America Journal**, v.40, 1976. p. 807-815.

HORIE, T. ; YAJIMA, M. ; NAKAGAWA, H. Yield forecasting. **Agricultural Systems**, v.40. 1992. p.211-236.

IDSO, S.; REGINATO, R.; JACKSON, R.; KIMBALL, B.; NAKAYAMA, F. The three stages of drying of field soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.38, 1974. p. 831-836.

JONES, J.W.; BOOTE, K.J.; HOOBENBOOM, G.; JAGTAB, S.S.; WILKERSON, G.G. Soybean crop growth simulation model, SOYGRO v.5,42, User Guide. **Florida Agric. Exp. Station Journal**, n.8304, 1989.

JONES, J.W.; MISHOE, J.W.; BOOTE, K.J. Introduction to simulation and modeling. Gainesville, ASPAC – Food & Fertilizer Technology Center, 1987. 19p. (Technical Bulletin, 100).

KANNEGANTI, V.R.; FICK, G.W. A warm-season annual grass growth model parameterized for maize and sudangrass. **Agricultural Systems**, v.36, 1991. p.439-470.

KEMPER, B.; DERPSCH, R. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brasil. **Soil and Tillage Research**, v.1, 1981. p.253-267.

KLUTHCOUSKI, J.; PINHEIRO, B.S.; YOKOYAMA, L.P. Arroz na América Latina : Perspectiva para o incremento da produção e do potencial produtivo. In : CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE, 9, 1994. Goiânia. **Resumo**. Goiânia : EMBRAPA/CNPAF/APA, 1995, v.1, (EMBRAPA/CNPAF, Documentos, 60)

KOK, H.; THIEN, J. RES-NTILL: Crop residue conservation and tillage management software. **Journal of Soil and Water Conservation**, v 49, 1994. p.551-553.

LAL, R. Mulching effects on runoff, soil erosion and crop response on alfisols in western Nigeria, **J. Sustain. Agric.**, v.11, 1998. p.135-154.

LOMBARDI NETO, F. Práticas conservacionistas em microbacias. In: DRUGOWICH, M.I.; PECHE FILHO, A.; CARVALHO, L.R.V. de; SILVA, J.C.R. da; SANTOS, P. dos, **Mecanização conservacionista: noções básicas**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1990. p.93-117.

LOOMIS, R.S. ; WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity : An estimate. **Crop Science**, v.3, 1963. p.67-72.

LORBER, M.N. ; FLUCK, R.C. ; MISHOE, J.W. A method for analysis of sugarcane (*Saccharum sp*) biomass production systems. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.158, 1984. p.146-152.

MEINKE, H. ; HAMMER, G.L. ; CHAPMAN, S.C. A sunflower simulation model : II. Simulating production risks in a variable sub-tropical environment. **Agronomy Journal**, v.85, 1993. p.735-741.

MEIRELES, E.J.L. Utilização do modelo Cropgro – dry bean na análise de risco climático da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na região de cerrados. Piracicaba, 2000. 105p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MIYASAKA, S. ; OKAMOTO, H. Matéria orgânica. In : **Curso sobre adubação verde no instituto agrônomo, 1.**, Coor : WUTKE, E.B. ; BULISANI, E.A. ; MASCARENHAS, H.A.A. Campinas : Instituto Agrônomo, 1993. p.1-12.

MOEN, T.N. ; KAISER, H.M. ; RIHA, S.J. Regional yield estimation using a crop simulation model : Concepts, Methods, and validation. **Agricultural Systems**, v.46, 1994. p.79-92.

MONTEITH, J. The quest balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, v.88, 1996. p.695-697.

MUCHOW, R.C. ; HAMMER, G.L. ; VANDERLIP, R.L. Assessing climatic risk to sorghum production in water-limited subtropical environments : II. Effects of planting date, soil water at planting, and cultivar phenology. **Fields Crops Research**, v.36, 1994. p.235-246.

MUCHOW, R.C. ; SINCLAIR, T.R. ; BENNETT, J.M. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. **Agronomy Journal**, v.82, 1990. p.338-343.

MYROLD, D. ; ELLIOT, L. ; PAPENDICK, R. ; CAMPBELL, G. Water potential-water content characteristics of wheat straw. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, 1981. p.329-333.

NOVAK, M. ; CHEN, W. ; HARES, M. Simulating the radiation distribution within a barley-straw mulch. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.102. 2000. p.173-186.

PANDOLFO, C. ; PEREIRA, E.S. ; RAMOS, A.M. ; MASSIGNAM, A.M. ; MIRANDA Jr., G.X. ; THOMÉ, V.M.R. Sistema computacional para elaborar o zoneamento agrícola para o Estado de Santa Catarina – ZONEXPERT 1.0. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11 ; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2,, 1999. Florianópolis-SC. **Anais,,,** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. p.325.

PASSIOURA, J.B. Simulation models: science snake oil education ou engineering ? **Agronomy Journal**, v.88, 1996. p.690-694.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Society London, Ser A. v.193, 1948. p.120-145.

PINTO, H.S. ; ZULO Jr., J; BRUNINI, O. ; ALFONSI, R.R. ; CAMARGO, R.B.P. de ; CORAL, G. ; BARBANO, M.T. Um modelo para estimativa de danos causados por geadas em cafezais. In : SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1,, 2000. Poços de Caldas. **Resumos expandidos,,,** Brasília : Embrapa Café ; MINASPLAN, 2000. p.120-122.

PLACE, R.E. ; BROWN, D.M. Modelling corn yields from soil moisture estimates : Description, sensitivity analysis and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.41. 1987. p.31-56.

REATTO, A.; BROSSARD, M; MARTINS, E. S; CARVALHO, A.M.; MENDES, I.C. Transformações morfológicas e físicas de um latossolo vermelho-amarelo argiloso gibbsítico em sistemas de cultivo intensivos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28, 2001. **Resumos...**, Londrina – PR. Londrina, SBCS, 2001.5p.

RESK, D.V.S. Parâmetros físicos dos solos da região dos cerrados. Brasília, EMBRAPA-DID, 1981. 17p. (EMBRAPA-CPAC, Boletim de Pesquisa, 2).

RITCHIE, J.T. ; BURNETT, E. Dryland Evaporative Flux in a Subhumid Climate: II Plante Influences. **Agronomy Journal**, v.63, 1971. p.56-62.

ROBERTSON, M.J. ; FUKAI, S. HAMMER, G.L. ; LUDLOW, M.M. Modelling root growth of grain sorghum using the CERES approach. **Fields Crops Research**, v.33, 1993. p.113-130.

ROMEIRO, A.R. Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura. São Paulo. Annablume: FAPESP, 1998. 272P.

ROTH, C.H. Infiltrabilidade num latossolo roxo distrófico durante o período vegetativo da soja preparo convencional, escarificação e plantio direto. In :CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19. Curitiba, 1983, **Anais**,,,Campinas : SBCS, 1983. p.108.

ROWSE, H.R. Simulation of the water balance of soil columns and fallow soils. **Journal of Soil Science**, v.26. 1975. p.337-349.

ROWSE, H.R. ; STONE, D.A. ; GERWITZ, A. Simulation of the water distribution in soil. II. The model for cropped soil and its comparison with experiment, **Plant and Soil**, v.49. 1978. p.533-550.

RUEDELL, J. A soja numa agricultura sustentável. In: SILVA, M.T.B. da (Ed.). **A soja em rotação de culturas no plantio direto**. Cruz Alta, RS: FUNDACEP-FECOTRIGO, 1998. p.1-34.

SALIM, C. As políticas estatais e desenvolvimento agrário dos Cerrados: consequências econômicas e sociais do POLOCENTRO. 1981. Tese (Doutorado) ICH. Universidade de Brasília, Brasília, 1981.

SALTON, J.C. ; HERNANI, L.C. ; FONTES, C.Z. **Sistema plantio direto. O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília : Embrapa-SPI ; Dourados : Embrapa-CPAO, 1998. 248p. ; (Coleção 500 Perguntas 500 Respostas).

SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. de. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 556p.

SANO, E.E. ; ASSAD, E.D. ; MOREIRA, L. ; MACEDO, J. Estruturação de dados geoambientais no contexto de fazenda experimental. In: ASSAD, E.D; SANO, E.E. (Eds.) **Sistemas de informações geográficas. Aplicações na agricultura**. Brasília: Embrapa - SPI / Embrapa – CPAC, 1998. p.95-118.

SANS, L.M.A. ; ASSAD, E.D. ; AVELAR, G. ; FARIA, C.M. ; SOUZA, L.F. Riscos climáticos para a cultura da milho nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997. Piracicaba. Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável, **Anais**, Piracicaba : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.357-359.

SANTOS, P.F.; WHITFORD, W.G. The effects of micro arthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem. **Ecology**, v.62, n.3. 1981. p.654-663.

SATURNINO, H.M. Evolução do plantio direto e as perspectivas nos cerrados. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v.22, n.208, p.5-12, jan/fev. 2001.

SATURNINO, H.M. ; LANDERS, J.N. (Eds,) **O meio ambiente e o plantio direto**. Brasília : EMBRAPA/SPI, 1977. 116p.

SATURNINO, H.M. Importância do avanço do plantio direto nos trópicos. In : CABEZAS, W.A.R.L. ; FREITAS, P.L. de, (Eds.) **PLANTIO DIRETO NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**. Uberlândia : Universidade Federal de Uberlândia, 2000. p.15-23.

SAVABI, M. ; STOTT, D. Plant residue impact on rainfall interception. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.37, n.4. 1994. p.1093-1098.

SCOPEL, E. Le semis direct avec paillis de résidus dans la région de V. Carranza au Mexique : Intérêt de cette technique pour améliorer l'alimentation hydrique du maïs pluvial en zones à pluviométrie irrégulière. Paris, 1994. 334p. Thèse de doctorat – Institut National Agronomique Paris-Grignon.

SCOPEL, E. ; MULLER, B. ; ARREOLA-TOSTADO, J.M. ; CHÁVEZ-GUERRA, E. ; MARAUX, F. Quantifying and modeling the effects of a light crop residue mulch on the water balance : an application to rainfed maize in western Mexico. In : **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 16, 1998. Montpellier – France. CD ROM.

SÉGUY, L. ; BOUZINAC, S. ; TRENTINI, A. ; CORTÊS, N. de, Agricultura brasileira das frentes pioneiras. In : **Agriculture et development**, Montpellier, França. Special Issue. Montpellier : CIRAD, 1998. p.2-38.

SHAXSON, T.F.; HUDSON, N.W.; SANDERS, D.W.; ROOSE, E.; MOLDENHAUER, W.C. Land husbandry: A framework for soil and water conservation. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society, 1989.

SHIKI, S. Sustentabilidade do sistema agroalimentar nos Cerrados: busca de uma abordagem incluyente. *Revista de Agricultura Sustentável*. Jaguariúna, v.2, n.1, 1995. p17-30.

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, p.103-106. 1983.

SIDIRAS, N. ; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.9, p.249-254. 1986.

SILVA, F.A.M. da ; GODOY, M.J.S. ; ASSAD, M.L.L. Definição da data de plantio para a cultura do milho em função dos diferentes tipos de solo e manejo na bacia do rio Jardim-DF. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11 ; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2,, 1999. Florianópolis-SC. **Anais**,,,, Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. p.224.

SILVA, F.A.M. da ; LOPES, T.S.S. ; EVANGELISTA, B.A. ; ASSAD, E.D. ; PINTO, H.S. ; ZULO Jr., ; BRUNINI, O. ; CORAL, G. Delimitação das áreas aptas do ponto de vista agroclimático para o plantio do café (*Coffea arabica*) no Estado de Goiás. In : SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1,, 2000a, Poços de Caldas. **Resumos expandidos**,,,, Brasília : Embrapa Café/MINASPLAN, 2000. p.126-128.

SILVA, F.A.M. da ; SANTOS, E.R.A. ; EVANGELISTA, B.A. ; ASSAD, E.D. ; PINTO, H.S. ; ZULO Jr., ; BRUNINI, O. ; CORAL, G. Delimitação das áreas aptas do ponto de vista agroclimático para o plantio do café (*Coffea arabica*) no Estado de Goiás. In : SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1,, 2000b, Poços de Caldas. **Resumos expandidos**,,,, Brasília : Embrapa Café : MINASPLAN/2000. p.123-125.

SINCLAIR, T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. I. Model development. **Field Crops Research**, v.15, 1986. p.125-141.

SINCLAIR, T.R. ; SELIGMAN, N.G. Crop modeling : From infancy to maturity. **Agronomy Journal**, v.88, n.5, 1996. p.698-703.

SINCLAIR, T.R.; SELIGMAN, N.G. Criteria for publishing papers on crop modeling. **Field Crops Research**, v.68, 2000. p.165-172.

SOUSA, D.M.G. de, Principais aspectos da fertilidade do solo sob plantio direto em solos do cerrado. In : I Curso de atualização em fertilidade e biodinâmica no sistema plantio direto, 20 a 22 de setembro de 2000. Uberlândia-MG. Realização : Associação de Plantio Direto no Cerrado – APDC/UFU. [S.l : s.n., s.d.], Apostila. 2000.

STAPER, M. ; HARRIS, H.C. Assessing the productivity of wheat genotypes in a mediterranean climate, using a crop-simulation model. **Fields Crops Research**, v.20. 1989. p.129-152.

STEINER, J. Tillage and residue effects on evaporation from soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.53. 1989. p.911-921.

STONE, L.F. ; SILVEIRA, P.M. da, Efeito do preparo do solo na compactação e disponibilidade de água do solo e no desenvolvimento radicular e produtividade do feijoeiro irrigado por aspersão. In : REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5, 1996. Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia : EMBRAPA-CNPAF, 1996. v.1, p.459-461.

STUFF, R.G. ; DALE, R.F. A soil moisture budget model accounting for shallow water table influences. **Soil Science Society of America Journal**, 42. 1978. p.637-643.

SUR, H.S. ; MASTANA, P.S. ; HADDA, M.S. Effects of rates and modes of mulch application on runoff, sediment and nitrogen loss on cropped and uncropped fields. **Tropical Agriculture**, v.1, 1992. p.319-322

TIMSINA, J. ; GARRITY, D.P. ; PENNING De VRIES, F.W.T. ; PANDEY, R.K. Yield stability of cowpea cultivars in rice-based cropping systems : experimentation and simulation. **Agricultural Systems**, v.42. 1993. p.359-381.

TROJAN, M.; LINDEN, D. Macroporosity and hydraulic properties of earthworm-affected soils as influenced by tillage and residue management. **Soil Science Society of America Journal**, 62. 1998. p.1687-1692.

UNGER, P. ; PARCKER, J. Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum, and cotton residue. **Soil Science Society of America Journal**, v.40, 1976. p.938-942.

VARADAN, K. ; RAO, A. Effect of mulch on soil temperature in humid tropical latosols under coconut (*Cocos nucifera* linn) and banana (*Musa paradisiaca*). **Agricultural Meteorology**, 28, 1983, p.375-386.

WEIR, A.H. ; BRAGG, P.L. ; PORTER, J.R. ; RAYNER, J.H. A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. Cambridge. **Journal Agricultural Science**, v.102, 1984. p.371-382.

WUTKE, E.B. ; BULISANI, E.A. ; MASCARENHAS, H.A.A. **Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônômico, 1**, Campinas : Instituto Agrônômico, 1993. 121p.

WUTKE, E.B. Adubação verde : Manejo da fitomassa e espécies utilizadas no estado de São Paulo. In : **Curso sobre adubação verde no instituto agrônômico, 1**, Coor : WUTKE, E.B. ; BULISANI, E.A. ; MASCARENHAS, H.A.A. Campinas : Instituto Agrônômico, 1993. p.17-29.

YOUNG Jr., H.M. No-tillage farming. Wiscosin : No-till farmer. Inc., Brookfield. 1982. 167p.

ZULO Jr., J. ; PINTO, H.S. ; BRUNINI, O. ; ASSAD, E.D. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro no estado de São Paulo. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11 ; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999. Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia.

7. ANEXOS

Anexo 3.1. Descrição dos solos das parcelas experimentais. (Fonte: REATTO et al., 2001)

Perfil A2 (Plantio direto milho - milheto)

Data: 22/02/2000.

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO A antrópico Distrófico textura argilosa relevo plano fase Cerrado Típico gibbsítico.

Relevo: plano.

Erosão: ausente.

Altitude: 1184 m

Litologia e material originário: metaritmito argiloso do Grupo Paranoá e material de origem couraça laterítica

Drenagem: acentuadamente drenado.

Vegetação original: Cerrado Típico.

Uso atual: cultura de milho com 98 dias, anteriormente sob cultura de safrinha de milheto.

Observações: descrição do perfil cultural perpendicular à linha de plantio.

Descrição Morfológica

Ap – (0-5 cm), bruno (7,5 YR 4/4, cor úmida); fortes poucos grandes blocos angulares, forte freqüente médios blocos angulares e fraca abundante pequena granular; transição abrupta, horizontal ou plana; presença de abundante raízes fasciculadas muito pequenas nas linhas de plantio, concentradas em todo horizonte.

AB – [5± 20 a 25 cm], (5-20 cm) bruno forte (7,5YR 4/6, cor úmida); moderados poucos médios blocos angulares e fracos freqüente pequenos blocos angulares; (++) medianamente adensado, fraco abundante pequena granular; transição clara, ondulada ou sinuosa; raras raízes fasciculadas muito pequenas em toda extensão; presença de camada muito adensada (+++) entre 20 a 25cm, (7,5YR 5/6, cor úmida forte freqüente pequeno a médio blocos angulares.

BA – [20± 25-50 cm]. (40-50 cm), bruno forte (7,5 YR 5/7, cor úmida); fracos poucos pequenos blocos angulares e fraca abundante pequena granular; transição difusa, horizontal ou plana; raras raízes fasciculadas muito pequenas em todo horizonte; presença de camada pouco adensada (+), presença de abundante carvões pequenos; freqüente atividade biológica (raízes em decomposição); presença de argilas concêntricas com ϕ de 1 a 2 mm, os “fantasmas”.

Bw₁ – [50-130 cm]. (50-60 cm) bruno forte (7,5 YR 5/8, cor úmida); fracos raros pequenos blocos angulares; fraca abundante pequena a muito pequena granular; (80-90 cm) idem; presença de mosqueados abundante muito pequenos a pequenos (vermelho – 2,5 YR 4/8, cor

úmida) na profundidade de 100 cm; transição difusa, plana ou horizontal; poucas raízes fasciculadas muito pequenas em todo horizonte.

Perfil A3 (Plantio convencional - milho)

Data: 22/02/2000.

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO A antrópico Distrófico textura argilosa relevo plano fase Cerrado Típico gibbsítico.

Situação e declive: chapada, área de topo.

Relevo: plano.

Erosão: ausente.

Altitude: 1184 m.

Litologia e Material originário: metarritmito argiloso do Grupo Paranoá e material de origem couraça laterítica.

Drenagem: acentuadamente drenado.

Vegetação original: Cerrado Típico.

Uso atual: cultura de milho com 98 dias, sistema de manejo convencional.

Observações: descrição do perfil cultural perpendicular à linha de plantio.

Descrição Morfológica

Ap1 – (0-5 cm), bruno (7,5 YR 4/4, cor úmida); moderados poucos blocos grandes angulares e fracos poucos pequenos a médios blocos angulares, forte freqüente média granular, fraca abundante pequena granular; transição abrupta, horizontal ou plana; presença de freqüente raízes fasciculadas muito pequenas em todo horizonte e mais concentradas nas linhas de plantio; presença de pouco adensamento (+).

Ap2 – (5-10 cm), bruno (7,5 YR 4/4, cor úmida); fortes poucos blocos grandes angulares e moderados poucos pequenos a médios blocos angulares, forte freqüente média granular, fraca abundante pequena granular; transição abrupta, horizontal ou plana; presença de raras raízes fasciculadas muito pequenas em todo horizonte e mais concentradas nas linhas de plantio; presença de muito adensamento (+++); observa-se uma descontinuidade de plantio.

AB – [10-20 ± 30 cm]. (10-20 cm), bruno (7,5YR 4/4, cor úmida); moderado a forte poucos blocos médios angulares e fracos freqüentes pequenos blocos angulares e fraca abundante pequena granular; (20-30 cm), vermelho-amarelado (5 YR 5/6, cor úmida); fraca abundante pequena granular e fracos poucos pequenos blocos angulares; transição clara, ondulada ou sinuosa; raras raízes fasciculadas muito pequenas em toda extensão; presença de camada medianamente adensada (++) entre 10 a 20 cm e fortemente adensada entre 25 a 30 cm (++++).

BA – [20 ± 30 a 50 cm], amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, cor úmida); moderados freqüente pequeno a médios blocos angulares, forte freqüentes pequenas a média granular; (30-50 cm) moderados muito poucos pequenos blocos angulares, fraco abundante pequena granular; transição difusa, horizontal ou plana; raras raízes fasciculadas muito pequenas em todo horizonte.

Bw1 – (50-95 cm), vermelho-amarelado (4 YR 5/6, cor úmida), fortes raro grandes blocos subangulares, fracos poucos pequenos a médios blocos angulares, moderada freqüente média granular, fraca abundante pequena a média granular, fraca abundante pequena a muito pequena granular; transição difusa, plana ou horizontal; poucas raízes em decomposição; muito pouca atividade biológica (coprólitos).

Bw2 – (95-130 cm+), vermelho-amarelado (4 YR 5/6, cor úmida), fracos poucos médios blocos subangulares; fraca abundante muito pequena granular; raras raízes fasciculadas no horizonte; presença de pouca atividade biológica (coprólitos).

Observações: observa-se um selamento superficial entre as linhas, estrutura em blocos faciais subangulares médios a grandes, moderado a forte e presença de musgos; na linha de plantio estrutura de agregado granular pulverizado em pequeno a muito pequeno.

Anexo 3.2. Descrição do modelo STICS

1. INTRODUÇÃO

O **STICS**, descrito em detalhes por **BRISSON et al. (1998)**, é um modelo já adaptado para o sistema convencional de preparo do solo que simula o funcionamento do sistema solo-planta-atmosfera com o passo de tempo de um dia. Ele se apresenta como um modelo genérico com as seguintes características: robustez, pouca exigência por dados de entrada, características de construção modular com fácil adaptação a diversos tipos de culturas. Na Figura 3.10, apresentam-se o modelo conceitual e os principais processos básicos simulados, quais sejam: o crescimento e o desenvolvimento da cultura e os balanços de água e nitrogênio do sistema solo-planta. Eles estão compartimentados em sete módulos: desenvolvimento; crescimento aéreo; componentes do rendimento; crescimento radicular; balanço hídrico; ambiente térmico da cultura e balanço de nitrogênio. Serão descritas, a seguir, apenas as principais características do desenvolvimento, crescimento aéreo, componentes do rendimento, crescimento radicular e balanço hídrico.

A cultura é caracterizada por sua biomassa aérea (carbono e nitrogênio), índice de área foliar e o número e biomassa do grão (carbono e nitrogênio).

O solo é considerado como uma sucessão de camadas horizontais, sendo cada uma caracterizada por um conteúdo de água, nitrogênio mineral e orgânico. As raízes da planta, cuja função é propiciar as interações entre o solo e a planta, são definidas por sua distribuição e comprimento dentro do perfil do solo.

O crescimento da planta é guiado pelo balanço de carbono, isto é: a interceptação da radiação solar é feita pelo dossel, transformada em biomassa aérea (fotossíntese + distribuição entre o caule e as raízes) e, na fase final do ciclo, em produção de grãos. Como o balanço de nitrogênio depende parcialmente do balanço de carbono, ambos são simulados ao mesmo tempo. O desenvolvimento da cultura é controlado por um índice térmico (graus-dias) ajustado para efeitos fotoperiódicos. O módulo de desenvolvimento é usado para: a) definir as fases fenológicas da cultura e, em seguida, a evolução do índice de área foliar para cada fase; e b) definir a época de enchimento de grãos. A possibilidade de ocorrência de estresse hídrico ou

de nitrogênio é avaliada por três índices que podem reduzir o taxa de crescimento e a eficiência do uso da radiação solar quando a nutrição da planta for limitada. Esses índices são calculados dentro dos balanços de água e nitrogênio.

2. MÓDULOS DO STICS

2.1. Desenvolvimento da cultura

O modelo considera oito fases de desenvolvimento usadas para simular o índice de área foliar e o enchimento de grãos (Figura 3.2).

Fases vegetativas (Índice de área foliar)	Fases reprodutivas (Formação de grãos)
PLT: Plantio	
ILEV: Germinação	
IAMF: Aceleração do crescimento da área foliar, fim da fase juvenil	
ILAX: Área foliar máxima	
IDRP: Início do enchimento de grãos	
ISEN: Início da senescência	
IFIR: fim do crescimento do índice de colheita	
IMAT: Maturação fisiológica	
IREC: Colheita	

Figura 3.2. Fases vegetativas e reprodutivas das culturas simuladas pelo STICS.

A germinação ocorre quando a soma dos graus-dias, usando a temperatura do solo e a profundidade de plantio, atinge determinado limite em função da umidade do solo, definida pela seguinte equação:

$$STPLTGER = \sum_{I=IPLT} |(TSOL(PROFSEM) - TGMIN) \times PFZ(PROFSEM)|$$

onde:

STPLTGER = soma das unidades de desenvolvimento (germinação), graus-dias;

I = dia (início)

IPLT = data de plantio

TSOL = temperatura do solo, °C;

PROFSEM = profundidade de plantio, cm;

TGMIN = limite de temperatura mínima usada na emergência, °C;

PFZ = quantidade de água na camada 'Z'.

A taxa de crescimento do hipocótilo é definida por uma função que depende da temperatura do solo e da profundidade de plantio, descrita pela equação seguinte:

$$ELONG = ELMAX \left[1 - \exp \left(- \left(BELONG \times \sum TSOL(PROFSEM) - TGMIN \right)^{CELONG} \right) \right]$$

Se $TCULT < TDMIN$ $\Rightarrow UDEV CULT = 0$

Se $TDMIN < TCULT < TDMAX$ $\Rightarrow UDEV CULT = TCULT - TDMIN$

Se $TCULT > TDMAX$ $\Rightarrow UDEV CULT = TDMAX - TDMIN$

Onde:

ELONG = alongamento do hipocótilo, cm;

ELMAX = alongamento máximo do hipocótilo, cm;

BELONG = parâmetro da curva de alongamento do hipocótilo, (graus-dias);

CELONG = parâmetro da curva de alongamento do hipocótilo;

TCULT = média diária da temperatura da superfície, °C;

TDMIN = limite da temperatura mínima para o desenvolvimento, °C;

TDMAX = limite da temperatura máxima para o desenvolvimento, °C;

UDEV CULT = temperatura efetiva para o desenvolvimento calculada a partir da TCULT, °C;

TSOL = temperatura do solo, °C;

PROFSEM = profundidade de plantio, cm;

TGMIN = limite de temperatura mínima usada na emergência, °C;

PFZ = quantidade de água na camada 'Z';

O fotoperíodo é calculado pela seguinte fórmula:

$$RFPI = \frac{PHOI - PHOBASE}{PHOSAT - PHOBASE} e \rightarrow 0 \leq RFPI \leq 1$$

Sendo:

RFPI = efeito do fotoperíodo sobre o desenvolvimento da planta;

PHOI = fotoperíodo, h, é função da latitude;

PHOBASE = fotoperíodo base, h;

PHOSAT = fotoperíodo saturado, h.

A colheita é determinada pelo teor de água do grão, calculado a partir da maturação fisiológica (IMAT).

$$TEAUGRAIN = H2OGRMAT - DESSECGRAIN \times \sum_{I=IMAT} TCULT$$

O IREC é considerado quando $TEAUGRAIN \leq H2OGRAIN$.

2.2. Crescimento aéreo e desenvolvimento da cultura

O crescimento líquido da área foliar é calculado entre os estádios ILEV e ILAX:

$$DELTAI = \frac{DLAIMAX}{1 + \exp(5,5(2,2 - ULAI))} \times (TCULT - TCMIN) \times \min(TURFAC, INNS) \times EFDENSITE \times DENSITE$$

Onde:

LAI = índice de área foliar, m² de folhas.m⁻² de solo;

DELTAI = crescimento diário do índice de área foliar, m² de folhas.m⁻² de solo.dia⁻¹;

DLAIMAX = taxa máxima de crescimento do LAI, m² de folhas.m⁻² de solo.dia⁻¹;

ULAI = unidade de tempo fisiológico;

TCULT = temperatura média diária da superfície da planta, °C;

TCMIN = temperatura mínima de crescimento, °C;

TURFAC = índice de estresse de turgescência;

INNS = índice de estresse de nitrogênio;

EFDENSITE = efeito da densidade sobre o crescimento do LAI;

DENSITE = densidade de plantas, plantas.m⁻².

A unidade de desenvolvimento foliar (ULAI) assume valor 1 na emergência, 3 com o índice de área foliar máximo (ILAX) e 2,2 no final da fase juvenil. Entre esses três estádios, o modelo realiza uma interpolação linear com a unidade de desenvolvimento. O efeito de densidade (EFDENSITE) supõe que abaixo de determinada densidade (BDENS) não exista competição entre as plantas. O parâmetro ADENS representa a capacidade limite de a planta suportar o crescimento da densidade. Ele depende da espécie e, eventualmente, da variedade.

$$EFDENSITE = \left(\frac{DENSITE}{BDENS} \right)^{ADENS}$$

A radiação solar interceptada pela cultura (RAINT) obedece à Lei de Beer:

$$RAINT = 0,95 \times 0,50 \times TRG [1 - \exp(-EXTIN \times LAI)]$$

Sendo:

TRG = radiação solar global, MJm⁻²dia⁻¹,

EXTIN = coeficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa;

LAI = índice de área foliar.

O acúmulo da biomassa aérea (DLTAMS) é uma função quadrática da radiação solar interceptada pela cultura. Essa função considera a eficiência do uso da radiação máxima (EBMAX) que é específica para cada espécie e pode ser diferente durante as fases vegetativa e reprodutiva:

$$DLTAMS \times 100 = [EBMAX \times RRAINT - 0,0815 \times RRAINT^2] \times f(TCULT) \times SWFAC \times INNS$$

DLTAMS é função também da temperatura:

$$\text{Se } \rightarrow \text{TCULT} < \text{TCOPT} \rightarrow f(\text{TCULT}) = 1 - \left(\frac{\text{TCULT} - \text{TCOPT}}{\text{TCMIN} - \text{TCOPT}} \right)^2$$

$$\text{Se } \rightarrow \text{TCULT} \geq \text{TCOPT} \rightarrow f(\text{TCULT}) = 1 - \left(\frac{\text{TCULT} - \text{TCOPT}}{\text{TCMAX} - \text{TCOPT}} \right)^2$$

Sendo:

SWFAC = índice de estresse hídrico;

INNS = índice de estresse de nitrogênio;

TCOPT = temperatura ótima de crescimento, °C;

TCMAX = temperatura máxima de crescimento, °C.

2.3. Componentes do rendimento

O número de grãos (NBIGRAIN, t.ha⁻¹) é determinado durante os dias que antecedem ao enchimento de grãos (IDRP, dias). Ele depende da taxa de crescimento médio das plantas durante esse período (VTMOY, g.m⁻².dia⁻¹):

$$\text{NBIGRAINS} = \text{CGRAIN} \times \text{VITMOY} + \text{CGRAINVO}$$

O índice de colheita em função do carbono (IRCARB, g.grão.g⁻¹.planta) e o do nitrogênio (IRAZO, gN.grão gN.planta⁻¹) aumentam a partir da fase de enchimento de grãos (IDRP, dias) até o fim do crescimento do índice de colheita (IFIR, dias):

$$\text{IRAZO} = \text{VITIRAZO} \times (1 - \text{IDRP})$$

$$\text{IRCARB} = \text{VITIRCARB} \times (1 - \text{IDRP})$$

A massa do grão (MGRAIN, g.m²) e a quantidade de nitrogênio do grão (QGRAIN, kgN.ha⁻¹) são definidos por:

$$\text{MAGRAIN} = \text{IRCARB} \times \text{MASEC}$$

$$\text{QNGRAIN} = \text{IRAZO} \times \text{QNPLANTE}$$

Sendo:

MASEC = matéria seca da parte aérea, t.ha⁻¹;

QNPLANTE = quantidade de N absorvido pela planta kgN.ha⁻¹.

A massa de cada grão é calculada em seguida, com uma limitação:

$$PGRAIN = \min\left(\frac{MAGRAIN}{NBGRAINS}, PGRAINMAXI\right)$$

PGRAIN = peso de um grão, g;

PGRAINMAXI = peso máximo de um grão, g;

NBGRAIN = número de grãos, grãos.m².

2.4. Crescimento radicular

No STICS, o crescimento radicular não é considerado em termos de biomassa, o que é levado em conta é, apenas, sua profundidade máxima (ZRAC) no perfil de solo. A velocidade de crescimento das raízes depende da temperatura e da umidade do solo:

$$DELTAZ = CROIRAC \times [\min(TCULT, TCOPT) - TCMIN] \times PFZ(ZRAC)$$

Sendo:

DELTAZ = aprofundamento das raízes, cm,

CROIRAC = taxa de crescimento das raízes, cm.graus-dias⁻¹;

PFZ(Z) = condição da presença de água no solo (= 0 para HUMIN e =1 para qualquer outro teor de água;

ZRAC = profundidade radicular, cm.

A cada profundidade atingida pelo sistema radicular (ZRAC), faz-se corresponder uma densidade radicular (LRACZ(Z), cm raiz cm⁻³ solo), com forma sigmoideal e dependente dos parâmetros ZLABOUR (cm), ZPRLIM (cm) e ZPENTE (cm):

$$LRAC(Z) = \frac{LVPOT}{1 + \exp(-S(Z - ZDEMI))}$$

$$S = \left(\frac{-4.6}{ZLABOUR - ZPENTE} \right)$$

$$ZDEMI = \max \left(ZRAC - ZPRLIM + ZPENTE, \frac{1,4}{S} \right)$$

Considerando:

LVPOT = nível ótimo de densidade de raiz, (cm raiz cm⁻³ solo = (0,5));

ZDEMI = profundidade onde a densidade de raízes é ½ da densidade de raízes da camada superficial, cm;

ZLABOUR = profundidade de preparo do solo, cm;

ZPRLIM = profundidade máxima das raízes, cm.

ZPENTE = profundidade onde a densidade de raízes é ½ da densidade de raízes considerando todo o perfil de solo, cm;

S = parâmetro para cálculo da densidade de raízes, cm⁻¹,

2.5. Balanço hídrico

2.5.1. Evaporação da água do solo

As variáveis usadas para calcular o balanço de água do solo são a precipitação (e/ou irrigação) e a evapotranspiração de referência. As equações para os cálculos da evaporação do solo e a transpiração máxima foram construídas com base na evapotranspiração de referência de Penman. As características hídricas do solo (conteúdo de água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, densidade aparente do solo) são assumidas como constantes em cada horizonte. Para caracterizar todo o perfil do solo, é possível dividi-lo, no máximo, em cinco horizontes com várias camadas em cada um deles.

A evaporação do solo é calculada em duas fases: primeiro, calcula-se a evaporação potencial relacionada com a quantidade de energia disponível no solo e, em seguida, é feito o cálculo da evaporação atual, relacionada com a quantidade de água disponível. A evaporação potencial do solo (EOS, (mm.dia⁻¹)) é estimada a partir da evapotranspiração de referência (TETP, (mm.dia⁻¹)), usando a Lei de Beer:

$$EOS = TETP \times \exp[-(EXTIN - 0,2) \times LAI]$$

Existem dois estádios de evaporação. No primeiro, logo depois de uma chuva, o solo está com bastante umidade e propicia a evaporação potencial (EOS). No segundo, a evaporação é menor e seu decréscimo (A, (mm)) depende de um parâmetro climático (ACLIM, mm (20)) e do tipo de solo (quantidade de argila na superfície e conteúdo de água na capacidade de campo):

$$\sum_{SegundaFase} \rightarrow ES = \sqrt{2A \sum_{2^{a} fase} EOS + A^2 - A}$$

$$A = ACLIM/2 * (0,63 - HA)^{(5/3)} * (HCC * DA(1)/100 - HA)$$

$$HA = ARG1/1500$$

2.5.2. Transpiração máxima

EO (mm.dia⁻¹) representa a evapotranspiração máxima da planta quando o solo não apresenta limitação na sua reserva útil de água. Ela é função do índice de área foliar e faz uso do valor máximo do coeficiente (KMAX). KMAX é obtido quando o LAI atinge o valor máximo e depende da evapotranspiração de referência (TETP, (mm.dia⁻¹)) escolhida:

$$EO = TETP \left| 1 + \frac{KMAX - 1}{1 + \exp(-1,5LAI - 3)} \right|$$

O fluxo de transpiração máxima da planta (EOP, (mm.dia⁻¹)) depende da quantidade de energia disponível no seu dossel, sendo calculada pela diferença entre EO e EOS:

$$EOP = (EO - EOS) \times \left(1,4 - 0,4 \frac{ES}{EOS} \right)$$

2.5.3. Absorção de água

Com o passo de tempo diário usado pelo modelo, a absorção de água pelo sistema radicular é assumida como sendo igual à transpiração foliar. Primeiro, a absorção pelas raízes é calculada numa escala global e depois distribuída para as camadas do solo. A transpiração relativa (EP/EOP), isto é, a razão entre transpiração atual (EP, (mm.dia⁻¹)) e transpiração máxima (EOP, (mm.dia⁻¹)), é função da quantidade de água disponível na zona radicular (TETA, (cm³.cm⁻³)). Quando o conteúdo de água no solo é igual ao ponto de murcha permanente (HMIN - gramas de H₂O/gramas de solo), TETA assume o valor mínimo igual a zero, enquanto seu valor máximo é calculado subtraindo do conteúdo de água na capacidade de campo (HCC - gramas de H₂O/gramas de solo), o conteúdo de água no ponto de murcha permanente.

$$\text{Se } \rightarrow \text{TETA} > \text{TETSTOMATE} \Rightarrow \frac{\text{EP}}{\text{EOP}} = 1$$

logo, EP = EOP

$$\text{Se } \rightarrow \text{TETA} \leq \text{TETSTOMATE} \Rightarrow \frac{\text{EP}}{\text{EOP}} = \frac{\text{TETA}}{\text{TETSTOMATE}}$$

$$\text{Nesse caso: } \text{EP} = \frac{\text{TETA}}{\text{TETSTOMATE}} * \text{EOP}$$

O conteúdo de água considerado como limite entre o estágio de transpiração máxima e o de transpiração reduzida, depende da densidade radicular, funcionamento dos estômatos da planta e da demanda climática:

TETSTOMATE = limite de TETA, abaixo do qual SWFAC diminui, (cm³.cm⁻³);

$$\text{TETSTOMATE} = \frac{1}{40} \ln \left| \frac{\text{EOP}}{2\pi \text{CUMLRACZ} \times \text{PSISTO} \times 10^{-3}} \times \ln \left(\frac{1}{\text{RAYON}} \sqrt{\pi \frac{\text{CUMLRACZ}}{\text{ZRAC}}} \right) \right|$$

CUMLRACZ = total do comprimento das raízes, cm raiz.cm² de solo;

PSISTO = valor absoluto para fechamento dos estômatos, bars;

RAYON = raio médio das raízes, cm (0,02);

ZRAC = profundidade radicular, cm.

2.5.4. Índice de estresse hídrico

O índice de estresse hídrico (SWFAC) é calculado pela relação:

$$\text{SWFAC} = \frac{\text{EP}}{\text{EOP}}$$

O conteúdo residual de água do solo (HA) é calculado pela relação:

$$\text{HA} = \frac{\text{ARGI}}{1500}$$

$$\text{TETA} = (\text{HUR}(Z) - \text{HUMIN}(Z))$$

Sendo:

ARGI = teor de argila na camada superficial do solo, %.

HUR(Z) = conteúdo volumétrico de água na camada Z, mm.cm⁻¹,

HUMIN(Z) = conteúdo volumétrico mínimo de água na camada Z, mm.cm⁻¹

2.5.5. Temperatura da cultura e do solo

No STICS, o ambiente térmico da cultura é simulado com o uso da variável TCULT ou da temperatura do solo TSOL(Z) para os processos que ocorrem no solo. A temperatura da cultura é calculada por meio de um balanço diário de energia simplificado. Esse balanço considera as condições atmosféricas, isto é, os dados meteorológicos básicos e a evapotranspiração da cultura:

$$\text{TCULT} = \text{TMOY} + \frac{(\text{RN} - (\text{EP} + \text{ES}) \times 2,46) \text{RA}}{0,0864 \times 1200}$$

Sendo:

TMOY = temperatura média, °C.

RN (MJm⁻²dia⁻¹) - a radiação líquida diária calculada pela equação:

$$\text{RN} = [1 - 0,23 - (0,23 - \text{ALBSOL}) \times \exp(-0,75\text{LAI})] \times \text{TRG} \times 0,72 - 0,9504$$

Onde:

ALBSOL = albedo do solo;

TRG = radiação solar global, MJm⁻²dia⁻¹.

Os valores de albedo são diferentes para solos descobertos e com vegetação que assume valor 0,23. O albedo de solos descoberto varia com o tipo de solo e com o conteúdo de água na sua superfície:

$$ALBSOL = ALBEDO \left| 0,483(HUR(1) - HUMIN(1)) + \frac{HUCC(1) - HUR(1)}{HUCC(1) - HUMIN(1)} \right|$$

A temperatura da cultura (TCULT) é considerada como limite superior nos cálculos da temperatura do solo. Na profundidade Z, a amplitude térmica diária (AMPLZ) depende da amplitude térmica diária da superfície do solo (AMPLSURF) e é usada para calcular a temperatura do solo (TSOL(Z)):

$$AMPLSURF = 2(TCULT - TMIN)$$

$$AMPLZ = AMPLSURF \times \exp\left(-8,23 \frac{Z}{100}\right)$$

O valor 8,23 corresponde à difusão térmica de 5,37x10⁻³ cm².s⁻¹, calibrado para diversos tipos de solos sobre várias condições hídricas.

$$TSOL(Z) = TSOLVEILLE(Z) - \frac{AMPLZ}{AMPLSURF} (TCULVEILLE - TMIN) + 0,1 \left(TCULTVEILLE - TSOLVEILLE(Z) + \frac{AMPLZ}{2} \right).$$

Anexo 4.1. Taxa de cobertura do solo (%) em função da quantidade de resíduos de milho, milheto e soja (t/ha).

Tratamento (t/ha)	Tipo de resíduo					
	Milho		Milheto		Soja	
	Solo nu (%)	Cobertura (%)	Solo nu (%)	Cobertura (%)	Solo nu (%)	Cobertura (%)
0	100	0	100	0	100	0
0,5	85	15	82	18	87	13
1	71	29	78	22	82	18
1,5	63	37	67	33	75	25
2	49	51	58	42	51	49
2,5	41	59	53	47	44	56
3	37	63	41	59	40	60
3,5	30	70	37	63	35	65
4	25	75	26	74	32	68
5	10	90	11	89	25	75
6	4	96	7	93	17	83
8	3	97	4	96	10	90
9	0	100	2	98	5	95
10	-	-	0	100	3	97
11	-	-	-	-	-	100

Anexo 4.2. Porcentagens das radiações PAR e IR que chegam ao solo e que são interceptadas por diferentes quantidades de palhada de milho, milho e soja.

Quantidade (t/ha)	Milho				Milheto				Soja			
	Radiação PAR		Radiação IR		Radiação PAR		Radiação IR		Radiação PAR		Radiação IR	
	Intercep- tada (%)	No solo (%)	Intercep- tada (%)	No solo (%)	Intercep- tada (%)	No solo (%)	Intercep- tada (%)	No solo (%)	Intercep- tada (%)	No solo (%)	Intercep- tada (%)	No solo (%)
0,0	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
0,5	12	88	11	89	10	90	10	90	9	91	9	91
1,0	23	77	17	83	16	84	25	75	18	82	17	83
1,5	39	61	26	74	25	75	37	63	27	73	26	74
2,0	48	52	31	69	31	69	46	54	33	67	31	69
2,5	54	46	40	60	38	62	51	49	40	60	39	61
3,0	58	42	44	56	42	58	57	43	43	57	43	57
3,5	68	32	49	51	47	53	66	34	46	54	47	53
4,0	71	29	52	48	52	48	69	31	51	49	50	50
4,5	72	28	57	43	55	45	71	29	56	44	55	45
5,0	78	22	60	40	57	43	76	24	59	41	58	42
6,0	81	19	65	35	62	38	79	21	62	38	62	38
6,5	82	18	70	30	68	32	80	20	65	35	64	36
7,0	83	17	75	25	70	30	82	18	69	31	70	30
8,0	84	16	79	21	74	26	83	17	71	29	72	28
9,0	86	14	81	19	78	22	85	15	72	28	71	29
11,0	87	13	83	17	79	21	86	14	77	23	77	23
13,0	89	11	85	15	81	19	87	13	79	21	79	21
15,0	89	11	87	13	83	17	87	13	80	20	79	21
17,0	90	10	88	12	85	15	88	12	81	19	81	19

Anexo 4.3. Dinâmica da perda de umidade das diferentes quantidades de palhada do milho em função da energia recebida.

Hora	Tempo	ETP Dia (mm/dia)	ETP Hora (mm/h)	ETP Hora acumulada (mm/h)	ETP Captada (mm/h)	ETP Captada acumulada (mm/h)	Quantidade de palha (t/ha)	Umidade (%)	Evaporação acumulada (mm)	Evaporação acumulada/ água inicial
09:00	0	6,6	0,56	0,56	0,12	0,00	1,00	412,00		
10:00	1	6,6	0,78	1,34	0,17	0,17	1,00	230,00	0,18	44,17
11:00	2	6,6	0,91	2,25	0,19	0,36	1,00	143,00	0,27	65,29
12:00	3	6,6	0,96	3,21	0,20	0,57	1,00	89,00	0,32	78,40
13:00	4	6,6	0,89	4,10	0,19	0,76	1,00	49,00	0,36	88,11
14:00	5	6,6	0,85	4,95	0,18	0,94	1,00	34,67	0,38	91,59
15:00	6	6,6	0,64	5,59	0,14	1,07	1,00	17,33	0,39	95,79
16:00	7	6,6	0,28	5,87	0,06	1,13	1,00	13,33	0,40	96,76
09:00	0	6,6	0,56	0,56	0,35	0,00	4,00	276,00		
10:00	1	6,6	0,78	1,34	0,48	0,48	4,00	194,50	0,33	29,53
11:00	2	6,6	0,91	2,25	0,56	1,04	4,00	132,75	0,57	51,90
12:00	3	6,6	0,96	3,21	0,59	1,63	4,00	97,00	0,72	64,86
13:00	4	6,6	0,89	4,10	0,55	2,18	4,00	72,00	0,82	73,91
14:00	5	6,6	0,85	4,95	0,53	2,71	4,00	54,75	0,89	80,16
15:00	6	6,6	0,64	5,59	0,40	3,11	4,00	46,00	0,92	83,33
16:00	7	6,6	0,28	5,87	0,17	3,28	4,00	41,25	0,94	85,05
09:00	0	6,6	0,56	0,56	0,48	0,00	8,00	259,25		
10:00	1	6,6	0,78	1,34	0,66	0,66	8,00	207,50	0,41	19,96
11:00	2	6,6	0,91	2,25	0,78	1,44	8,00	150,75	0,87	41,85
12:00	3	6,6	0,96	3,21	0,82	2,26	8,00	114,00	1,16	56,03
13:00	4	6,6	0,89	4,10	0,76	3,02	8,00	87,13	1,38	66,39
14:00	5	6,6	0,85	4,95	0,73	3,74	8,00	68,50	1,53	73,58
15:00	6	6,6	0,64	5,59	0,55	4,29	8,00	58,50	1,61	77,43
16:00	7	6,6	0,28	5,87	0,24	4,53	8,00	52,88	1,65	79,60

Anexo 4.3. Continuação.

Hora	Tempo	ETP Dia (mm/dia)	ETP Hora (mm/h)	ETP Hora acumulada (mm/h)	ETP Captada (mm/h)	ETP Captada acumulada (mm/h)	Quantidade de palha (t/ha)	Umidade (%)	Evaporação acumulada (mm)	Evaporação acumulada/ água inicial
09:00	0	6,6	0,56	0,56	0,53	0,00	12,00	266,08		
10:00	1	6,6	0,78	1,34	0,73	0,73	12,00	231,58	0,41	12,97
11:00	2	6,6	0,91	2,25	0,86	1,59	12,00	186,67	0,95	29,85
12:00	3	6,6	0,96	3,21	0,91	2,50	12,00	155,42	1,33	41,59
13:00	4	6,6		4,10	0,84	3,34	12,00	130,08	1,63	51,11
14:00	5	6,6	0,85	4,95	0,80	4,14	12,00	109,75	1,88	58,75
15:00	6	6,6	0,64	5,59	0,61	4,75	12,00	97,42	2,02	63,39
16:00	7	6,6	0,28	5,87	0,26	5,01	12,00	89,58	2,12	66,33
09:00	0	6,6		0,56	0,55	0,00	16,00	298,31		
10:00	1	6,6		1,34	0,76	0,76	16,00	257,81	0,65	13,58
11:00	2	6,6		2,25	0,89	1,65	16,00	217,25	1,30	27,17
12:00	3	6,6	0,96	3,21	0,94	2,59	16,00	185,94	1,80	37,67
13:00	4	6,6	0,89	4,10	0,87	3,46	16,00	158,69	2,23	46,80
14:00	5	6,6	0,85	4,95	0,83	4,29	16,00	135,31	2,61	54,64
15:00	6	6,6	0,64	5,59	0,63	4,92	16,00	120,94	2,84	59,46
16:00	7	6,6	0,28	5,87	0,27	5,20	16,00	111,38	2,99	62,66

Anexo 4.4. Dinâmica da perda de umidade das diferentes quantidades de palhada do milho em função da energia recebida.

Hora	Tempo	ETP Dia (mm/dia)	ETP Hora (mm/h)	ETP Hora acumulada (mm/h)	ETP Captada (mm/h)	ETP Captada acumulada (mm/h)	Quantidade de palha (t/ha)	Umidade (%)	Evaporação acumulada (mm)	Evaporação acumulada/ água inicial
09:00	0	6,7	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	273,00		
10:00	1	6,7	0,82	0,82	0,12	0,12	1,00	109,00	0,16	60,07
11:00	2	6,7	0,98	1,80	0,14	0,26	1,00	34,00	0,24	87,55
12:00	3	6,7	1,05	2,85	0,15	0,42	1,00	9,33	0,26	96,58
13:00	4	6,7	1,02	3,86	0,15	0,57	1,00	0,00		
14:00	5	6,7	0,67	4,53	0,10	0,66	1,00	0,00		
15:00	6	6,7	0,57	5,11	0,08	0,75	1,00	0,00		
16:00	7	6,7	0,28	5,39	0,04	0,79	1,00	0,00		
09:00	0	6,7	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	267,33		
10:00	1	6,7	0,82	0,82	0,31	0,31	3,00	128,67	0,42	51,87
11:00	2	6,7	0,98	1,80	0,37	0,68	3,00	59,00	0,63	77,93
12:00	3	6,7	1,05	2,85	0,40	1,08	3,00	23,00	0,73	91,40
13:00	4	6,7	1,02	3,86	0,39	1,46	3,00	5,33	0,78	97,84
14:00	5	6,7	0,67	4,53	0,25	1,72	3,00	5,33	0,79	98,00
15:00	6	6,7	0,57	5,11	0,22	1,93	3,00	1,33	0,80	99,50
16:00	7	6,7	0,28	5,39	0,11	2,04	3,00	0,00		
09:00	0	6,7	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	296,33		
10:00	1	6,7	0,82	0,82	0,51	0,51	6,00	157,83	0,83	46,74
11:00	2	6,7	0,98	1,80	0,60	1,10	6,00	80,67	1,29	72,78
12:00	3	6,7	1,05	2,85	0,64	1,75	6,00	38,17	1,55	87,12
13:00	4	6,7	1,02	3,86	0,62	2,37	6,00	13,67	1,70	95,39
14:00	5	6,7	0,67	4,53	0,41	2,78	6,00	3,50	1,76	98,82
15:00	6	6,7	0,57	5,11	0,35	3,13	6,00	2,00	1,77	99,33
16:00	7	6,7	0,28	5,39	0,17	3,31	6,00	0,00		

Anexo 4.4. Continuação.

Hora	Tempo	ETP Dia (mm/dia)	ETP Hora (mm/h)	ETP Hora acumulada (mm/h)	ETP Captada (mm/h)	ETP Captada acumulada (mm/h)	Quantidade de palha (t/ha)	Umidade (%)	Evaporação acumulada (mm)	Evaporação acumulada/ água inicial
09:00	0	6,7	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	255,78		
10:00	1	6,7	0,82	0,82	0,63	0,63	9,00	148,00	0,97	42,14
11:00	2	6,7	0,98	1,80	0,74	1,37	9,00	78,44	1,60	69,33
12:00	3	6,7	1,05	2,85	0,80	2,16	9,00	47,33	1,88	81,49
13:00	4	6,7	1,02	3,86	0,77	2,94	9,00	24,78	2,08	90,31
14:00	5	6,7	0,67	4,53	0,51	3,44	9,00	13,89	2,18	94,57
15:00	6	6,7	0,57	5,11	0,44	3,88	9,00	6,67	2,24	97,39
16:00	7	6,7	0,28	5,39	0,22	4,10	9,00	3,78	2,26	98,03
09:00	0	6,7	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	258,42		
10:00	1	6,7	0,82	0,82	0,70	0,70	12,00	166,50	1,10	35,57
11:00	2	6,7	0,98	1,80	0,83	1,53	12,00	112,83	1,75	56,34
12:00	3	6,7	1,05	2,85	0,89	2,42	12,00	77,50	2,17	70,01
13:00	4	6,7	1,02	3,86	0,87	3,29	12,00	52,17	2,48	79,81
14:00	5	6,7	0,67	4,53	0,57	3,86	12,00	38,17	2,64	85,23
15:00	6	6,7	0,57	5,11	0,49	4,34	12,00	28,00	2,77	89,16
16:00	7	6,7	0,28	5,39	0,24	4,59	12,00	23,50	2,82	90,91

Anexo 4.5. Dinâmica da perda de umidade das diferentes quantidades de palhada da soja em função da energia recebida.

Hora	Tempo	ETP Dia (mm/dia)	ETP Hora (mm/h)	ETP Hora acumulada (mm/h)	ETP Captada (mm/h)	ETP Captada acumulada (mm/h)	Quantidade de palha (t/ha)	Umidade (%)	Evaporação acumulada (mm)	Evaporação acumulada/ água inicial
09:00:00	0	7.50	0.59	0.59	0.08	0.00	1.00	246.00		
10:00:00	1	7.50	0.79	1.38	0.11	0.11	1.00	54.00	0.19	78.05
11:00:00	2	7.50	0.94	2.32	0.13	0.23	1.00	14.67	0.23	91.06
12:00:00	3	7.50	1.02	3.34	0.14	0.37	1.00	14.20	0.23	91.87
13:00:00	4	7.50	1.01	4.35	0.13	0.50	1.00	12.00	0.23	95.12
14:00:00	5	7.50	0.90	5.25	0.12	0.62	1.00	0.00		
15:00:00	6	7.50	0.77	6.02	0.10	0.73	1.00	0.00		
16:00:00	7	7.50	0.57	6.58	0.08	0.80	1.00			
09:00:00	0	7.50	0.59	0.59	0.21	0.00	3.00	188.67		
10:00:00	1	7.50	0.79	1.38	0.28	0.28	3.00	30.00	0.48	84.10
11:00:00	2	7.50	0.94	2.32	0.33	0.60	3.00	1.33	0.56	99.29
12:00:00	3	7.50	1.02	3.34	0.36	0.96	3.00	0.00		
13:00:00	4	7.50	1.01	4.35	0.35	1.31	3.00	0.00		
14:00:00	5	7.50	0.90	5.25	0.32	1.63	3.00			
15:00:00	6	7.50	0.77	6.02	0.27	1.90	3.00			
16:00:00	7	7.50	0.57	6.58	0.20	2.10	3.00			
09:00:00	0	7.50	0.59	0.59	0.34	0.00	6.00	198.17		
10:00:00	1	7.50	0.79	1.38	0.46	0.46	6.00	57.83	0.84	70.82
11:00:00	2	7.50	0.94	2.32	0.54	1.00	6.00	7.83	1.14	96.05
12:00:00	3	7.50	1.02	3.34	0.59	1.59	6.00	0.00		
13:00:00	4	7.50	1.01	4.35	0.58	2.17	6.00	0.00		
14:00:00	5	7.50	0.90	5.25	0.52	2.69	6.00			
15:00:00	6	7.50	0.77	6.02	0.44	3.13	6.00			
16:00:00	7	7.50	0.57	6.58	0.33	3.46	6.00			

Anexo 4.5. Continuação.

Hora	Tempo	ETP Dia (mm/dia)	ETP Hora (mm/h)	ETP Hora acumulada (mm/h)	ETP Captada (mm/h)	ETP Captada acumulada (mm/h)	Quantidade de palha (t/ha)	Umidade (%)	Evaporação acumulada (mm)	Evaporação acumulada/ água inicial
09:00:00	0	7.50	0.59	0.59	0.43	0.00	9.00	199.44		
10:00:00	1	7.50	0.79	1.38	0.57	0.57	9.00	95.11	0.94	52.31
11:00:00	2	7.50	0.94	2.32	0.68	1.25	9.00	37.89	1.45	81.00
12:00:00	3	7.50	1.02	3.34	0.74	1.99	9.00	8.67	1.72	95.65
13:00:00	4	7.50	1.01	4.35	0.73	2.72	9.00	0.00		
14:00:00	5	7.50	0.90	5.25	0.66	3.38	9.00			
15:00:00	6	7.50	0.77	6.02	0.56	3.94	9.00			
16:00:00	7	7.50	0.57	6.58	0.41	4.35	9.00			
09:00:00	0	7.50	0.59	0.59	0.48	0.00	12.00	217.58		
10:00:00	1	7.50	0.79	1.38	0.65	0.65	12.00	128.42	1.07	40.98
11:00:00	2	7.50	0.94	2.32	0.77	1.42	12.00	74.17	1.72	65.91
12:00:00	3	7.50	1.02	3.34	0.84	2.26	12.00	38.42	2.15	82.34
13:00:00	4	7.50	1.01	4.35	0.83	3.09	12.00	15.75	2.42	92.76
14:00:00	5	7.50	0.90	5.25	0.74	3.83	12.00	9.50	2.50	95.63
15:00:00	6	7.50	0.77	6.02	0.63	4.46	12.00	7.33	2.52	96.63
16:00:00	7	7.50	0.57	6.58	0.47	4.92	12.00	2.33	2.58	98.93

Anexo 4.6. Dinâmica da evaporação de água da palhada do milho.

Palha (t/ha)	Tempo (hora)	Água inicial (mm)	ETP hora (mm)	Evaporação observada (mm)	Evaporação simulada (mm)
1	0	0,41			
1	1	0,23	0,78	0,18	0,11
1	2	0,14	0,91	0,09	0,12
1	3	0,09	0,96	0,05	0,11
1	4	0,05	0,89	0,04	0,09
1	5	0,03	0,85	0,01	0,08
1	6	0,02	0,64	0,02	0,03
1	7	0,01	0,28	0,00	
4	0	1,10			
4	1	0,78	0,78	0,33	0,20
4	2	0,53	0,91	0,25	0,19
4	3	0,39	0,96	0,14	0,16
4	4	0,29	0,89	0,10	0,13
4	5	0,22	0,85	0,07	0,11
4	6	0,18	0,64	0,04	0,06
4	7	0,17	0,28	0,02	
8	0	2,07			
8	1	1,66	0,78	0,41	0,32
8	2	1,21	0,91	0,45	0,30
8	3	0,91	0,96	0,29	0,25
8	4	0,70	0,89	0,22	0,20
8	5	0,55	0,85	0,15	0,16
8	6	0,47	0,64	0,08	0,10
8	7	0,42	0,28	0,05	0,01
12	0	3,19			
12	1	2,78	0,78	0,41	0,47
12	2	2,24	0,91	0,54	0,44
12	3	1,87	0,96	0,38	0,38
12	4	1,56	0,89	0,30	0,32
12	5	1,32	0,85	0,24	0,27
12	6	1,17	0,64	0,15	0,20
12	7	1,08	0,28	0,09	0,11
16	0	4,77			
16	1	4,13	0,78	0,65	0,67
16	2	3,48	0,91	0,65	0,62
16	3	2,98	0,96	0,50	0,54
16	4	2,54	0,89	0,44	0,46
16	5	2,17	0,85	0,37	0,40
16	6	1,94	0,64	0,23	0,31
16	7	1,78	0,28	0,15	0,20

Anexo 4.7. Dinâmica da evaporação de água da palhada do milho.

Palha (t/ha)	Tempo (hora)	Água (mm/ha)	ETP hora	Evaporação observada (mm)	Evaporação simulada (mm)
1	0	0,27			
1	1	0,11	0,82	0,16	0,13
1	2	0,03	0,98	0,08	0,08
1	3	0,01	1,05	0,02	0,06
1	4		1,02	0,01	0,05
1	5		0,67	0,00	
1	6		0,57	0,00	
1	7		0,28	0,00	
3	0	0,80			
3	1	0,39	0,82	0,42	0,32
3	2	0,18	0,98	0,21	0,18
3	3	0,07	1,05	0,11	0,11
3	4	0,02	1,02	0,05	0,07
3	5	0,02	0,67	0,00	
3	6	0,00	0,57	0,01	
3	7		0,28	0,00	
6	0	1,78			
6	1	0,95	0,82	0,83	0,68
6	2	0,48	0,98	0,46	0,39
6	3	0,23	1,05	0,26	0,22
6	4	0,08	1,02	0,15	0,13
6	5	0,02	0,67	0,06	0,04
6	6	0,01	0,57	0,01	0,01
6	7		0,28	0,01	
9	0	2,30			
9	1	1,33	0,82	0,97	0,87
9	2	0,71	0,98	0,63	0,53
9	3	0,43	1,05	0,28	0,31
9	4	0,22	1,02	0,20	0,20
9	5	0,13	0,67	0,10	0,09
9	6	0,06	0,57	0,07	0,05
9	7	0,05	0,28	0,01	
12	0	3,10			
12	1	2,00	0,82	1,10	1,17
12	2	1,35	0,98	0,64	0,77
12	3	0,93	1,05	0,42	0,54
12	4	0,63	1,02	0,30	0,39
12	5	0,46	0,67	0,17	0,24
12	6	0,34	0,57	0,12	0,17
12	7	0,28	0,28	0,05	0,10

Anexo 4.8. Dinâmica da evaporação de água da palhada da soja.

Palha (t/ha)	Tempo (hora)	Água (mm/ha)	ETP hora	Evaporação observada (mm)	Evaporação simulada (mm)
1	0	0,25		(y)	
1	1	0,05	0,79	0,19	0,19
1	2	0,02	0,94	0,03	0,09
1	3	0,02	1,02	0,01	0,06
1	4	0,01	1,01	0,01	0,00
1	5		0,90	0,00	0,00
1	6		0,77	0,00	
1	7		0,57	0,00	
3	0	0,57			
3	1	0,09	0,79	0,48	0,33
3	2	0,00	0,94	0,09	0,10
3	3		1,02	0,00	
3	4		1,01	0,00	
3	5		0,90	0,00	
3	6		0,77	0,00	
3	7		0,57	0,00	
6	0	1,19			
6	1	0,35	0,79	0,84	0,60
6	2	0,05	0,94	0,30	0,21
6	3		1,02	0,05	0,07
6	4		1,01	0,00	
6	5		0,90	0,00	
6	6		0,77	0,00	
6	7		0,57	0,00	
9	0	1,80			
9	1	0,86	0,79	0,94	0,87
9	2	0,34	0,94	0,52	0,44
9	3	0,08	1,02	0,26	0,20
9	4		1,01	0,08	0,09
9	5		0,90	0,00	
9	6		0,77	0,00	
9	7		0,57	0,00	
12	0	2,61			
12	1	1,54	0,79	1,07	1,23
12	2	0,89	0,94	0,65	0,74
12	3	0,46	1,02	0,43	0,45
12	4	0,19	1,01	0,27	0,26
12	5	0,11	0,90	0,08	0,15
12	6	0,09	0,77	0,03	0,13
12	7	0,03	0,57	0,06	0,14

Anexo 4.9. Precipitação (P, mm) e escoamento superficial (R, mm) nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC) para diferentes eventos pluviométricos na UFG, no ano agrícola de 2001/2002.

Data	Lâmina precipitada (mm)	Lâmina escoada (mm)	
		PD	PC
1/2/01	30,6	0,0	9,6
9/2/01	50,5	17,9	20,8
25/2/01	41,4	3,3	1,9
2/3/01	24,8	1,0	1,4
1/4/01	21,2	1,7	11,7
15/10/01	11,6	0,6	6,5
18/10/01	26,7	0,0	5,2
22/10/01	16,2	0,0	1,6
5/11/01	13,8	0,0	5,8
8/11/01	17,0	0,0	6,3
12/11/01	16,2	0,0	5,8
13/11/01	55,2	0,0	22,9
14/11/01	10,7	0,0	1,3
24/11/01	30,0	1,2	16,4
2/12/01	16,6	0,0	2,3
6/12/01	11,2	0,0	0,6
15/12/01	10,6	0,0	1,9
21/12/01	32,8	0,0	9,4
27/12/01	43,5	1,0	15,2
30/12/01	26,0	0,0	0,8
10/1/02	23,6	0,0	2,5
15/1/02	29,9	0,0	1,7
17/1/02	25,5	0,0	0,6
18/1/02	29,4	1,9	20,4
1/2/02	29,7	1,3	5,2
7/2/02	13,5	0,0	1,7
8/2/02	16,9	0,0	1,9
11/2/02	26,4	0,0	1,3
15/2/02	34,7	2,3	10,0
17/2/02	59,7	3,5	17,1
11/3/02	47,8	9,9	12,3
TOTAL	843,5	45,5	222,5
%		5,4	26,4

Anexo 4.10. Valores percentuais de argila, silte, areia grossa e areia fina dos solos das parcelas cultivadas nos sistemas de plantio direto (PD1, PD2 e PD3) e convencional (PC1, PC2 e PC3).

Tratamento	Profundidade (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)
PD1	10	61	12	5	22
PD1	20	62	12	5	21
PD1	40	69	9	3	19
PD1	60	71	7	3	19
PD1	80	71	7	3	19
PD1	100	70	7	3	20
PD1	120	71	7	3	19
PD2	10	59	12	5	24
PD2	20	57	16	5	22
PD2	40	68	9	4	19
PD2	60	70	8	3	19
PD2	80	72	8	4	16
PD2	100	71	8	3	18
PD2	120	71	8	3	18
PD3	10	60	7	5	28
PD3	20	61	13	5	21
PD3	40	68	8	3	21
PD3	60	71	7	3	19
PD3	80	72	7	3	18
PD3	100	68	8	3	21
PD3	120	70	7	3	20
PC1	10	61	10	5	24
PC1	20	65	6	5	24
PC1	40	65	8	4	23
PC1	60	70	6	4	20
PC1	80	72	5	3	20
PC1	100	67	6	3	24
PC1	120	71	6	3	20
PC2	10	64	10	5	21
PC2	20	63	10	5	22
PC2	40	68	8	4	20
PC2	60	72	5	3	20
PC2	80	69	5	3	23
PC2	100	71	6	4	19
PC2	120	70	5	3	22
PC3	10	56	12	5	27
PC3	20	64	8	8	20
PC3	40	65	8	4	23
PC3	60	69	7	4	20
PC3	80	64	12	5	19
PC3	100	67	7	3	23
PC3	120	71	6	3	20

Fonte: Laboratório de Física de Solos da Embrapa Cerrados.

Anexo 4.11. Valores médios da densidade aparente DAP (g.cm^{-3}) nas diversas profundidades (cm) dos solos das parcelas cultivadas nos sistemas de plantio direto (PD) e convencional (PC).

Tratamento	Profundidade (cm)	DAP (g.cm^{-3})
PD	10	0,95
PD	20	0,98
PD	40	0,99
PD	60	0,95
PD	80	0,89
PD	100	0,90
PD	120	0,88
PC	10	0,96
PC	20	0,94
PC	40	0,98
PC	60	0,98
PC	80	0,99
PC	100	0,91
PC	120	0,86

Fonte: Laboratório de Física de Solos da Embrapa Cerrados

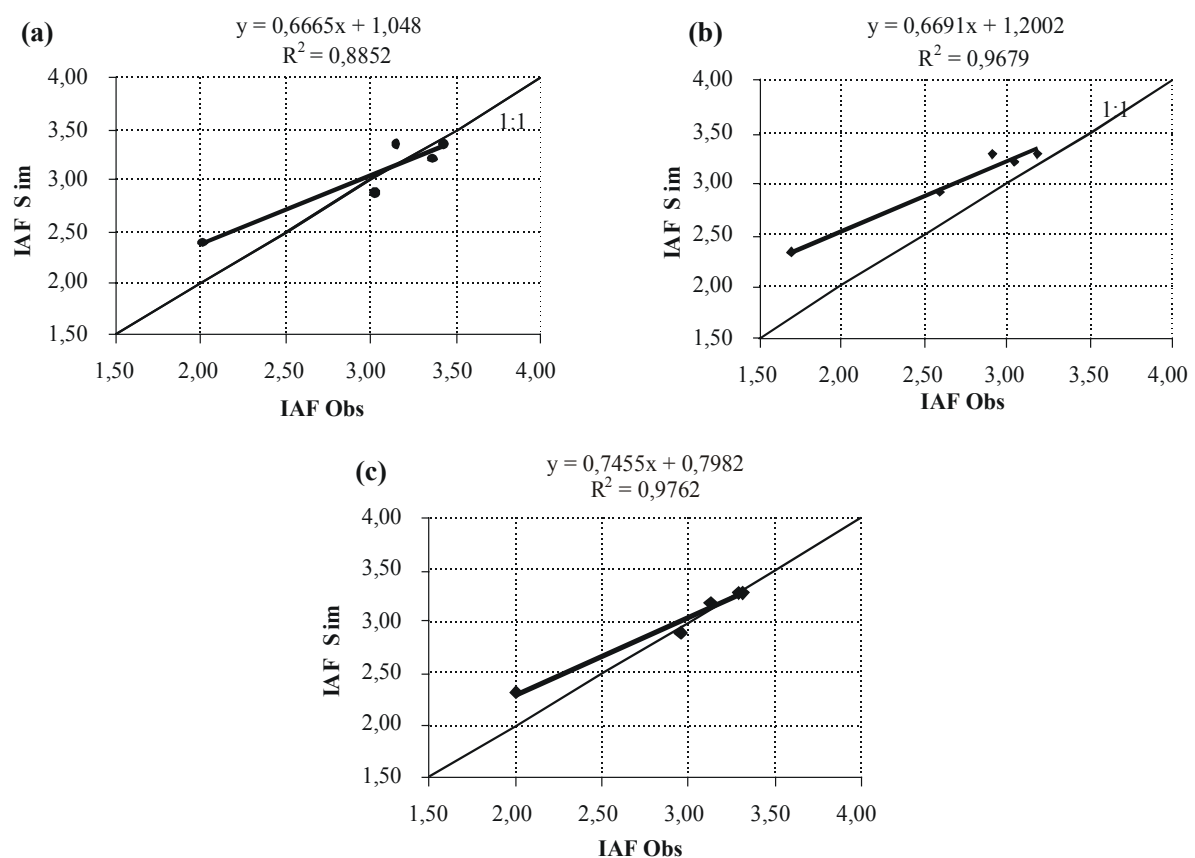
Anexo 4.12. Espessura e densidade aparente (DA) das camadas dos solos das parcelas experimentais dos sistemas de manejo convencional (PC) e de plantio direto (PD) e suas respectivas umidades percentuais na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP).

Camadas	Espessura (cm)	CC (%)	PMP (%)	DA (g.cm⁻³)
PC.1.1	10	35	22	0,96
PC.1.2	10	34	23	0,94
PC.1.3	40	36	24	0,98
PC.1.4	40	36	24	1,00
PC.1.5	80	37	25	0,90
	10	34	23	0,96
PC.2.2	10	35	23	0,94
PC.2.3	40	35	23	0,98
PC.2.4	40	35	25	1,00
PC.2.5	80	37		0,90
PC.3.1	10	35	24	0,96
PC.3.2	10	36	23	
PC.3.3	40	35	24	0,98
PC.3.4	40		25	1,00
PC.3.5	80	37	25	0,90
PD.1.1	10	38	23	0,95
PD.1.2	10	39	24	0,99
PD.1.3	40	40	24	0,95
PD.1.4	40	36	26	0,90
PD.1.5	80	35	27	0,88
PD.2.1	10	39	23	0,95
PD.2.2	10	39	24	0,99
PD.2.3	40	40	23	0,95
PD.2.4	40	37	26	0,90
PD.2.5	80	35	27	0,88
PD.3.1	10	38	24	0,95
PD.3.2	10	39	26	0,99
PD.3.3	40	40	24	0,95
PD.3.4	40	36	26	0,89
PD.3.5	80	35	29	0,88

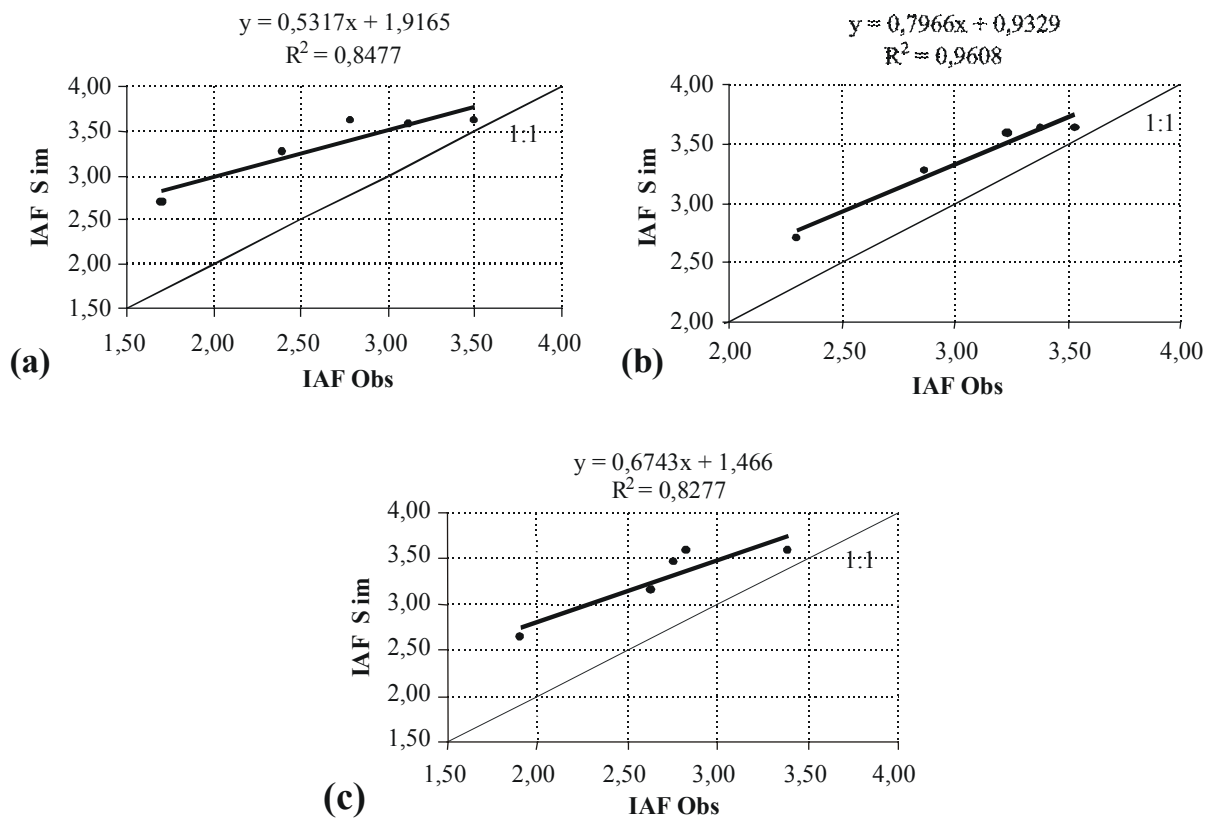
Fonte: Laboratório de Física de Solos da Embrapa Cerrados.

Anexo 4.13. Área foliar (LAI) da cultura do milho obtida com o medidor de área LI-2000 em diferentes épocas do ciclo da cultura, nos sistemas de manejo convencional (PC1, PC2 e PC3) e de plantio direto (PD1, PD2 e PD3).

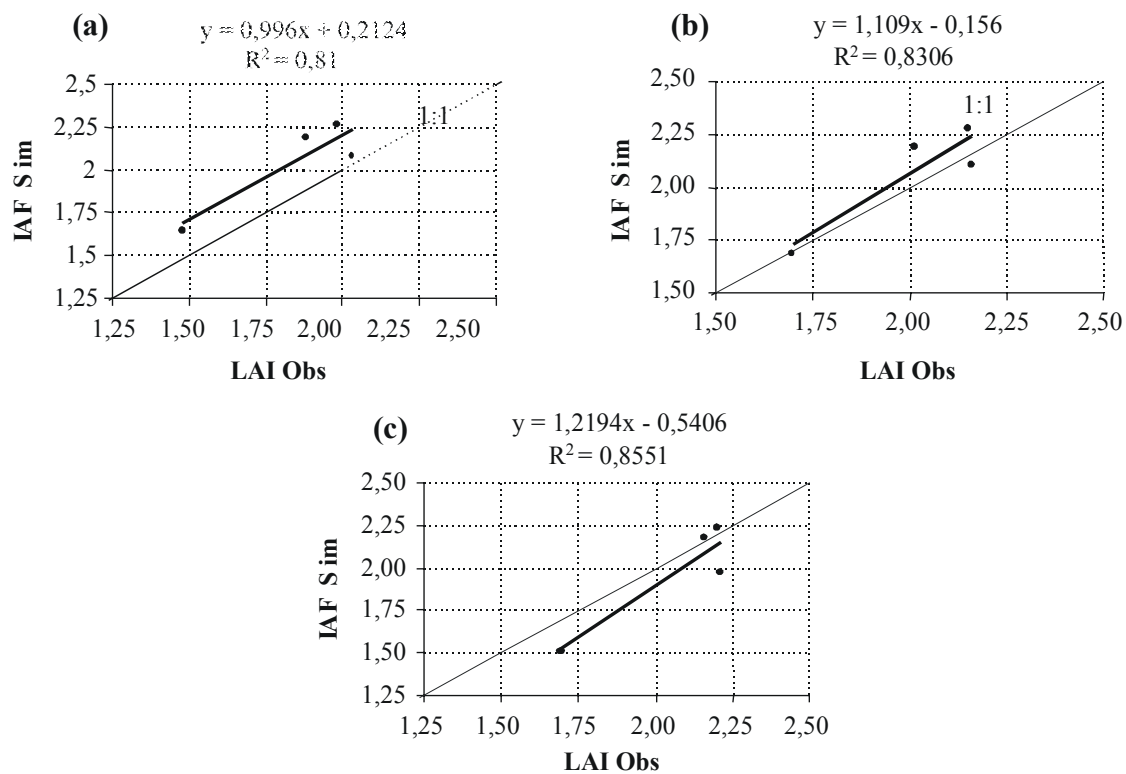
Tratamento	Data	LAI
PC1	28/12/01	2,01
PC1	07/01/02	3,15
PC1	11/01/02	3,42
PC1	13/02/02	3,36
PC1	26/02/02	3,02
PC2	28/12/01	1,70
PC2	07/01/02	2,92
PC2	11/01/02	3,19
PC2	13/02/02	3,04
PC2	26/02/02	2,60
PC3	28/12/01	2,00
PC3	07/01/02	3,28
PC3	11/01/02	3,31
PC3	13/02/02	3,12
PC3	26/02/02	2,95
PD1	28/12/01	1,70
PD1	07/01/02	2,78
PD1	11/01/02	3,50
PD1	13/02/02	3,12
PD1	26/02/02	2,40
PD2	28/12/01	2,30
PD2	07/01/02	3,38
PD2	11/01/02	3,53
PD2	13/02/02	3,23
PD2	26/02/02	2,87
PD3	28/12/01	1,90
PD3	07/01/02	2,83
PD3	11/01/02	3,39
PD3	13/02/02	2,76
PD3	26/02/02	2,63



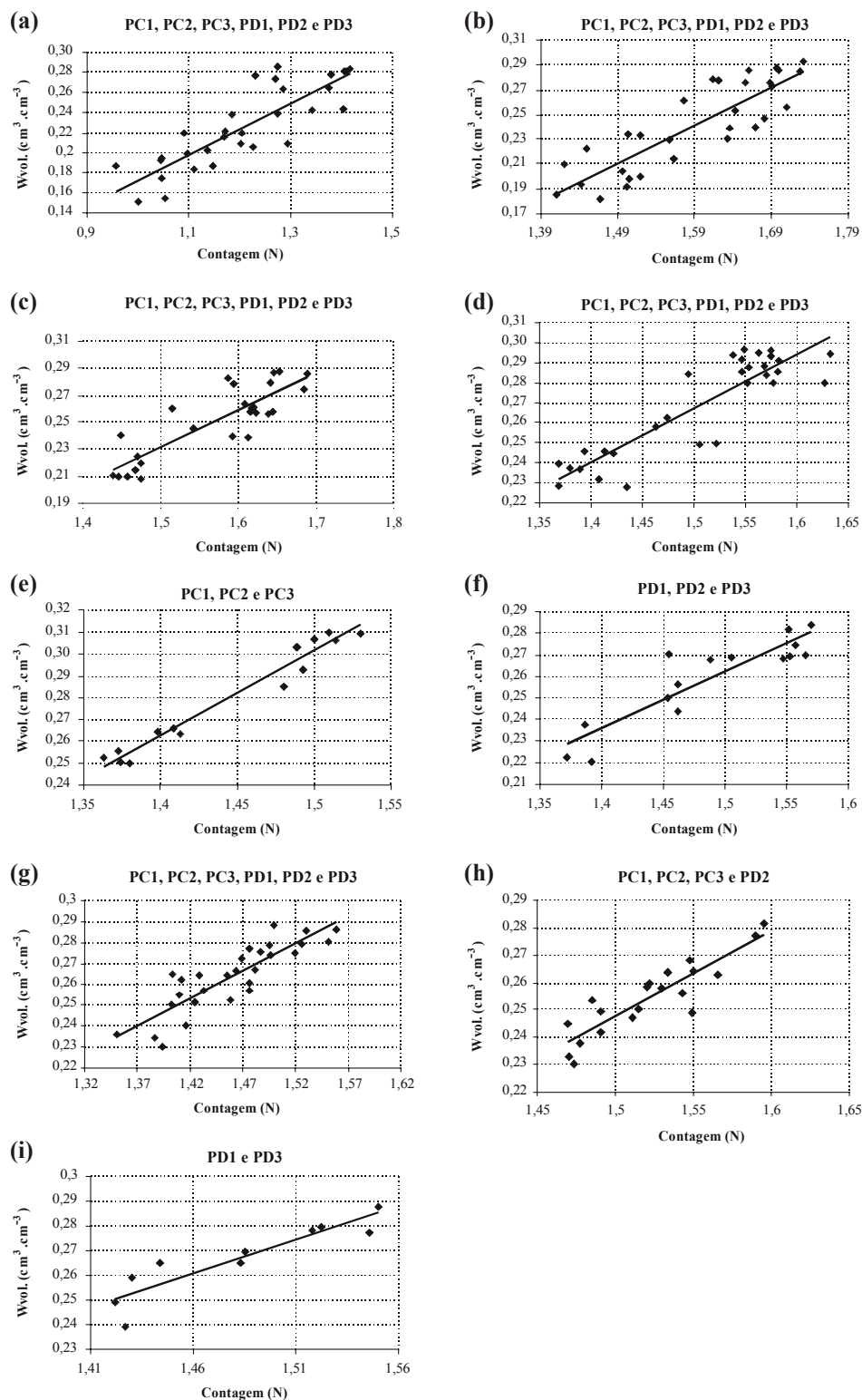
Anexo 4.14. Comparação entre índice de área foliar (IAF) observado e simulado para a cultura do milho, variedade Cargil 901, nas parcelas PC1 (a), PC2 (b) e PC3 (c) do sistema de manejo convencional do solo.



Anexo 4.15. Comparação entre índice de área foliar (IAF) observado e simulado para a cultura do milho, variedade Cargil 901, nas parcelas PD1 (a), PD2 (b) e PD3 (c) do sistema de plantio direto.



Anexo 4.16. Comparação entre índice de área foliar (IAF) observado e simulado para a cultura do milho, variedade BRS 1501, nas parcelas PD1 (a), PD2 (b) e PD3 (c) do sistema de plantio direto.

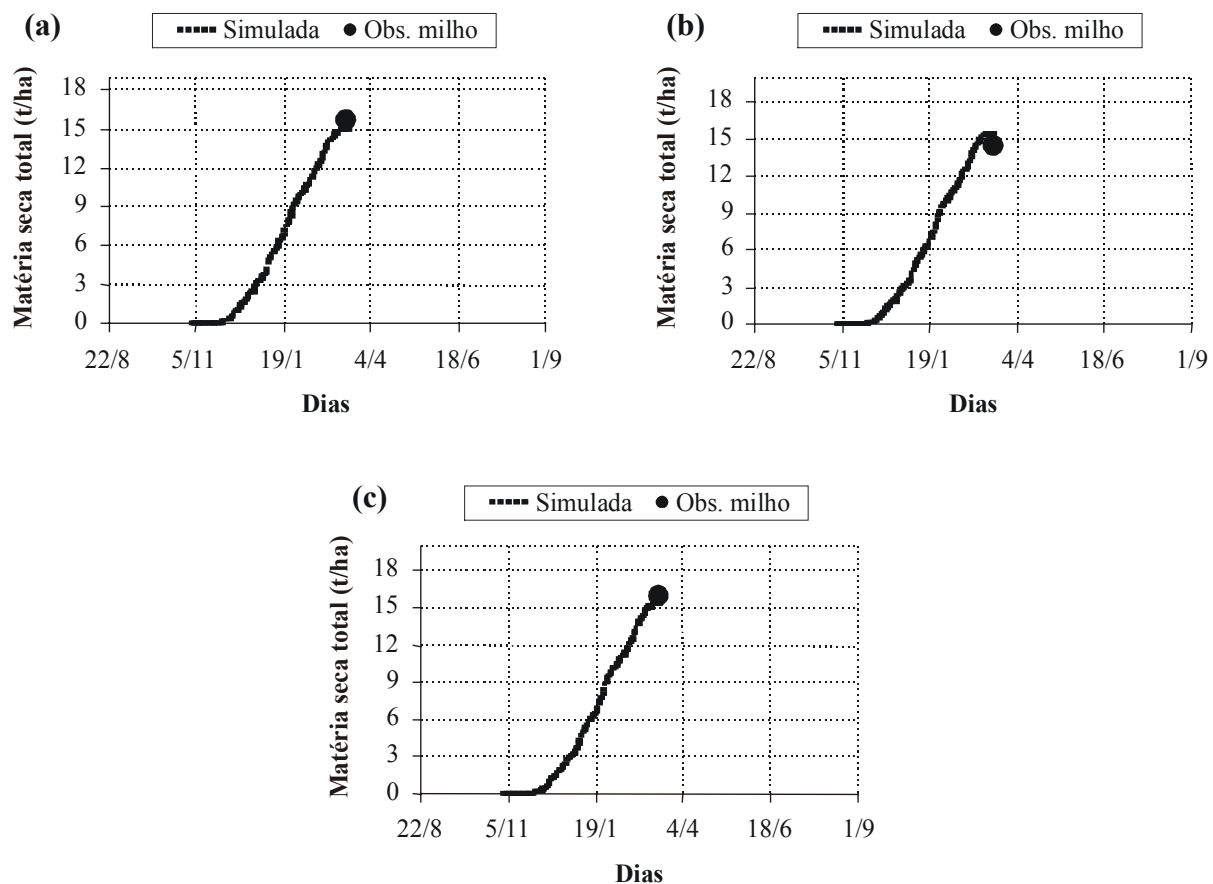


Anexo 4.17. Ajuste dos dados de umidade volumétrica do solo (W_{vol} - $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) e de contagem da sonda de nêutrons N (—), mediante análise de regressão linear simples, para as profundidades: 10 cm (a); 20 cm (b); 40 cm (c); 60 cm (d); 80 cm (e) e (f), 100 cm (g), 120 cm (h) e (i), nos sistemas de manejo convencional (PC) e plantio direto (PD).

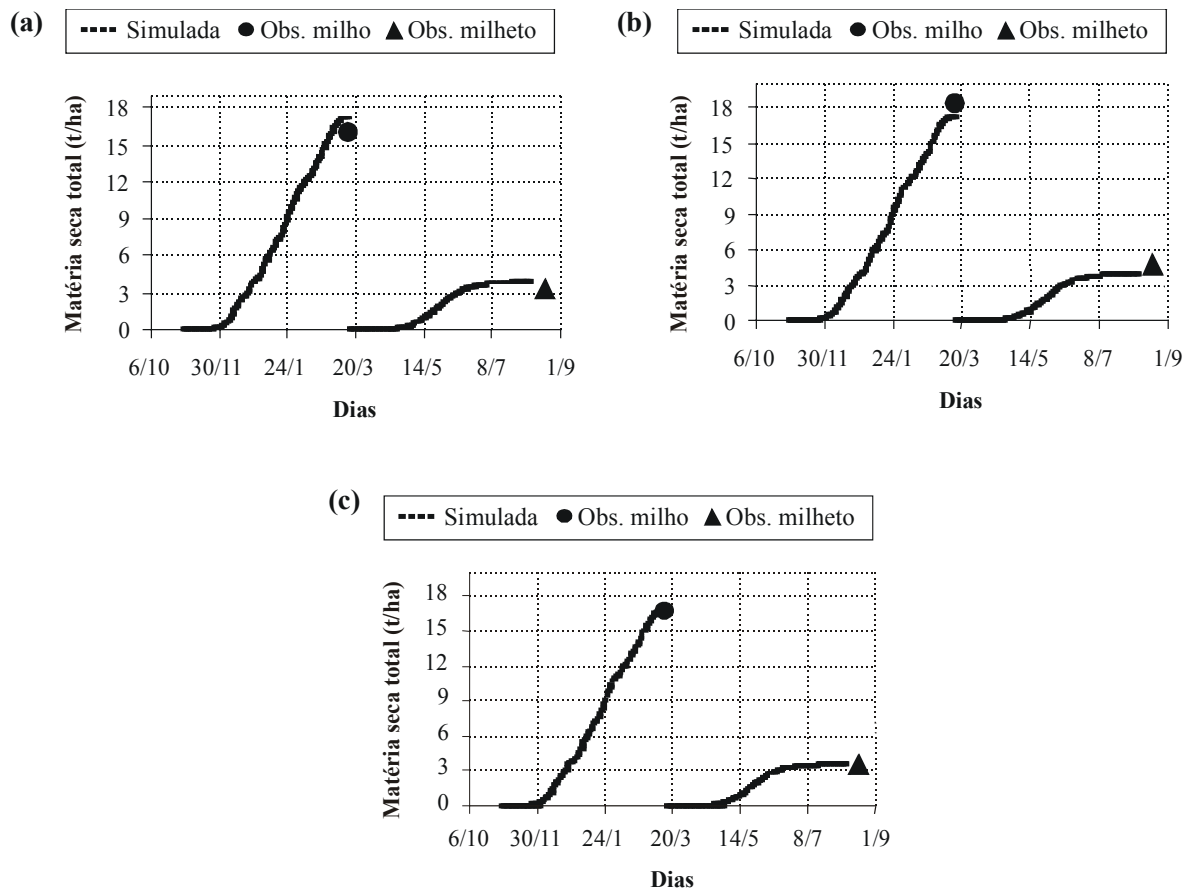
Anexo 4.18. Valores das constantes *a* e *b*, do coeficiente de determinação R^2 e modelos de estimativa da umidade volumétrica do solo para os três tratamentos sob plantio convencional (**PC**) e os três sob plantio direto (**PD**) nas suas respectivas profundidades (**Prof.** – **cm**), resultantes da análise de regressão linear simples.

Profund. (cm)	Tratamento						<i>A</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	Modelo Y* = aNp+b
	PC			PD						
10	1	2	3	1	2	3	0,2565	-0,0842	0,72	Y= 0,2565x - 0,0842
20	1	2	3	1	2	3	0,3064	-0,2457	0,74	Y= 0,3064x - 0,2457
40	1	2	3	1	2	3	0,2771	-0,1842	0,74	Y= 0,2771x - 0,1842
60	1	2	3	1	2	3	0,2686	-0,1356	0,80	Y= 0,2686x - 0,1356
80	1	2	3				0,3905	-0,2842	0,96	Y= 0,3905x - 0,2842
80				1	2	3	0,2617	-0,1304	0,81	Y= 0,2617x - 0,1304
100	1	2	3	1	2	3	0,262	-0,1187	0,74	Y= 0,262x - 0,1187
120	1	2	3		2		0,3137	-0,223	0,80	Y= 0,3137x - 0,223
120				1		3	0,2724	-0,1369	0,83	Y= 0,2724x - 0,1369

* Modelo de estimativa da umidade volumétrica do solo θ (Wvol - $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$).



Anexo 4.19. Matéria seca total observada e simulada da cultura do milho, variedade Cargil 901, nas parcelas PC1, (a), PC2 (b) e PC3 (c) do sistema de manejo convencional do solo.



Anexo 4.20. Matéria seca total observada e simulada das culturas do milho, variedade cargil 901, e do milheto, variedade BRS 1501, nas parcelas PD1, (a), PD2 (b) e PD3 (c) do sistema de manejo plantio direto.