

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**APERFEIÇOAMENTO DE UM MECANISMO
SULCADOR PARA PLANTIO DIRETO DE MANDIOCA**

TESE DE DOUTORADO

Emerson Fey

**Santa Maria, RS, Brasil
2009**

APERFEIÇOAMENTO DE UM MECANISMO SULCADOR PARA PLANTIO DIRETO DE MANDIOCA

por

Emerson Fey

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Arno Udo Dallmeyer

Santa Maria, RS, Brasil

200

Fey, Emerson, 1975-

F433a

Aperfeiçoamento de um mecanismo sulcador para plantio direto da mandioca / por Emerson Fey ; orientador Arno Udo Dallmeyer. – Santa Maria, 2009.

175 f. ; Il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2009.

1. Engenharia agrícola 2. Projeto de máquinas 3. Haste 4. Preparo do solo 5. Solos 6. Plantio direto I. Dallmeyer, Arno Udo, orient. II. Título

CDU: 631.311

Ficha catalográfica elaborada por

Luiz Marchiotti Fernandes CRB 10/1160

Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**


A Comissão Organizadora abaixo assinada,
Aprova a Tese de Doutorado

**APERFEIÇOAMENTO DE UM MECANISMO SULCADOR PARA
PLANTIO DIRETO DE MANDIOCA**

elaborada por
Emerson Fey

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola


COMISSÃO EXAMINADORA:


Arno Udo Dallmeyer, Dr.
(Presidente/Orientador)


Leonardo Nabaes Romano, Dr. (UFSM)


José Miguel Reichert, Dr. (UFSM)


Vilson João Batista (UFRGS)


Walter Boller (UPF)

Santa Maria, 23 de outubro de 2009

Aos meus pais Arnaldo e Ursula Fey pelo exemplo de vida fundamentado no
trabalho e o respeito ao próximo;

A minha esposa Celi de Fátima Nunes Fey, que além de confiar em mim e me
incentivar, assumiu a educação dos nossos filhos Henrique Eduardo e Vinícios
André num momento em que eles ainda eram muito pequenos e demandavam de
atenção constante.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM pela valiosa oportunidade de aprimorar meus conhecimentos.

Ao Professor Arno Udo Dallmeyer que aceitou o tema escolhido para o desenvolvimento da tese de doutorado e com a sua experiência orientou os passos fundamentais necessários ao desenvolvimento da mesma.

A TREVISAN (Trevisan Equipamentos Agroindustriais Ltda.) de Palotina – PR, pela confiança e apoio na fabricação dos protótipos.

Ao Professor Leonardo Nabaes Romano que contribuiu sobre maneira para o desenvolvimento da tese através das disciplinas ministradas e as recomendações efetuadas.

Aos amigos Tiago Scholz e Lucas Araldi do curso de Engenharia Mecânica e Giliardi Dalazem do curso de Agronomia, ambos da UFSM, que me acolheram em sua república e tornaram minha estada em Santa Maria mais agradável.

Ao amigo e colega do PPGEA José Renê Gassen, pelos momentos de troca de experiências proporcionados durante as disciplinas cursadas e o valioso apoio.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, nas pessoas do Pesquisador Paulo Figueiredo e o técnico de campo Alexandre Leôncio da Silva, sem os quais o ensaio de esforços dos protótipos não seria possível.

Aos amigos integrantes do Laboratório de Mecanização Agrícola – LAMA da UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon, Cristiano Conti, Alciones Rezzadori, André Pavlak, Fernando César Gobbi, Jonas Ricardo Finger, Laércio Augusto Pivetta, Laerte Gustavo Pivetta, João Paulo Vanin, entre outros, que contribuíram expressivamente para a realização desta tese.

Ao Professor Pedro Henrique Weirich Neto pelos ensinamentos, conselhos e amizade.

Aos meus irmãos Alisson e Maristela pelo apoio e compreensão.

E a todas as pessoas que de uma ou outra forma contribuíram para a realização do curso e da tese de doutorado.

MUITO OBRIGADO.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”.

Albert Einstein

RESUMO

Tese de Doutorado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Santa Maria

APERFEIÇOAMENTO DE UM MECANISMO SULCADOR PARA PLANTIO DIRETO DE MANDIOCA

Autor: Emerson Fey, Msc.

Orientador: Prof. Arno Udo Dallmeyer, Dr.

Santa Maria – RS, 23 de outubro de 2009

No sistema de produção da mandioca o preparo convencional do solo (intenso revolvimento) é comumente utilizado. Quando esta prática resulta na manutenção de pequenas quantidades de palha sobre o solo, o problema da erosão se torna eminente e é agravado pelo espaçamento entre linhas e o lento desenvolvimento inicial desta cultura, principalmente até os quatro meses após o plantio. Uma alternativa é o sistema plantio direto, em que apenas o sulco de semeadura/plantio é preparado durante a implantação da cultura, e é largamente utilizado nas culturas de soja, milho, trigo, feijão, entre outras. Para a mandioca, a adoção deste sistema tem gerado muitas dúvidas em função das condições físicas do solo recomendadas, segundo as quais a cultura requer solos bem drenados e soltos para possibilitar o adequado desenvolvimento das raízes. Acredita-se que a mobilização de uma maior área de solo no sulco de plantio possa viabilizar o adequado desenvolvimento da mandioca em sistema plantio direto e favorecer a proteção do solo pela manutenção da palha sobre superfície. Nesse contexto, objetivou-se aperfeiçoar o mecanismo sulcador de plantadoras de mandioca utilizando os preceitos do processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas, com o intento de viabilizar o cultivo de mandioca em sistema plantio direto. Para o desenvolvimento do mecanismo foram executadas as fases de projeto informacional, preliminar e detalhado. Formularam-se, para a função de preparar o sulco de plantio, 31 necessidades de clientes que foram desdobradas em 30 requisitos de clientes e posteriormente em 27 requisitos de projeto. A partir destes requisitos e das soluções disponíveis em outras máquinas e implementos, selecionou-se a haste sulcadora alada como potencial solução. Desta forma, realizou-se um estudo de leiautes que culminou na construção de protótipos com diferentes geometrias para testes, experimentação com a cultura da mandioca e ensaio de esforços. A utilização do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas permitiu o desenvolvimento de uma haste sulcadora alada de baixo custo, pequeno número de componentes, processo de fabricação simples e bom funcionamento. A produtividade obtida com a cultura da mandioca em preparo convencional e sistema plantio direto foi semelhante, evidenciando que esta técnica pode ser utilizada para o cultivo sem comprometer a produtividade e ainda melhorar a sustentabilidade do sistema.

Palavras-chave: Haste, preparo do solo, projeto de máquinas

ABSTRACT

Doctoral Degree Thesis

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Santa Maria

IMPROVEMENT OF THE FURROW OPENER DEVICE OF CASSAVA PLANTERS TO NO-TILLAGE

Author: Emerson Fey, M.Sc.

Advisor: Prof. Arno Udo Dallmeyer, Dr.

Santa Maria, 23 th october, 2009

In the cassava production the conventional tillage, characterized by soil preparation with intensive mobilization, is commonly used. However, when this practice results in the maintenance of small quantities of straw on the soil surface, the erosion becomes imminent, and it is exacerbated by the spacing and slow initial development of this culture, especially until four months after planting. An alternative is the no-tillage system, a type of conservation tillage, in which only the sowing/planting furrow is prepared for the deployment of culture, and is widely used in soybean, corn, wheat, beans, and others crops. For cassava, the adoption of this system has raised many questions on the basis of the soil physical properties recommended, according to which the crop requires well-drained and loose soils to allow the proper root development, where the carbohydrates produced by the plant are stored. It is believed that the deployment of a larger soil area in furrow may facilitate the proper development of cassava in no-tillage system and promote the soil protection due the maintenance of straw on the surface. In this context, the objective is improve the furrow opener device of cassava planters using the precepts of the agricultural machinery development process, with the intent of provide the cultivation of cassava in no-tillage system. For the furrow opener development it were implemented the informational, preliminary and detailed design phases of the product development process. It where formulated for the task of preparing the planting furrow, 31 needs of customers who were deployed in 30 customer requirements and then in 27 design requirements. From these requirements and the solutions available on other agricultural machines and implements, the winged tines where selected as a potential solution. So, a layout study where conducted and resulted in the construction of prototypes with different geometries to experimentation with cassava crop and tests of forces. The use of the reference model for the development process of agricultural machinery allowed the development of furrow opener device for the cultivation of cassava in no-tillage system, that have low cost, small number of components, simple manufacturing process and smooth operation. The yield obtained with the cassava crop in conventional tillage and no-tillage was similar, showing that this technique can be used to grow without compromising productivity and also improve the sustainability of the production system.

Key-words: winged tines, strip tillage, machinery project process

1 INTRODUÇÃO

A mandioca constitui parte fundamental da alimentação de mais de 500 milhões de pessoas no mundo, sendo também matéria-prima para uma série de produtos, sejam eles minimamente processados até quimicamente modificados (TAKAHASHI; CONÇALO, 2001). Ainda de acordo com os autores, além do consumo diretamente como alimento, as raízes de mandioca são transformadas em produtos básicos, como é o caso da farinha de mesa e da fécula (amido), que pode ser utilizada nas indústrias de alimentos, de papel, farmacêutica, assim como em diversas indústrias, após transformação.

No ano de 2007 a produção mundial de mandioca atingiu um total aproximado de 228,14 milhões de toneladas em 18,66 milhões de hectares (FAO, 2009). Ao redor de 51,7% desta produção ocorreu no continente Africano (Nigéria com 20,0%), 31,5% na Ásia (Tailândia com 11,6%) e 16,0% na América do Sul (Brasil com 12,0%).

A produção brasileira em 2008 foi de 26,6 milhões de toneladas em 1,87 milhões de hectares (IBGE, 2009). As principais regiões produtoras foram: Nordeste com 37,7%, Norte com 25,7% e Sul com 22,5% da produção nacional e os Estados com maior participação nesta produção foram: Pará (18,1%), Bahia (17,0%), Paraná (15,2%) e Maranhão (6,6%) (IBGE, 2009). No Paraná foram cultivados 173 mil ha em 2008 (SEAB, 2008), os quais, em sua maioria, se concentram nas regiões Noroeste e Oeste.

A mandioca figura como uma excelente alternativa para os produtores em regiões que contam com indústrias a distâncias economicamente viáveis, devido a sua adaptação a diversos tipos de solos e clima (SOUZA; SOUZA, 2000; LORENZI, 2003). A obtenção de material propagativo também é um ponto favorável à cultura, pois as estacas (ramas-sementes) podem ser produzidas na propriedade, sendo a qualidade destas relacionada com a seleção das ramas com melhor aspecto fitossanitário e cuidados durante a manipulação (TAKAHASHI; GONÇALO, 2001; LORENZI, 2003). Além disso, as raízes de reserva podem ser colhidas de 6 a 24 meses, sendo comum a colheita com 6 a 7 meses nos trópicos úmidos e 18 a 24 meses nas regiões com prolongado período de seca ou frio (ALVES, 2006). Ainda de acordo com o autor, as raízes podem ser deixadas no campo, sem colher por um longo período, tornando a mandioca um cultivo de segurança contra a fome. Esta

característica não é válida para a pós-colheita, pois as raízes se deterioram dentro de 24 a 72 horas, tornando-as inadequadas para o consumo. Ressalta-se que pouquíssimas culturas apresentam uma época de colheita com essas características, sendo muito comum se ter uma época estreita para esta atividade, que se não obedecida resulta em prejuízos de produtividade e qualidade do produto final.

Entretanto, devido à oscilação histórica de preços, atingido valores máximos e mínimos em períodos de 3 a 5 anos, que afetam toda a cadeia produtiva (LORENZI, 2003) e a demanda de mão de obra (SEAB, 2008), a produção de mandioca se manteve estável na última década na média de 23 milhões de toneladas no Brasil (IBGE, 2009). Embora a mecanização na cultura da mandioca esteja em evolução, a mão de obra ainda se configura como um fator restritivo para o cultivo de áreas maiores, pois além de participar com 50 a 55% do custo de produção da mandioca, a disponibilidade de trabalhadores também é insuficiente (SEAB, 2008). As demandas mais expressivas no ciclo produtivo ocorrem no plantio e na colheita (SEAB, 2008) e no controle de plantas daninhas, em que duas capinas manuais no período inicial de desenvolvimento respondem por aproximadamente 19% do custo total (CARVALHO; PERESSIN; ARAÚJO, 2006).

Dentre as estratégias para reduzir a demanda de mão de obra pode-se destacar o aperfeiçoamento das máquinas existentes e/ou introdução de novas com o objetivo de aumentar a mecanização na cultura da mandioca, principalmente na colheita, já que um bom índice de mecanização do plantio é alcançado com as plantadoras disponíveis comercialmente.

Em relação ao controle de plantas daninhas, Carvalho, Peressin e Araújo (2006) sugerem a integração de métodos químicos, mecânicos e culturais para obter maior eficiência. Ainda segundo os autores, os métodos culturais consistem de práticas agrícolas que assegurem o desenvolvimento rápido e vigoroso da cultura, possibilitando-a competir com vantagens, com as plantas daninhas. Como exemplos destas práticas, podem-se citar o bom preparo do solo, a seleção de variedades adaptadas, o uso de manivas (parte propagativa – “semente”) de boa qualidade, a correta densidade de plantio, a rotação de culturas, utilização de coberturas verdes em consórcio com a mandioca. Estas, por sua vez, têm capacidade de competir com as plantas daninhas, melhorar as propriedades físicas e químicas do solo além de possuir efeito inibidor sobre as plantas daninhas após o manejo e formação da

cobertura morta sobre o solo (CARVALHO; PERESSIN; ARAÚJO, 2006). Os sistemas de manejo que se caracterizam pela manutenção da palha na superfície são denominados sistemas conservacionistas quando apresentam pelo menos 30% da superfície do solo coberta ou a quantidade de palha for superior a 1120 kg ha^{-1} (SIMMONS, 2002). No Brasil, o sistema plantio direto, no qual ocorre o preparo do solo apenas na linha de plantio/semeadura, é um dos manejos conservacionistas mais difundido e além de contribuir para o controle de plantas daninhas, quando se tem uma expressiva quantidade de palha sobre o solo, o mesmo apresenta diversas vantagens (controle da erosão, melhoria das características físicas e químicas do solo, etc.).

No sistema de produção da mandioca, mesmo que o processo de colheita exija algum revolvimento do solo, dependendo do método de colheita, a implantação da cultura em sistema plantio direto, mantendo-se uma boa cobertura de palha sobre o solo por mais tempo, também proporciona efeitos desejáveis em termos de proteção do solo contra a erosão na fase inicial de desenvolvimento da cultura, a qual segundo Adjasa et al. (2001 apud SOUZA; SOUZA; GOMES, 2006) atinge 90% do volume total erodido nos primeiros quatro meses após o plantio. Além disso, o sistema plantio direto recupera o teor de matéria orgânica do solo e quando complementado com sistema de rotação de culturas e plantas de cobertura (sistema plantio direto integral), antecipa esta recuperação, promovendo melhoria do estado de agregação do solo (CALEGARI et al., 2006), que possui reflexos diretos na porosidade, aeração e capacidade de armazenamento de água (MUZILLI, 2006). Ainda de acordo com o autor, o aumento do teor de matéria orgânica promove: aumento da atividade biológica do solo e liberação de nutrientes essenciais (nitrogênio, fósforo e enxofre) a partir da mineralização dos resíduos orgânicos; eleva a capacidade de troca de cátions efetiva, beneficiando a adsorção de cátions trocáveis (cálcio, magnésio e potássio) e; complexação de elementos tóxicos como o alumínio e o manganês por compostos orgânicos.

Objetivando estender os benefícios do sistema plantio direto de manejo do solo à cultura da mandioca, agricultores e profissionais implantaram pequenas áreas para avaliar a sua viabilidade. Com o mesmo objetivo, trabalhos científicos também têm sido realizados (OLIVEIRA et al., 2001; MATE, 2001; JONGRUAYSUP et al., 2003; FEY et al., 2007; PEQUENO et al., 2007). Tanto os testes realizados pelos agricultores como os trabalhos de pesquisa tem apresentado resultados

inconsistentes, tendo-se produtividade inferior em alguns experimentos conduzidos sob sistema plantio direto.

Acredita-se que os resultados inferiores podem estar relacionados a mobilização de solo no sulco de plantio proporcionado pelas plantadoras utilizadas nos testes de campo e experimentos. Embora estas sejam equipadas com mecanismo de corte de palha e preparo de sulco semelhante aos já consagrados nas semeadoras de precisão, utilizadas para a semeadura de milho e soja, por exemplo, a maniva de mandioca tem dimensões muito maiores e a área de solo mobilizado pode ser insuficiente para cobrir esta de forma a proporcionar boas condições de brotação. Além deste fator, as condições físicas do solo para o desenvolvimento radicular da mandioca também devem ser levadas em consideração, pois limitações de desenvolvimento devido a problemas de adensamento (compactação) do solo podem afetar a produtividade de maneira mais acentuada do que em culturas anuais, pois a mandioca acumula os carboidratos produzidos durante a fotossíntese nas raízes.

Como uma possível solução para este problema, melhor preparo do sulco de plantio em sistema plantio direto, pode-se citar o desenvolvimento tecnológico das plantadoras de mandioca para atender esta nova necessidade. Entretanto, esta não é uma tarefa simples, pois de acordo com Romano (2003), qualquer observação que se faça sobre este sistema técnico revela a sua grande complexidade, principalmente pela interação usuário-máquina-ambiente, que exige, por um lado, precauções absolutamente indispensáveis para a segurança do homem e do ambiente durante o ciclo de vida da máquina, e por outro, desempenho funcional satisfatório na realização da operação agrícola. Neste contexto, procurando o melhor atendimento das plantadoras á problemática levantada e às características relativas à segurança e a ergonomia, baixos custos de produção e utilização, facilidade de descarte e de reciclagem, bem como a minimização dos impactos ambientais durante a fabricação e uso do produto (PAHL et al., 2005), metodologias sistemáticas para guiar o processo de desenvolvimento de produtos são essenciais. De acordo com Romano (2003), a formalização dos projetos de desenvolvimento de novos produtos, através da descrição das suas fases, atividades, responsáveis, recursos disponíveis e informações necessárias e/ou geradas, aumenta a probabilidade de sucesso, evitando a ocorrência de problemas desde a tradução das necessidades e/ou desejos de mercado em requisitos de projeto do produto,

passando por questões de geração de concepções até falhas das máquinas em operação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Aperfeiçoar o mecanismo de preparo do sulco de plantadoras de mandioca para viabilizar a implantação da cultura da mandioca em sistema plantio direto.

1.1.2 Objetivos específicos

Empregar os preceitos do processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas para o aperfeiçoamento do mecanismo de preparo do sulco de plantadoras de mandioca.

Avaliar o desenvolvimento e a produtividade da mandioca em diferentes sistemas de preparo do solo e do sulco de plantio em sistema plantio direto.

Avaliar o funcionamento e a demanda energética de protótipos fabricados.

1.2 Questões da pesquisa

É possível obter redução do número de operações mecanizadas, que tem potencial de proporcionar benefícios econômicos e ambientais em comparação ao sistema de preparo convencional, com o cultivo da mandioca em sistema plantio direto, viabilizado através do aperfeiçoamento do mecanismo de preparo do sulco das plantadoras de mandioca?

A ampliação da área de rompimento de solo no sulco de plantio, em comparação a obtida por hastes estreitas ou discos duplos que equipam plantadoras utilizadas para a implantação da mandioca em sistema plantio direto, proporciona produtividades equivalentes às obtidas em preparo convencional do solo?

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da mandioca

A mandioca é uma planta de origem sul-americana, cultivada desde a antiguidade pelos povos nativos desse continente (SOUZA; SOUZA; 2000). É considerada uma cultura rústica e é conhecida pela considerável capacidade de produção de carboidratos em solos demasiadamente pobres para o desenvolvimento de outras culturas Asher et al. (1980 apud OHIRI; EZUMAH, 1990). Pertence a família Euphorbiaceae, uma das maiores dentro das dicotiledôneas, onde são encontrados 290 gêneros e aproximadamente 7500 espécies distribuídas em todas as regiões tropicais e subtropicais do globo, principalmente na América e na África (Barroso et al. 1984, apud DALLAQUA; CORAL, 2002). Segundo Fukuda (2000), já foram catalogadas 4132 variedades no Brasil, as quais se encontram conservadas em coleções e bancos de germoplasmas de várias instituições de pesquisa do país. A planta cultivada como fonte de carboidratos em diversas partes do mundo é a espécie *Manihot esculenta* Crantz e, de acordo com Rogers (1963 apud MONTALDO, 1979) várias espécies são sinônimos desta como: *M. utilíssima*, *M. aipi*, *M. dulcis*, *M. flexuosa*, *M. flabellifolia*, *M. diffusa*, *M. melanobasis*, *M. digitiformis* e *M. sprucei*.

A mandioca é uma planta heliófila, perene e arbustiva e, sua alta heterozigosidade, favorecida pelos cruzamentos naturais intraespecíficos, resultou em grande número de variedades com diferentes características morfológicas, permitindo sua adaptação às condições variadas de clima e solo, bem como resistência e/ou tolerância a pragas e doenças (LORENZI, 2003). Conforme Alves (2006), por ser perene, a mandioca pode crescer indefinidamente, alternando períodos de crescimento vegetativo, armazenamento de carboidratos nas raízes e até períodos de quase dormência, provocada por condições climáticas severas, tais como baixa temperatura e déficit prolongado de água.

A propagação da mandioca pode ser por estacas, chamadas popularmente de manivas, as quais são fragmentos de caules (também conhecidos por ramas), ou por semente sexual. A estaquia é o método mais comum e as sementes são mais utilizadas em programas de melhoramento genético, pois as plantas provenientes destas levam mais tempo para se estabelecer e são menores e menos vigorosas

que as plantas oriundas de estacas (ALVES, 2006).

A planta da mandioca segue quatro fases principais de desenvolvimento que são: brotação da estaca; formação do sistema radicular, desenvolvimento de caules e folhas e, engrossamento das raízes de reserva e acúmulo de amido em seus tecidos (MONTALDO, 1979). Segundo o autor, 5 a 7 dias após o plantio se formam as raízes adventícias (tipo de raiz que se desenvolve no caule) nos calos da superfície basal da maniva (Figura 1_A) e, eventualmente, nas lenticelas, cicatrizes das escamas ou gemas. Logo depois surgem os caules e de 10 a 12 dias aparecem às folhas, estando aos 15 dias a plântula constituída e a fase de brotação finalizada.

Até 30 dias após o plantio o crescimento da parte aérea depende da reserva da “maniva-semente” e a partir dessa época o processo fotossintético começa a contribuir positivamente para o crescimento da planta (ALVES, 2006). Na fase de formação do sistema radicular (2 meses e meio), as primeiras raízes são substituídas pelas fibrosas (Figura 1_B) que chegam até 50 cm de profundidade (MONTALDO, 1979). Nesta época (2 a 3 meses) o processo de tuberização inicia-se, pois começa a ocorrer um balanço positivo de carboidratos produzidos pelos elementos fotossintéticos que são translocados às raízes de reserva (LORENZI, 2003). Normalmente, entre 3 a 15 raízes fibrosas tornam-se raízes de reserva, Figura 1_C (ALVES, 2006).

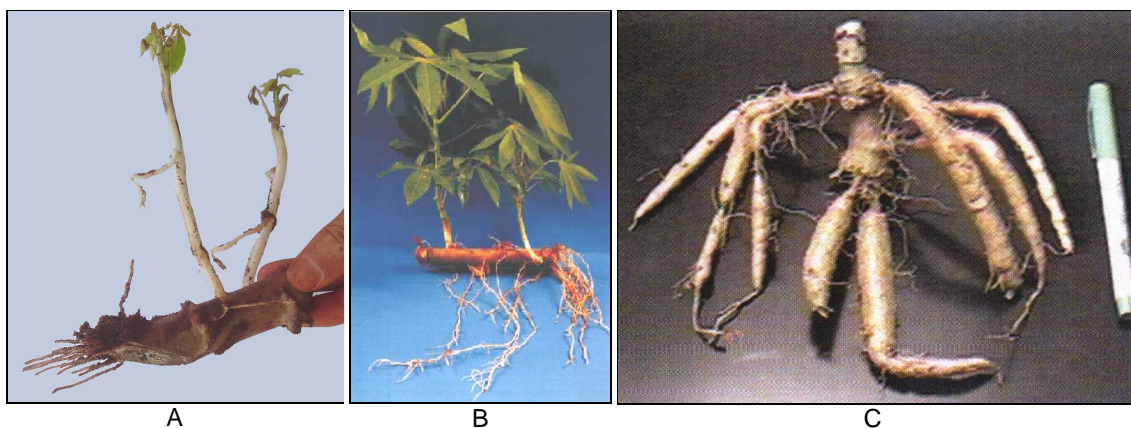


Figura 1 – Estádios de desenvolvimento da mandioca até a tuberização. A – 20 dias após o plantio; B – início do processo de tuberização e; C – definição das raízes de reserva 60 a 90 dias após o plantio.

Fonte: B – Dallaqua e Coral (2002) e; C – Alves (2006).

De acordo com Lorenzi (2003), o número de raízes fibrosas que se diferencia para armazenar amido depende do genótipo, mas é extremamente influenciado pelo

ambiente. O autor sugere que quanto maior é o excesso de carboidratos, nesta fase inicial, maior será o número de raízes tuberosas formadas (Figura 2), as quais são importantes componentes de produção. Assim, pelo fato de, uma vez diferenciadas, as raízes de reserva apenas aumentarem de tamanho, não sendo formadas novas, deve-se estabelecer a cultura em condições que permitam o pleno desenvolvimento inicial das plantas e formação de um maior número de raízes de reserva para a obtenção de altas produtividades.



Figura 2 – Aspectos gerais da mandioca no momento da colheita, 20 meses após o plantio. Marechal Cândido Rondon, Paraná, 2008.

A cultura da mandioca é cultivada na faixa compreendida entre 30 graus de latitude Norte e Sul, com maior concentração entre 15° N e 15° S e, em altitudes que variam desde o nível do mar até 2300 m, sendo a faixa até 800 m de altitude mais adequada. A temperatura ideal situa-se entre os limites de 20 a 27° C (média anual), podendo a planta crescer bem entre 16 e 38 ° C. A faixa mais adequada de precipitação pluviométrica está compreendida entre 1000 e 1500 mm/ano, bem distribuídos. Entretanto, a cultura produz em locais com índices de até 4000 mm por ano, desde que o solo seja bem drenado e, em regiões semiáridas, com chuvas de 500 a 700 mm por ano ou menos, sendo importante neste caso não ocorrer deficiência de água nos primeiros cinco primeiros meses após o plantio. Deficiências hídricas após este período não causam grandes reduções de produção, pois as plantas já formaram as raízes tuberosas (SOUZA; SOUZA, 2000).

A mandioca é cultivada em vários tipos de solos (MONTALDO, 1979; TAKAHASHI; GONÇALO, 2001), sendo recomendável que estes tenham

profundidade de 30 a 40 cm; ausência de camadas impermeáveis e material rochoso e; sejam soltos, porosos e friáveis para possibilitarem o fácil crescimento das raízes (MONTALDO, 1979; SOUZA; SOUZA, 2000). De acordo com Souza, Souza e Gomes (2006), em função de o produto principal serem as raízes, a mandioca adapta-se melhor a solos arenosos ou de textura média, que tem menor coesão das partículas, facilitando o crescimento e engrossamento das raízes e, que possuem maior volume de poros, o que melhora a drenagem e diminui a resistência do solo a colheita. Segundo os mesmos, solos argilosos apresentam menor espaço poroso, maior risco de saturação (encharcamento) e podridão de raízes, e maior dificuldade de colheita.

Para avaliar o efeito de propriedades físicas do solo sobre o desenvolvimento morfológico das raízes de reserva, componentes de produtividade e, de que forma estes fatores se relacionam com a produtividade e produção total de biomassa, Vine e Ahmad (1987) realizaram experimentos em 3 solos diferentes, com e sem preparo, em Trinidad. Os autores verificaram que a resistência do solo a penetração afeta significativamente a produtividade quando a disponibilidade de água e ar é suficiente, exceto em condições de macroporosidade inferiores a 12% (que caracterizam aeração deficiente ou “pobre”), que foram mais limitantes ao desenvolvimento do que a resistência do solo a penetração. Na estação seca, observaram que a disponibilidade de água foi mais importante do que a resistência do solo a penetração para explicar o aumento de produtividade e, que as raízes de reserva superaram alta resistência mecânica para sua expansão. Em relação aos sistemas de preparo, verificaram que a descontinuidade do perfil do solo causada pelo preparo restringiu o desenvolvimento das raízes a camada revolvida, com tendência de expansão horizontal. Nas parcelas não preparadas, as raízes de reserva basais penetraram a profundidades maiores, crescendo verticalmente, em função das raízes nodais manterem um ângulo expressivamente menor. Condições de aeração inicialmente deficientes (pobres) não só reduziram o número de raízes de reserva, mas nas situações extremas reduziram permanentemente a formação de calos basais nas manivas para a formação de raízes de reserva. Finalmente, os autores sugerem que a máxima produtividade de raízes de reserva na mandioca pode ser obtida sob condições físicas do solo que permitem o máximo desenvolvimento da planta como um todo através do fácil crescimento das raízes fibrosas, adequada aeração e disponibilidade de água, destacando ainda, que

períodos de adversidade destes fatores apenas retardam o desenvolvimento.

Mais especificamente em relação a drenagem do solo, Lahai et al. (1999) conduziram um trabalho em Njala, Serra Leoa, onde estudaram o comportamento de 3 variedades de mandioca até 4 meses após o plantio, em solo bem drenado (terra alta) de junho a setembro de 1993 e sob condições de drenagem imperfeita (terra baixa) de fevereiro a maio de 1994, e obtiveram redução de 53 a 96% sobre a produtividade nas áreas com drenagem imperfeita. Estes resultados condizem com Lorenzi (2003), segundo o qual a mandioca necessita de grandes quantidades de oxigênio livre para a acumulação de amido e Howeler et al. (1993), conforme os quais a falta de oxigênio no solo pode afetar a indução de raízes de reserva ou resultar no apodrecimento das mesmas após o estabelecimento. De acordo com as observações de Lorenzi (2003), em solução nutritiva as raízes absorventes (finas) se desenvolvem bem e a parte aérea fica normal, mas não ocorre tuberização mesmo quando a solução é bem suprida de oxigênio.

Estas observações demonstram que a drenagem pode interferir significativamente sobre a produtividade da mandioca. Vale destacar que este comportamento também pode ocorrer em regiões de solos naturalmente bem drenados. Se o solo estiver com problemas físicos que afetem a infiltração de água e ocorrerem muitas chuvas, durante um período continuado de tempo, a condição do solo poderá ser semelhante a observada em solos que naturalmente apresentam-se mal drenados. Nestas situações, Howeler et al. (1993) destaca o adequado rompimento do solo durante o preparo como sendo de suma importância, pois o mesmo pode, geralmente, proporcionar melhor drenagem e aeração do solo, reduzir a podridão de raízes e aumentar a produtividade, facilitar a colheita, reduzir os danos às raízes durante a colheita, proporcionando redução da deterioração durante o armazenamento.

Entretanto, a associação de sistemas de preparo do solo que resultam em pequena quantidade de palha remanescente sobre o solo com as características fitotécnicas da mandioca, a qual em função da arquitetura foliar e do espaçamento entre linhas e entre plantas na linha oferece reduzida proteção à superfície do solo no período inicial de desenvolvimento (HOWELER et al., 1993; GABRIEL FILHO et al., 2000; LORENZI, 2003), agrava os problemas com erosão, compactação, oxidação da matéria orgânica, entre outros, resultando no empobrecimento crescente dos solos (SOUZA; SOUZA; GOMES, 2006).

Para contornar o problema em direção a um sistema de produção sustentável, Souza e Souza (2006) recomendam a redução das operações de preparo (revolvimento do solo) ao mínimo possível, devendo estas serem suficientes apenas para permitir a instalação da cultura e para o bom desenvolvimento do sistema radicular. Neste sentido, Howeler et al. (1993) relatam que as culturas tuberosas são plantadas a profundidades maiores e com material propagativo de dimensões maiores em comparação com as sementes de cereais e leguminosas, razões pelas quais estas não necessitam de preparo excessivo, ou seja, que pulveriza (desagrega) demasiadamente o solo, bem como o nivelamento do mesmo. Segundo os autores, estas culturas se desenvolvem bem quando torrões remanescem sobre a superfície, os quais ainda facilitam a infiltração de água e reduzem escoamento de água e a erosão.

Outros cuidados sugeridos por Souza e Souza (2006) para o adequado preparo do solo são: alternância do tipo de implemento e da profundidade de trabalho para minimizar os riscos de formação de camadas compactadas e de degradação do solo; realizar o preparo quando o solo estiver na umidade correta (friável) e; conservar o máximo de resíduos vegetais sobre a superfície do terreno, pois estes reduzem o impacto das gotas da chuva que causam desagregação da estrutura e constituem um impedimento ao fluxo das enxurradas.

De forma geral, Howeler et al. (1993) destacam que as culturas tuberosas necessitam de solo adequadamente preparado para obter altas produtividades, mas com procedimentos especiais para proteger o solo contra a erosão, como a palha, cultivo sobre camalhões em contorno, preparo reduzido e cultivo de culturas intercaladas ou de culturas de cobertura para a produção de palha antes da implantação das mesmas. Os autores ressaltam que sistemas em que apenas se prepara o local de plantio ou faixas em contorno intercaladas com faixas não preparadas são efetivos para o cultivo da mandioca em solos leves e friáveis, devendo-se, no entanto, adotar práticas adequadas de manejo de plantas daninhas, pois estes sistemas são menos eficientes para o seu controle. De acordo com Howeler et al. (1993), nas culturas tuberosas as raízes fibrosas tendem a ser relativamente frágeis e superficiais, tornando-as sensíveis a competição com raízes de plantas daninhas ou outras culturas que se desenvolvem associadas com as mesmas. Como recomendação, os autores sugerem que práticas de preparo do solo precisam contemplar os objetivos de alta produtividade com a necessidade de

adequada conservação do solo.

2.1.1 Sistemas de preparo do solo

A denominação “preparo” do solo é bastante geral e envolve todas as operações de revolvimento do solo para a implantação das culturas, objetivando a otimização das condições para a germinação das sementes, estabelecimento das plântulas e desenvolvimento da mesmas (LAL, 1995). Inclui práticas de preparo caracterizadas pela aração e gradagem; práticas em que o controle de plantas daninhas é realizado com herbicidas e reguladores de crescimento; e sistemas que incluem o cultivo de culturas de cobertura de solo (adubos verdes) que podem ser facilmente manejadas para posterior semeadura sobre os resíduos (palha).

Para Triplett Jr. e Dick (2008), o preparo do solo, caracterizado pelo intenso revolvimento, foi responsável pelo expressivo aumento da produção de alimentos, em função de proporcionar um melhor preparo da área de plantio/semeadura, controle da competição de plantas daninhas e maior disponibilidade de nitrogênio para as culturas em função da rápida oxidação da matéria orgânica. Por outro lado, esta rápida decomposição da matéria orgânica acelerou a degradação da estrutura do solo e o processo de erosão, principalmente nas regiões localizadas mais ao Sul dos Estados Unidos e do Brasil, devido às altas temperaturas e as maiores quantidades e intensidades de chuva, característicos dessas regiões.

Tanto a erosão hídrica quanto a eólica são agravadas pelo preparo com arados, pois o solo é revolvido e os resíduos são incorporados, ficando o mesmo exposto a chuvas de alta intensidade e ventos fortes que resultam em severas erosões (LAL; REICOSKY; HANSON, 2007). Isto ocorre porque o preparo intensivo deixa o solo exposto, permitindo que a chuva pulverize-o excessivamente, criando condições para o transporte de solo e nutrientes pelas chuvas intensas. Ainda de acordo com Lal, Reicosky e Hanson, 2007, esta expressiva erosão do solo e os outros processos de degradação influenciam a produtividade agrônômica e o meio ambiente em função do seu impacto sobre as características físicas, químicas e biológicas, que são relacionadas à qualidade do solo. No entanto, mesmo que as práticas de cultivo resultassem no esgotamento do solo, motivadas pela exploração intensa e a busca de altas produtividades, os colonizadores europeus da América do

Norte e do Sul não se preocupavam com a sustentabilidade das propriedades, em função da disponibilidade de grandes áreas agrícolas em outros lugares (TRIPLETT; DICK, 2008).

Entretanto, a grande expansão das áreas agrícolas, que se acentuou durante a década de 1970 motivada pela elevação dos preços dos produtos, agravou expressivamente a erosão do solo (TRIPLETT; DICK, 2008). Esta expansão promoveu o aumento da demanda nas áreas com alto potencial de produtividade e facilidade de exploração e a redução da área de solo arável per capita em regiões mais populosas do mundo, e transformou a erosão do solo num problema global em função do seu impacto sobre a produtividade e a sustentabilidade agrícola (LAL; REICOSKY; HANSON, 2007). Assim, a erosão foi considerada um dos maiores problemas das terras agrícolas no Brasil e no Mundo, pois além do fenômeno físico, apresentava consequências socioeconômicas e até políticas, como o êxodo rural, causadas pela degradação do potencial produtivo das terras e consequente redução da renda da agricultura (MONDARDO; BISCAIA, 1981).

Nesse contexto, embora as condições climáticas, o tipo de solo e o relevo tenham significativa relação com o potencial de ocorrência de erosão em determinada região, o sistema de manejo adequado do solo permite reduzir este problema sensivelmente (FAO, 2000). Características importantes dos manejos que apresentam resistência contra a erosão eólica, hídrica e o escoamento da água são a manutenção da superfície do solo coberta com palha ou culturas em desenvolvimento, e suficiente rugosidade superficial ou permeabilidade do solo (SIMMONS, 2002). Preparos com estes objetivos passaram a ser denominados “conservacionistas” e conforme Lal (1995) caracterizam uma sequência de práticas que reduzem a perda de solo e água em relação ao preparo convencional (aração seguida de uma ou duas gradagens), sendo, normalmente, preparos que não revolvem o solo (inversão de camadas) e mantêm uma camada de proteção com palha sobre o mesmo.

Entretanto, em algumas situações, onde a produção ou manutenção de resíduos (palha) na superfície para a proteção do solo é insuficiente, seja em função das condições climáticas adversas em regiões semiáridas, da utilização da parte aérea das culturas para a alimentação animal ou do consumo dos resíduos pelos cupins, a redução da perda de água do solo pode ser alcançada com a construção de camalhões ou sulcos (FAO, 2000). Em função destas características, Lal (1995)

ressalta que os preparos conservacionistas podem envolver um grande número de práticas, desde o sistema plantio direto até o preparo intensivo, dependendo das condições do solo. Mas, a manutenção de uma quantidade efetiva de resíduos das culturas (palha) sobre a superfície do solo é um aspecto fundamental dos sistemas de manejo conservacionistas, os quais chegam a ser denominados de “manejo dos resíduos das culturas”, cujo objetivo é manter o solo coberto com a quantidade necessária de resíduos para o adequado controle da erosão (SIMMONS, 2002).

Considerando a cobertura do solo como um aspecto fundamental para proteger o solo contra a degradação, os sistemas de preparo conservacionistas, de acordo com a ASAE (2005), são aqueles que mantêm no mínimo 30% do solo coberto com palha após o plantio, para reduzir a erosão hídrica, ou onde a erosão eólica é a principal preocupação, mantêm pelo menos 1100 kg ha⁻¹ de resíduos equivalentes a culturas de “grãos miúdos” (trigo, centeio, aveia e cevada) sobre a superfície durante as épocas de maior risco de erosão.

Os sistemas conservacionistas mais comuns (FAO, 2000) são o sistema plantio direto (*zero tillage, no till, direct drilling*), o plantio em faixas (linhas de plantio) previamente preparadas (*strip tillage, zonal tillage*); o preparo vertical ou preparo com escarificadores (*Tined tillage ou vertical tillage*); o plantio em camalhões (no topo, ao lado ou no fundo) previamente preparados (*ridge tillage*) e; o preparo reduzido (*reduced tillage*). Este último é um sistema que consiste num menor número de operações ou operações de menor demanda energética em comparação ao sistema de preparo convencional (ASAE, 2005) e pode ser considerado um sistema de preparo conservacionista ou não, dependendo da quantidade de resíduos que permanecem sobre o solo após o plantio (FAO, 2000; SIMMONS, 2002). Este fato denota que a denominação preparo reduzido é relativamente vaga, pois todos os sistemas que apresentam redução do número, da frequência ou intensidade de uso dos implementos podem ser considerados reduzidos, embora em alguns casos possam resultar em praticamente nenhuma cobertura do solo enquanto, em outros, podem apresentar mais de 30% de cobertura (FAO, 2000). Ainda de acordo com a FAO (2000), no sistema de preparo reduzido normalmente não se utilizam o arados de aivecas ou arados de discos e, apesar da grande diversidade dos sistemas de preparo reduzido, em todos se tem como principais vantagens a redução do consumo de combustível, do número de horas trabalhadas e equipamentos necessários em comparação ao preparo convencional.

As expressões “preparo mínimo” e “cultivo mínimo” envolvem o revolvimento mínimo do solo para a produção das culturas ou para satisfazer o preparo requerido em determinada condição do solo (ASAE, 2005). São utilizadas por muitos autores como sinônimos de preparo conservacionista, por outros para mencionar o sistema plantio direto, enquanto alguns ainda as utilizam como sinônimo de preparo reduzido (FAO, 2000). Assim, além da diversidade de sistemas de preparo que têm sido denominados de “mínimos”, a própria definição deste sistema é vaga (LAL, 1995; FAO, 2000; SIMMONS, 2002), pois o preparo mínimo do solo requerido por uma determinada cultura para o seu adequado desenvolvimento pode variar de nenhum preparo até uma ampla gama de preparos primários e secundários (LAL, 1995). Dessa forma, quando muitos utilizam o termo “preparo mínimo”, a nomenclatura mais correta, de acordo com Simmons (2003), seria “preparo reduzido”, que se refere a um sistema de preparo menos intensivo e agressivo em relação ao preparo convencional.

Para minimizar estas indefinições, procurando-se adotar denominações mais precisas para os diferentes sistemas de preparo do solo, a ASAE (2005) também associou o preparo reduzido a um determinado valor de cobertura do solo após o sistema de preparo ou de plantio. Segundo esta definição, o preparo reduzido é o sistema que mantém entre 15 e 30% do solo coberto após o plantio e entre 560 a 1100 kg ha⁻¹ de resíduos equivalentes a culturas de “grãos miúdos” sobre a superfície durante as épocas de maior risco de erosão.

Os sistemas que mantêm menos de 15% do solo coberto com palha após o plantio ou resultam em massa seca de culturas equivalentes a “grãos miúdos” inferior a 560 kg ha⁻¹ sobre a superfície durante as épocas de maior risco de erosão são denominados de “preparo intensivo” (ASAE, 2005). Como os preparos utilizados nos sistemas de produção agrícola envolviam o intenso revolvimento do solo, a partir do momento que surgiram preparos alternativos, o anterior passou a ser chamado de “preparo convencional”, que segundo a ASAE (2005), engloba as operações de preparo do solo tradicionalmente executadas para a implantação e o desenvolvimento de uma cultura em determinada região geográfica.

Praticamente todos os preparos alternativos que surgiram em relação ao preparo intensivo ou convencional foram motivados, principalmente, pela necessidade de suscitar sustentabilidade aos sistemas de produção, redução dos impactos ambientais e viabilidade econômica, conforme discutido anteriormente.

Nestes sistemas de preparo alternativos, o sistema plantio direto representa a situação oposta ao preparo intensivo do solo. Para Lal (1995), no sistema plantio direto a implantação de uma cultura é efetuado num sulco, não preparado previamente, em que a máxima palha permanece na superfície e, as plantas daninhas são controladas por herbicidas, pela palha, por culturas de cobertura vigorosas ou pela combinação desses métodos. Segundo Denardin e Kochhann (2004), o sistema plantio direto é interpretado como ferramenta da agricultura conservacionista para imprimir sustentabilidade ao desenvolvimento agrícola. Para tanto, é um complexo de processos tecnológicos destinado à exploração de sistemas agrícolas produtivos, contemplando a diversificação de espécies, via rotação e/ou consorciação de culturas, mobilização de solo apenas na linha/cova de semeadura, manutenção permanente da cobertura do solo e minimização do interstício entre colheita e semeadura, pela implementação do processo colher e semear.

A definição da ASAE (2005) para plantio direto (*no-till*) descreve que neste manejo as culturas são implantadas em sulcos estreitos ou faixas preparadas, em solo não revolvido previamente. O preparo do solo é restrito a deposição dos fertilizantes e/ou sementes ou remoção dos resíduos da linha de plantio e o revolvimento não deve ser superior a 1/3 do espaçamento entre linhas. Quando a faixa de plantio é preparada com antecedência e são realizadas as operações de semeadura e fertilização nesta posteriormente e o revolvimento do solo se restringe a 1/3 do espaçamento entre linhas, este sistema é denominado, de acordo com a ASAE (2005) de “plantio em faixas” (*Strip tillage*). Já nos casos em que a fertilização e/ou plantio é realizado em sulcos estreitos ou faixas preparadas, constando de uma ou duas passadas (operações) e o revolvimento do solo atinge até 2/3 do espaçamento entre linhas, o sistema é caracterizado como “semeadura direta” (*Direct seed*) (ASAE, 2005). Nos três sistemas de plantio direto mencionados, o solo é mantido coberto com palha durante todo ano.

Quando o preparo das linhas é realizado antes do plantio, pode-se citar como vantagens a facilidade de aplicação de fertilizantes ao longo da linha preparada, possibilidade de utilizar semeadoras convencionais para realizar a semeadura, adequada germinação e desenvolvimento das plantas, entre outros, desde que o solo não seja suscetível a formação de crostas que podem obstruir a germinação (FAO, 2000). Como desvantagem pode-se citar o maior revolvimento do solo e

menor cobertura do solo em comparação ao sistema plantio direto (FAO, 2000). Como exemplos de operações realizadas em faixas, podem-se citar a escarificação, subsolagem, enxada rotativa ou incorporação de resíduos, esterco, fertilizantes e agrotóxicos (MORRISON, 2002).

Embora este sistema de preparo apenas da linha de semeadura (*strip-till, zone-till, band tilling, etc*) seja contrário as técnicas de preparo conhecidas para solos coesos, argilosos, entre outros problemas, esta é uma prática potencial de manejo para todos os solos minerais, pois no mesmo é realizado um adequado preparo na linha (MORRISON, 2002). É a combinação da subsolagem com modernos sistemas de preparo conservacionistas, que maximizam a manutenção de resíduos na superfície e podem auxiliar a reduzir a demanda de energia, que interfere diretamente no consumo de combustível, que correspondeu por mais de 28% dos custos da operação de subsolagem em 2005, conforme Raper e Bergtold (2007).

No Brasil, a prática de preparo prévio da linha de plantio (plantio em faixas) é empregada na área florestal para a implantação das mudas. É realizada a subsolagem apenas na linha de plantio, chamada “preparo mínimo” para minimizar a mobilização do solo e manter o máximo possível de resíduos sobre o solo (SASAKI et al., 2002). De acordo com Gonçalves (2002), esta prática não é exclusiva de solos com camadas compactadas, mas também é realizada em solos friáveis, com densidades adequadas, com a finalidade de diminuir a densidade, propiciando crescimento rápido às raízes finas, que encontram camadas com baixa resistência mecânica, resultando em economia de energia e facilidade de crescimento radial e longitudinal.

De acordo com Morrison (2002), o preparo das faixas e a semeadura pode ser realizado em duas operações (executadas horas, dias, semanas ou meses antes do plantio) em certos solos argilosos que são adesivos, enquanto em solos friáveis, o mesmo pode ser realizado de forma combinada com a operação de semeadura. Nestas situações, utilizam-se máquinas especiais que possuem disco de corte na frente, seguido de hastes ou discos para romper o solo após este e, uma unidade de semeadura similar a das semeadoras utilizadas para o sistema plantio direto (FAO, 2000). Ainda de acordo com a Organização, variações deste sistema de manejo são a semeadura em faixas preparadas (*Strip tillage-seeding*) e a semeadura em faixas com preparo profundo (*Deep tillage-seeding* ou *Rip plant*), em que as máquinas

podem ser, eventualmente, equipadas com rolos destorroadores localizados após a haste sulcadora para desagregar os torrões maiores ou, apresentar um subsolador entre o disco de corte e o disco responsável pela deposição de sementes em solos coesos e compactados.

Com exceção da área florestal discutida anteriormente, não é uma prática comum realizar o preparo prévio das linhas de plantio no Brasil, sendo as funções de preparar o sulco e a deposição de fertilizantes e sementes realizadas em apenas uma operação por semeadoras-adubadoras, plantadoras ou transplantadoras. Por outro lado, mesmo que as semeadoras sejam equipadas com hastes sulcadoras, com capacidade de romper solos mais compactados e atingir maiores profundidades, a prática de manejo é denominada “sistema plantio direto”, divergindo das definições apresentadas pela FAO (2000) e Morisson (2002), que consideram sistemas em que ocorre um preparo mais profundo na linha de plantio, seja ele prévio ou no momento da semeadura, como sistemas diferentes do sistema plantio direto.

As semeadoras utilizadas no sistema plantio direto podem apresentar duas configurações básicas de elementos rompedores de solo: os discos e os sulcadores, combinados na linha de plantio da semeadora dos seguintes modos: disco de corte, disco duplo para adubo e semente; disco duplo para adubo e disco duplo para semente; disco de corte, sulcador para adubo e disco duplo para semente; disco de corte conjugado com sulcador (guilhotina) para adubo e disco duplo para semente e; disco de corte, sulcador para adubo e semente (KOCHHANN; FAGANELLO, 1998).

Estima-se que o plantio direto é praticado em aproximadamente 90 milhões de hectares no mundo inteiro. Aproximadamente 45% da tecnologia é praticada na América Latina, 41% é praticada nos Estados Unidos e o Canadá, 10% na Austrália e 3,6% no resto do mundo, incluindo Europa, África e Ásia. Não obstante terem sido realizadas pesquisas de boa qualidade e longa duração nestes continentes, o plantio direto tem tido somente pequenas taxas de adoção. Apesar do fato de que os Estados Unidos têm a maior área sob plantio direto, é interessante frisar que o plantio direto representa apenas 21% da área agrícola cultivada nesse país. No Brasil o plantio direto representa aproximadamente 50%, na Argentina 55%, e no Paraguai 60% de toda a área cultivada (DERPSCH; BENITES, 2004).

Dentre as vantagens que o sistema plantio direto proporciona, pode-se citar o controle eficiente da erosão, desde que haja quantidade suficiente de palha sobre o

solo (LOMBARDI et al., 1988), devido a proteção da palha depositada sobre a superfície do solo contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo a desagregação e o selamento da superfície, garantindo maior infiltração de água e menor arraste de terra. De acordo com Mondardo e Biscaia (1981), o plantio direto, por manter a palha na superfície do solo, pode reduzir as perdas de solo por erosão em mais de 80%, em relação ao preparo convencional e segundo Alvarenga et al. (2003), deve-se ter pelo menos 50% da superfície do solo coberta com resíduos, para um bom controle de erosão. A manutenção da palha sobre o solo e sua consequente mineralização proporciona melhoria das condições físicas e de fertilidade do solo, através do aumento do teor de matéria orgânica, de nutrientes e de água armazenada.

Outra vantagem do sistema plantio direto é a redução dos custos de produção por não haverem operações de preparo do solo. Tomando-se como exemplo o consumo de óleo diesel, segundo um levantamento realizado numa área de 850 mil ha na região de Passo Fundo – RS, a quantidade de combustível (óleo diesel) demandada no preparo convencional é 135 litros/ha/ano enquanto a quantidade requerida no plantio direto foi de 75,7 litros/ha/ano (DIECKOW et al., 2004). Nos Estados Unidos, os sistemas de manejo envolvendo o preparo reduzido e o sistema plantio direto foram os principais responsáveis pela redução do consumo de óleo diesel e gasolina, de 125 litros por tonelada de grãos produzidos em 1973 para 49 litros em 2002, uma redução de aproximadamente 60% Duffield (2005 apud BROWN, 2006).

Em relação às culturas tuberosas, Howeler et al. (1993) destacam que as práticas de preparo conservacionista, normalmente utilizadas em cereais e leguminosas, dificilmente serão viáveis, pois exigem mobilização do solo, deixando-o desprotegido e suscetível à erosão. Entretanto, os próprios autores destacam que as pesquisas sobre práticas de preparo do solo para culturas tuberosas não são abundantes, mas geralmente evidenciam que a mandioca necessita do preparo de apenas uma pequena parte (porção) do solo para se desenvolver em solos arenosos ou com alto teor de matéria orgânica ou em áreas recentemente desmatadas.

Neste contexto, em função dos vários benefícios do sistema plantio direto para os sistemas de produção da soja, do milho, do feijão, do trigo, entre outros, mais estudos e trabalhos de pesquisa são necessários para incluir a cultura da mandioca neste grupo. Embora para a colheita da mandioca seja necessário realizar um determinado revolvimento do solo para retirar as raízes do solo, de acordo com

Lal (1995) este seria aceitável no sistema plantio direto. É interessante destacar que, até o momento da colheita, o sistema poderia ser caracterizado tranquilamente como sistema plantio direto, conforme a definição de Lal (1995), por não ter ocorrido preparo prévio do solo. Por outro lado, a cultura seguinte estaria sendo implantada sob solo preparado e, a adoção de uma cultura que produza boa quantidade de biomassa poderia acelerar o retorno ao sistema plantio direto a partir do próximo cultivo.

2.1.2 Produtividade da mandioca em sistemas de preparo

Os resultados publicados sobre o efeito de diferentes preparos do solo sobre a produtividade de mandioca, de acordo com Howeler et al. (1993) variam expressivamente em função do tipo de solo, vegetação anterior ou histórico da área, bem como, condições climáticas durante o preparo e o plantio. Atualmente, analisando-se vários trabalhos realizados e divulgados após a publicação de Howeler et al. (1993), principalmente, pode-se constatar que as evidências ainda não se alteraram substancialmente, ou seja, de forma geral o preparo de pequenas porções do solo (sistema plantio direto ou equivalentes) tem proporcionado bons resultados em comparação ao preparo intensivo do solo. A seguir são brevemente descritos vários trabalhos publicados que confirmam esta constatação.

Em solo com textura média (57% areia, 11% silte e 32% argila) na Nigéria, Ohiri e Ezumah (1990) conduziram experimentos durante três anos com o objetivo de avaliar o efeito de três preparos do solo sobre a produtividade da mandioca e as propriedades físicas do solo. Os tratamentos consistiram de preparo convencional (aração a profundidade de 200 mm seguida de gradagem e construção dos camalhões), preparo mínimo (covas grandes com 200 mm de profundidade) e, ausência de preparo (introdução das manivas diretamente no solo em ângulo de 45°). Os autores concluíram que a eliminação da aração, gradagem e camalhões, não reduziu a produção total de biomassa da mandioca no solo em questão, além de retardar os processos de evaporação e oxidação, resultando em maior retenção de água no solo e diminuição das perdas de matéria orgânica.

Na região norte da Colômbia, Cadavid et al. (1998) avaliaram o efeito de preparos do solo (convencional e sistema plantio direto) associados a ausência ou

adição de 1,2 kg m⁻² de palha sobre o solo 3 meses após o plantio e dois níveis de adubação (sem adubação e adição de 50, 21, 41 kg ha⁻¹ de N, P e K) em solo arenoso de baixa fertilidade durante 8 anos. Nas parcelas que não foram adubadas, a adição de palha promoveu um significativo aumento da produtividade enquanto os preparos do solo não apresentaram diferença. Nas parcelas com adubação, o sistema plantio direto sem adição de palha apresentou produtividade significativamente inferior ao sistema plantio direto com a adição de palha e aos preparos convencionais (com e sem adição de palha), que foram iguais entre si. Em todos os tratamentos, a adubação proporcionou um aumento significativo da produtividade.

Com o objetivo de avaliar a influência de diferentes coberturas vegetais associados a preparos do solo sobre a mandioca, Miranda (1998) realizou um experimento em Urussanga – SC na safra 1995/96. Em maio de 1995 prepararam todas as parcelas com arado de discos seguido de uma gradagem e os tratamentos consistiram de: manutenção de dois tratamentos com vegetação espontânea (pousio), onde um sofreu nova aração e gradagem e o outro foi dessecado com herbicida e, quatro tratamentos em que semeou-se ervilhaca comum, azevém, espérgula e tricale (colhido em início de outubro de 1995). As coberturas com ervilhaca, azevém e espérgula não foram dessecadas e o plantio da mandioca foi realizado em 16 de outubro de 1995. Os resultados apontaram maior produção de raízes de mandioca nos sistemas com vegetação espontânea (preparo com arado de discos e dessecação) e menor nas demais coberturas (ervilhaca comum, azevém, espérgula, e tricale), as quais foram estatisticamente semelhantes entre si. O autor atribui os resultados a uma possível competição por luz que pode ter ocorrido entre as plantas de cobertura e a cultura da mandioca no início do desenvolvimento.

Em Araruna – PR, Oliveira et al. (2001) conduziram experimentos durante os anos agrícolas de 1994/95 e 1996/97, avaliaram a influência do sistema plantio direto, preparo mínimo (preparo com subsolador e gradagem niveladora) e preparo convencional (arado de aivecas e gradagem niveladora) sobre a cultura da mandioca. Ambos os experimentos iniciaram em abril com a semeadura de aveia preta, após o solo ter sido preparado convencionalmente (arado de discos e gradagem niveladora) no primeiro experimento e, em sistema de plantio direto sobre a palha de milho no segundo experimento. Na média dos anos, obtiveram resultados

significativamente inferiores de produtividade de mandioca no sistema plantio direto em comparação ao preparo mínimo (preparo com subsolador) e convencional, que apresentaram resultados semelhantes.

Sob condições de solo argiloso, em Marechal Cândido Rondon – PR, Mate (2002) avaliou a influência do sistema plantio direto e preparo convencional (arado de discos e duas gradagens niveladoras) associados a três posições de plantio das manivas (horizontal, inclinado 45° e vertical) sobre o desenvolvimento e a produtividade da mandioca em colheita de 1 ciclo (9 meses). A área anteriormente estava ocupada com milho safrinha e era manejada em sistema plantio direto por quatro anos. O plantio da mandioca em ambos os casos foi manual e os sulcos foram abertos por subsolador com ponteiras aladas. O sistema de preparo do solo apenas influenciou o número de raízes por planta, que foi maior no preparo convencional, enquanto nas variáveis número de plantas emergidas e altura aos 25 dias, número de caules, diâmetro de caules, produtividade de raízes, teor de amido e produtividade de amido não se observou diferenças estatísticas. A posição vertical de plantio promoveu maior emergência/brotação e altura de plantas aos 25 dias após o plantio, maior número de caules no sistema plantio direto (somente foi diferente neste sistema), menor diâmetro de caules, maior número de raízes, e maior teor de amido em comparação ao plantio na posição horizontal. A produtividade de raízes e amido não foi significativamente influenciada pelas posições de plantio.

Em solo arenoso na região de Paranavaí – PR, Takahashi (2003) verificou que a produção fresca das raízes foi significativamente superior no plantio efetuado diretamente sobre o pasto dessecado em relação ao plantio sobre a aveia dessecada, que foi plantada diretamente sobre o pasto dessecado, mas sem diferenças estatísticas em relação ao plantio convencional (grade aradora e niveladora). A menor produtividade de raízes após o plantio da aveia dessecada demonstrou a possível existência de efeitos alelopáticos que devem ser mais estudados, caso sejam utilizadas estas duas culturas em esquema de rotação.

Em solo muito arenoso na Tailândia, Jongruaysup et al. (2003) avaliaram a produtividade da mandioca cultivada sob sistema plantio direto e preparo convencional do solo (não especificaram o tipo de preparo), associados às doses de 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A produtividade de raízes de mandioca em sistema plantio direto foi significativamente superior no primeiro ano, enquanto no segundo ano, os resultados obtidos não diferiram significativamente. Em relação às doses de

nitrogênio, estas não se diferenciaram estatisticamente, mas ocorreu tendência das produtividades serem maiores nas doses mais elevadas.

Otsubo et al. (2005) estudaram o efeito de dois sistemas de preparo do solo sobre a produtividade de mandioca em Glória de Dourados – MS, em Argissolo Vermelho Amarelo. Em junho implantaram a cultura de aveia preta após o preparo convencional do solo (grade aradora e niveladora). Em novembro, após a morte natural da aveia, plantaram a mandioca em duas condições de preparo do solo: sistema plantio direto e preparo convencional (aração e duas gradagens). Obtiveram produção de raízes estatisticamente semelhante nos sistemas de preparo e, em relação a matéria seca de raízes, o sistema de plantio direto foi estatisticamente superior. Em outro experimento, também no município de Glória de Dourados, no período de 2002 a 2004, Otsubo et al. (2008) subdividiram a área em quatro talhões, dos quais três foram preparados com arado de discos seguido de duas gradagens e receberam os tratamentos compostos pela semeadura de mucuna-cinza (*Stizolobium cinereum* Piper & Tracy), sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] e milho [*Pennisetum americanum* (L.) K. Schum.] em outubro de 2002. O quarto talhão foi mantido sob pousio (sem cultura) e apenas foi preparado com aração e duas gradagens (preparo convencional) antes do plantio da mandioca, em maio de 2003. Os resultados encontrados pelos autores indicaram superioridade dos manejos com coberturas verdes, mais evidente para o milho de forma geral, em comparação ao preparo convencional.

Na Estação Experimental da Associação Técnica das Indústrias de Mandioca do Oeste do Paraná – ATIMOP (cedida pelo Governo do Estado do Paraná e atualmente repassada ao IAPAR), localizada no distrito de Porto Mendes, município de Marechal Cândido do Rondon – PR, Fey et al. (2007) estudaram o efeito de 6 manejos do solo sobre a produtividade de mandioca no período de 2005 a 2007. Os manejos estudados consistiram do preparo do solo (P) com grade aradora e uma gradagem leve (P grade aradora); P com arado de discos e duas gradagens leves (P arado discos); P com subsolador e uma gradagem leve (P subsolador); P com subsolador em abril de 2005, sem gradagem leve, seguido da semeadura de aveia preta (P_SPD aveia); plantio direto de aveia preta em abril de 2005 (SPD aveia) e; plantio direto de aveia preta (*Avena strigosa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) consorciados em abril de 2005 (SPD aveia + nabo). A área foi conduzida durante 5 anos em sistema plantio direto, sendo a soja, a cultura anterior ao início do

experimento. O plantio da mandioca foi realizado em setembro de 2005, uma avaliação do desenvolvimento da cultura em dezembro de 2005, colheita de 1 ciclo em julho de 2006 e de 2 ciclos em junho de 2007 e os resultados indicaram que os diferentes manejos apenas afetaram a altura de plantas aos 3 meses após o plantio e o número de raízes na avaliação de 1 ciclo. Em ambas as variáveis, os menores valores foram observados nos dois tratamentos sob sistema plantio direto (SPD aveia e SPD aveia + nabo) e no sistema em que o preparo foi realizado em abril seguido da semeadura de aveia preta (P_SPD aveia).

Durante quatro anos agrícolas (1999/2000, 2000/2001, 2001/2002 e 2002/2003), também em Araruna – PR, Pequeno et al. (2007) avaliaram o efeito de diferentes preparos em solo de textura franco argilo-arenosa. Inicialmente implantaram as culturas de inverno em abril, com a semeadura direta de aveia preta (*Avena strigosa*) associada ao nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*), nos dois primeiros anos agrícolas e, do milheto (*Pennisetum americanum*) nos anos seguintes. Na floração plena da aveia/nabo ou do milheto realizaram a dessecação e os preparos do solo caracterizados como: preparo convencional com arado de aivecas e grade niveladora (P arado aivecas); preparo mínimo com subsolador equipado com rolo nivelador e destorroador (P subs. destorroador) e sistema plantio direto. Apenas em um dos quatro anos, o sistema plantio direto apresentou produtividade semelhante ao preparo convencional e nos outros anos, o preparo convencional foi significativamente superior ao sistema plantio direto. Na média dos quatro anos, a produtividade do preparo convencional foi superior à obtida no preparo mínimo e sistema plantio direto. Os autores apontaram as condições físicas do solo (densidade e macroporosidade) como possíveis causas da menor produtividade, pois estas foram mais limitantes ao desenvolvimento radicular em sistema plantio direto. Mesmo tendo-se produtividade significativamente inferior do preparo mínimo (20,48 t ha⁻¹) em relação ao preparo convencional (24,69 t ha⁻¹) na média dos 4 anos de avaliação, os autores sugerem este como uma opção para reduzir perdas por erosão.

Estes trabalhos permitem constatar que na maioria (OHIRI; EZUMAH, 1990; CADAVID et al., 1998; MATE, 2002; TAKAHASHI, 2003; JONGRUAYSUP et al., 2003; OTSUBO et al., 2005; FEY et al., 2007 e; OTSUBO et al., 2008) se obtiveram resultados de produtividade da mandioca equivalentes e até superiores em sistema plantio direto quando comparado ao sistema de preparo convencional. Já os

trabalhos de Oliveira et al. (2001) e Pequeno et al. (2007), realizados sob as mesmas condições durante 4 anos de experimentação, demonstraram resultados equivalentes de produtividade em apenas um ano e, na média de todos os anos, o preparo mínimo e o sistema plantio direto foram estatisticamente inferiores. Embora estes trabalhos se refiram a apenas uma localidade, os mesmos demonstram que em determinadas condições pode ocorrer menor produtividade quando a mandioca é cultivada em sistema plantio direto e em preparo mínimo. Os autores atribuíram estes resultados a maior densidade e menor macroporosidade encontrada nesses sistemas.

Entretanto, deve-se levar em consideração que, além da falta de poros com tamanho suficiente para a penetração das raízes ou que possam ser expandidos pelas mesmas, causadas por camadas compactadas pelo preparo (“pé de grade/arado”) ou naturalmente, restrições ao crescimento radicular também podem ser causadas por fatores químicos (presença de concentrações tóxicas de alumínio ou manganês), alta salinidade ou severas deficiências de nutrientes, especialmente de fósforo (SHAKSON; BARBER, 2003). Ainda, a falta temporária de oxigênio em função do alto teor de água no solo também pode restringir o crescimento radicular.

A partir das recomendações em relação ao manejo do solo para o cultivo de mandioca, segundo as quais este não deve possuir camadas subsuperficiais compactadas que possam impedir a boa drenagem do solo além de serem soltos, porosos e friáveis para possibilitarem o fácil crescimento das raízes e, as práticas de preparo que contemplem a conservação do solo através da manutenção da palha na superfície, pode-se inferir que o rompimento de maiores áreas de solo na linha de plantio em sistema plantio direto possam amenizar o efeito das propriedades físicas do solo que, normalmente, são mais restritivas neste sistema.

2.1.3 Limitações das plantadoras de mandioca

Considerando-se as plantadoras de mandioca disponíveis comercialmente, para implantar a cultura da mandioca em sistema plantio direto, verifica-se que estas apresentam limitações tecnológicas para a obtenção de maiores revolvimentos de solo no sulco de plantio, sendo a principal alternativa de ajuste o aumento da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras (Figura 3B), quando as mesmas são

equipadas com tais mecanismos.

O problema associado a esta prática é que as hastes possuem uma profundidade crítica de trabalho, abaixo da qual, segundo Spoor e Godwin (1978), ocorre um significativo aumento da demanda de força de tração e redução do rompimento do solo. Isto ocorre em função do solo ser movido apenas para frente e para os lados, causando compactação em profundidade.

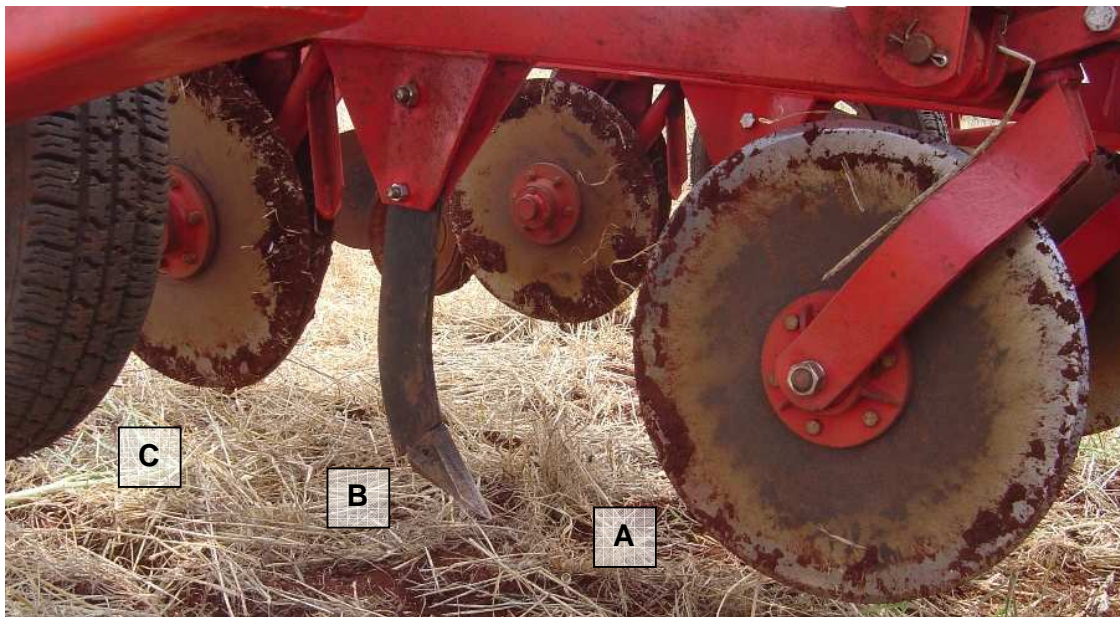


Figura 3 – Sequência de mecanismos de uma plantadora de mandioca disponível comercialmente, em configuração para implantar a cultura em sistema plantio direto. A – disco de corte; B – haste sulcadora (facão) e; C – disco duplo de deposição das manivas no solo.

Em profundidades menores que a crítica (Figura 4_A), o solo é movimentado para frente, para os lados e para cima (ruptura crescente), rompendo-se ao longo de planos de ruptura bem definidos, originando-se do centro da ponteira em direção a superfície em ângulos de aproximadamente 45° com a horizontal (SPOOR; GODWIN, 1978). De acordo com os ensaios dos autores, quando as hastes trabalham em profundidades acima da crítica, o padrão de ruptura do solo próximo a superfície é mais dependente do ângulo de ataque e da espessura da haste do que das características da ponteira.

Observações em todos os experimentos de campo feitos por Spoor e Godwin (1978) demonstram que a profundidade crítica das hastes, com largura de ponteira de 65 mm, varia de 300 a 400 mm, equivalendo a uma relação entre a

profundidade/largura da ponteira de 5 a 7. Conforme os autores, a profundidade crítica diminui quando o solo se encontra mais plástico (mais úmido) ou quando a superfície é excepcionalmente seca e cimentada (coesa), e, em profundidade, o solo é mais úmido. Quanto mais úmido e mais plástico é o solo, menor é a profundidade crítica. De modo geral, quanto mais larga é a ponteira, menor é o ângulo de ataque da mesma para uma determinada altura “levante” do solo e, quanto mais “solto” é o solo na superfície, maior é a profundidade crítica. Godwin (2007) ainda destaca que solos secos e mais densos tendem a produzir ruptura crescente em profundidades maiores para um determinado formato de haste, do que em solos soltos e úmidos.

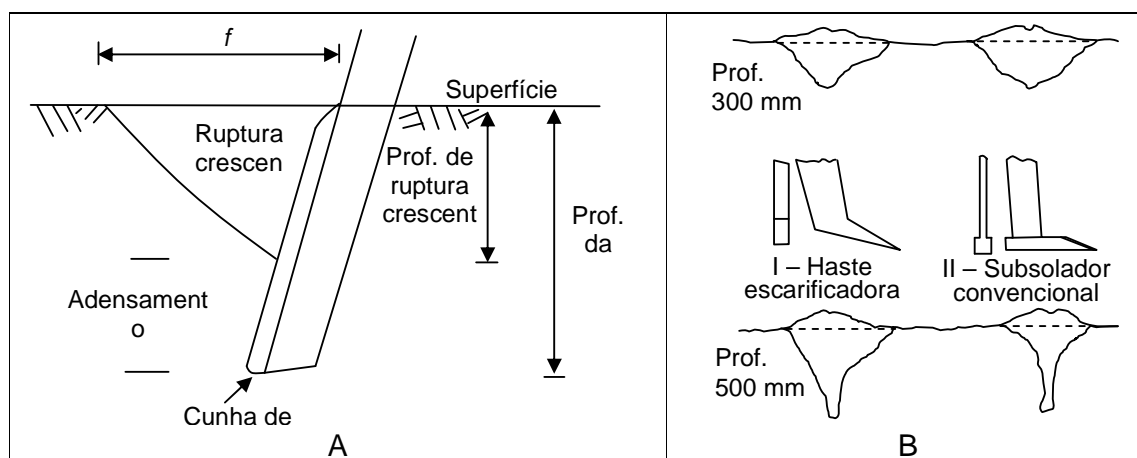


Figura 4 – Padrão de ruptura do solo em diferentes profundidades de trabalho da haste (A) e, formato do sulco originado por duas hastas (B) atuando em profundidade menor que a crítica (300 mm) e acima desta (500 mm).

Fonte: A – Adaptado de Godwin e Spoor (1977) e; B – Adaptado de Spoor e Godwin (1978).

Neste contexto, em que a limitação tecnológica das plantadoras para romper uma maior quantidade de solo no sulco de plantio em sistema de plantio direto é evidente, ações que busquem uma solução para o problema levantado se fazem necessárias. No caso em questão, as soluções para romper uma maior quantidade de solo no sulco podem contemplar a inclusão de novos mecanismos ou melhoria da eficiência daqueles existentes, principalmente. Como esta melhoria precisa considerar uma série de aspectos, que envolvem fatores relacionados ao desempenho operacional, adaptabilidade as máquinas existentes, facilidade de uso, mínimos impactos ao ambiente, custos, entre outros, um adequado processo de desenvolvimento da solução é fundamental.

2.2 Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas

O processo de desenvolvimento de produtos, de acordo com Romano (2003), consiste na realização de uma série de atividades, que vão desde a detecção da oportunidade de negócio, até o lançamento do produto no mercado, as quais envolvem a empresa como um todo e cujo resultado produz efeitos diretos sobre a competitividade da mesma no mercado. O resultado mais expressivo apontado pelo autor para o aumento da competitividade é a redução do ciclo de desenvolvimento do produto, que permite o lançamento antecipado do mesmo no mercado e o prolongamento da sua vida comercial. Entretanto, além deste aspecto, Pahl et al. (2005) sugerem que os produtos novos devem atender, prioritariamente, as necessidades do mercado e/ou a finalidade, características relativas à segurança e a ergonomia, serem produzidos a custos competitivos, serem utilizáveis com baixos custos operacionais, serem facilmente descartados e recicláveis, bem como causarem reduzidos impactos ambientais durante a fabricação e uso do produto.

Para diminuir o tempo necessário para o lançamento de novos produtos, as empresas têm realizado mudanças organizacionais e de processo, baseadas, principalmente, na engenharia simultânea e em times multifuncionais (ZANCUL; MARX; METZKER, 2006). Segundo os autores, essa abordagem resulta em alterações importantes na organização do trabalho, que passa a ser executado em times envolvendo pessoas de várias áreas funcionais, atuando em conjunto do início ao fim dos projetos.

No entanto, à medida que os projetos tornam-se muito detalhados, com muitas atividades, recursos e grupos de pessoas envolvidos, a oportunidade que algo dê errado cresce bastante (ROMANO, 2003). Assim, o autor sugere a necessidade do planejamento e monitoramento das atividades e, portanto, do gerenciamento de projetos.

O gerenciamento de projetos consiste na aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto com o objetivo de obter um conjunto de especificações sobre produtos, resultados ou serviços (PMI, 2004). Ainda de acordo com o Instituto, o gerenciamento de projetos é efetuado por processos, as quais compõem o ciclo de vida do projeto, utilizando conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas de gerenciamento de projetos, compostas por entradas e saídas. Segundo Romano (2003), a subdivisão dos projetos de

desenvolvimento de produtos em várias fases objetiva facilitar o gerenciamento e estabelecer vínculos com as operações das organizações.

Cada fase é caracterizada pela conclusão de um ou mais resultados ou saídas esperadas que são tangíveis e verificáveis como, por exemplo, especificações de projeto, viabilidade, entre outras, as quais são aprovadas antes das atividades da fase seguintes serem iniciadas juntamente com a análise do desempenho do projeto até a data em questão, de maneira a determinar se o projeto deve continuar e, também, detectar e corrigir desvios de custos (ROMANO, 2003).

De maneira geral, os resultados de uma fase devem ser aprovados para o início da fase seguinte, mas quando os riscos são aceitáveis, as atividades da próxima fase podem ser iniciadas antes do término da fase anterior. Esta prática é conhecida por engenharia simultânea ou concomitante a qual de acordo com Winner et al. (1988 apud ZANCUL; MARX; METZKER, 2006), objetiva fazer com que os envolvidos considerem, desde o início do desenvolvimento, todos os elementos do ciclo de vida do produto, do conceito ao descarte, incluindo a qualidade, o custo, os prazos e os requisitos dos clientes. Dentre as vantagens da realização paralela das atividades, pode-se destacar, conforme Pahl et al. (2005), o menor tempo de desenvolvimento, produção mais rápida, redução dos custos de desenvolvimento do produto e melhoria da qualidade.

Segundo o PMI (2004), para um projeto ter sucesso, a equipe de desenvolvimento do mesmo deve: selecionar métodos adequados para alcançar os objetivos do projeto em cada grupo de projeto; utilizar metodologias definidas para converter as necessidades do projeto e produto em especificações do produto; contemplar nas especificações as exigências e expectativas dos fornecedores e; equilibrar as demandas relacionadas ao escopo, tempo, custo, qualidade, recursos e risco para a produção de um produto de qualidade. O instituto também ressalta que o conhecimento, habilidades e processos recomendados não são uniformes para todos os projetos, devendo a escolha destes bem como grau de aprofundamento ser definido pelo gerente de projeto com a colaboração da equipe de projeto para a execução de cada projeto.

Para aumentar a probabilidade de sucesso dos projetos, estes devem ser formalizados, através da descrição das suas fases, atividades, responsáveis, recursos disponíveis e informações necessárias e/ou geradas (ROMANO, 2003). Esta formalização também é denominada por metodologia de projeto de acordo com

Pahl et al. (2005), que descreve esta como um procedimento planejado com indicações concretas de condutas a serem observadas no desenvolvimento e no projeto de sistemas técnicos.

Em se tratando do produto máquina agrícola, qualquer observação que se faça sobre este sistema técnico revela a sua grande complexidade, principalmente pela interação usuário-máquina-ambiente, que exige, por um lado, precauções absolutamente indispensáveis para a segurança do homem e do ambiente durante o ciclo de vida da máquina, e por outro, desempenho funcional satisfatório na realização da operação agrícola (ROMANO, 2003). No entanto, mesmo apresentando essas características, de acordo com o estudo sobre o processo de desenvolvimento praticado nas indústrias de máquinas, o autor verificou que: o processo de desenvolvimento é realizado de maneira informal nas empresas de médio e pequeno porte e, formal nas de grande porte; os projetos são essencialmente derivativos e adaptativos inclusive nas empresas de grande, onde os projetos inovadores são realizados no exterior de acordo com plataformas mundiais de produtos; processos de planejamento do produto, que envolve o estudo e a definição da demanda de mercado, da tecnologia e do produto e, o processo de planejamento do projeto, que se refere a definição dos objetivos do projeto, das tarefas, dos recursos, da duração, dos custos, etc. são realizados nas empresas de grande porte, parcialmente executados nas empresas de médio porte e inexistentes nas de pequeno porte.

Os problemas destacados anteriormente, que demonstram deficiências, principalmente, nas fases que envolvem o processo de projeto do produto, pela não aplicação de conhecimentos como engenharia simultânea e metodologias de projeto, causando dificuldades desde a tradução das necessidades e/ou desejos de mercado em requisitos de projeto do produto, passando por questões de geração de concepções até falhas das máquinas em operação, motivaram Romano (2003) à elaboração de um Modelo de referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (MR – PDMA). Neste, o autor procurou explicitar o conhecimento sobre o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas, de modo a auxiliar no entendimento e na formalização da prática do mesmo, além de permitir uma visão holística, destacando as atividades, informações, recursos e organização, assim como, suas inter-relações (Figura 5).

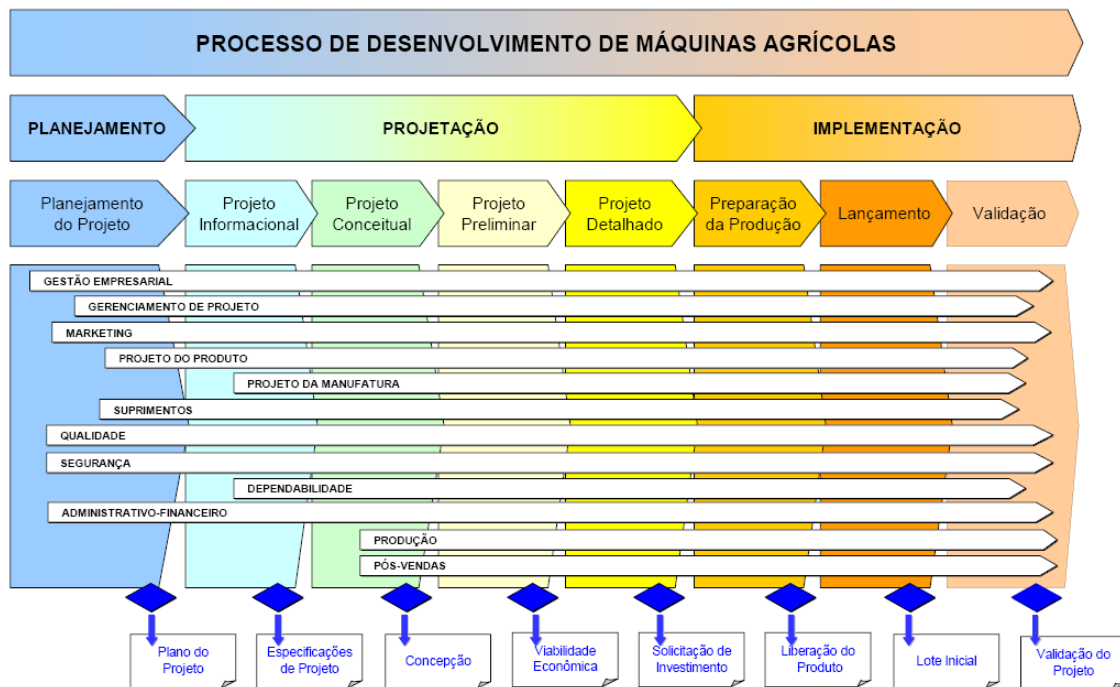


Figura 5 – Processo, macrofases, fases, domínios de conhecimento e saídas do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas (MR – PDMA).

Fonte: Romano (2003).

A primeira macrofase, de planejamento do produto, destina-se ao planejamento de um novo projeto face as estratégias de negócio da empresa e à organização do trabalho a ser desenvolvido ao longo do processo de desenvolvimento da máquina agrícola (ROMANO, 2003). De modo geral, esta etapa é fundamental para o lançamento de novos produtos, pois a definição incorreta do novo produto bem como deficiências na condução do projeto, que normalmente tem origem na falta de planejamento considerando todos os fatores pertinentes, resultam em perda de tempo e dinheiro, podendo chegar ao ponto de comprometer a viabilidade da empresa, no caso de projetos grandiosos.

A duração da macrofase de projeção no MR – PDMA varia de acordo com o tipo de produto a ser desenvolvido e com a quantidade de recursos disponíveis para a sua realização. No caso de produtos originais ou inovadores, que é a situação mais complexa, tem-se a realização de um maior número de atividades, o que consome, portanto, maior tempo para a projeção se comparado aos produtos aperfeiçoados ou adaptados (Figura 6). Entretanto, de acordo com Pahl et al. (2005) os projetos destes últimos não devem ser equiparados a àqueles que não exigem

muito do projetista. Esta observação se fundamenta na gama de fatores que devem ser considerados para o lançamento de um produto com qualidade e competitividade no mercado, a qual é ainda mais complexa quando trata-se do processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas, mesmo que as mudanças sejam pequenas.

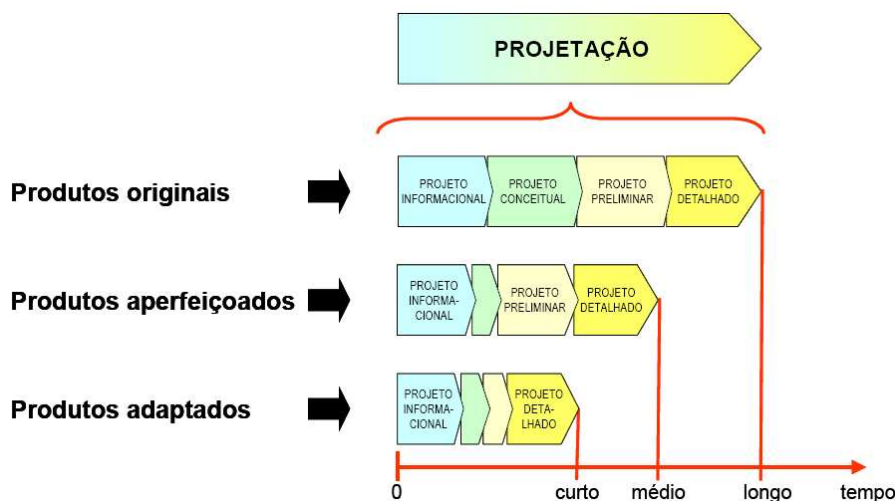


Figura 6 – Duração da macrofase de projeção de acordo com o tipo de produto.

Fonte: Romano (2003).

Em termos de definição, conforme Pahl et al. (2005), os projetos podem originar produtos inovadores ou originais, produtos adaptados ou produtos alternativos. O projeto inovador se caracteriza pelo atendimento de novas tarefas ou problemas por novos princípios de solução ou a combinação de princípios de solução familiares e pode ser considerado uma invenção quando trata-se de uma descoberta e, inovação, quando são concretizadas novas funções ou novas características de um produto (recombinação de soluções familiares). Ainda, de acordo com os autores, no projeto adaptativo, o princípio de solução é preservado e somente a configuração é adaptada às novas condições periféricas, enquanto os projetos alternativos se caracterizam pela variação do tamanho, dentro de certos limites, e/ou arranjo dos componentes ou subconjuntos.

As definições apresentadas por Romano (2003) constam de pequenas diferenças em relação às de Pahl et al. (2005), principalmente quanto a denominação. Para o autor os produtos podem ser classificados em: produtos originais e inovadores – são aqueles cuja solução funcional e formal não está contida no atual estado da técnica, ou seja, não existe produto similar industrializado

ou comercializado; produtos aperfeiçoados – são os produtos cuja solução funcional e formal está contida no atual estado da técnica, ou seja, existe produto similar industrializado e comercializado, sobre o qual são incorporadas melhorias ou são derivados novos modelos de produtos; produtos adaptados – são os produtos cuja solução funcional e formal está contida no atual estado da técnica, ou seja, existe produto similar industrializado e comercializado, sobre o qual são realizadas adaptações para atendimento a objetivos específicos ou são derivados novos modelos de produtos.

Exemplos de projetos de máquinas seguindo uma metodologia de projeto semelhante ao modelo de referência elaborado por Romano (2003) são o desenvolvimento de um mecanismo para semeadura de precisão de sementes miúdas de precisão (REIS, 2003) e um mecanismo de dosagem de fertilizantes para a agricultura de precisão (MENEGATTI, 2004). Em ambos, utilizou-se uma metodologia de projeto baseada em várias fases, as quais eram subdivididas em etapas e tarefas a serem desenvolvidas, juntamente com as ferramentas utilizadas. As fases utilizadas pelos autores para encontrar a solução para os problemas em questão foram: projeto informacional, que engloba uma série de tarefas para definir as especificações de projeto, ou seja, as características que o produto deve atender para atender as necessidades dos clientes; projeto conceitual, que é a busca de princípios de solução para o problema em questão; o projeto preliminar que culmina com o leiaute definitivo (desenho e estrutura) do produto e; projeto detalhado que é a documentação do produto, ou seja, a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias, entre outras descrições.

Em função dos trabalhos de Reis (2003) e Menegatti (2004) serem desenvolvidos em ambiente acadêmico, compondo tese de doutorado e dissertação de mestrado dos autores, respectivamente, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, os mesmos culminaram com a apresentação de protótipos com potencial de serem oferecidos ao mercado dentro dos padrões de qualidade e custos requeridos.

7 CONCLUSÕES

A adoção do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas e os testes e ensaios realizados durante o desenvolvimento, possibilitaram a aperfeiçoamento de um mecanismo sulcador para o sistema plantio direto de mandioca com vistas ao atendimento dos requisitos de projeto e clientes.

A produtividade obtida com a cultura da mandioca em preparo convencional e sistema plantio direto foi semelhante, evidenciando que esta técnica pode ser utilizada para o cultivo sem comprometer a produtividade e ainda melhorar a sustentabilidade do sistema de produção, pela maior probabilidade de conservação do solo.

O aumento da área de rompimento de solo no sulco de plantio em sistema plantio não afetou a produtividade, mas permitiu a deposição das manivas em profundidades mais adequadas além de, nas observações, facilitar o arranquio manual. Entretanto, tal observação precisa ser confirmada com a realização de experimentos sistemáticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **Projeto de norma 12:02.06 – 004 – Semeadora de precisão – ensaio de laboratório**. São Paulo, 1996. 21 p.

AHMED, M. H.; GODWIN, R. J. The influence of wing position of subsoiler penetration and soil disturbance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 28, n. 5, p. 489 – 492, Sept. 1983.

ALVARENGA, R. C; CRUZ, J. C NOVOTNY, E. H. **Manejo de solos**: plantas de cobertura de solo. 13 nov. 2003. Disponível em: http://www.paginarural.com.br/artigos_detalhes.asp?. Acesso em 10/12/2006.

ALVAREZ, V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Comparação de médias ou teste de hipóteses? Contrastes! **Boletim da Sociedade Brasileira de Solos**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 24-33, jan./abr. 2006.

ALVES, A. A. C. Fisiologia da Mandioca. In: SOUZA, L. D. et al. (ed.). **Aspectos socioeconômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. Cap. 7, p. 138-169.

ASAE – American Society of Agricultural Engineers. Terminology and definitions for Soil tillage and soil-tool relationships. **ASAE Standards**, Saint Joseph, v. 52, p. 130-134, Feb 2005. (ASAE EP291.3)

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 1992. 247 p.

BOWER, W. **Matching equipment to big tractors for efficient field operations**. Saint Joseph: ASAE, 1978. 8 p. (n. 0149-9890/78/1031)

BROWN, R. **Plan B 2.0 Rescuing a Planet Under Stress and a Civilization in Trouble**. NY: W.W. Norton & Co., 2006. 365 p. Disponível em: http://www.earth-policy.org/images/uploads/book_files/pb2ch02.pdf. Acessado em: 25/09/2009

CADAVID, L. F., et al. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 57, n. 1, p. 45-56, May 1998.

CALEGARI, A., et al. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 147-158, abr./jun. 2006.

CAMACHO, J. H. MAGALHÃES, P. S. G. Estudo de configurações de discos duplos e hastes para práticas de adubação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002. Salvador. **Anais...** Salvador: 2002. 1 CDROM.

CARVALHO, J. E. B.; PERESSIN, V. A.; ARAÚJO, A. M. A. Manejo e controle de plantas daninhas. In: SOUZA, L. D. et al. (ed.). **Aspectos socioeconômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa mandioca e fruticultura tropical, 2006. p. 560-590.

CASÃO JUNIOR, R., et al. **Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnun 2850 PD no basalto paranaense**. Londrina: IAPAR, 1998. 47 p. (Circular, 105)

CASÃO JUNIOR, R., et al. **Desempenho das semeadoras-adubadoras MPS 1600 e MPS 1000 Imasa em solos argilosos**. Londrina: IAPAR, 2000. 44 p. (Circular, 111)

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. **Resultados das avaliações do desempenho de semeadoras adubadoras de plantio direto na Costa Oeste Paranaense**. Londrina: IAPAR, 2003. 132 p.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto. In: CASÃO JUNIOR et al. (ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. cap. 7, p. 85-126.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; TAKAHASHI, M. Balança hidrostática como forma de avaliação do teor de massa seca e amido. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. cap. 3, p. 30-46. v. 3.

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CONTI, C. **Produtividade de três variedades de mandioca (*Manihot Sculenta Crantz*) em função de sulcadores e formas de corte da maniva, em sistema plantio direto.** 2008. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008.

CUNHA, C. **Produtividade de milho em sistema plantio direto em função de dois sulcadores de fertilizante da semeadora-adubadora.** 2003. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2003.

DALLAQUA, M. A. M.; CORAL, D. J. Morfo-anatomia. In: CEREDA, M.P. (Org.) **Agricultura: Tuberosas Amiláceas Latino Americanas.** São Paulo: Fundação Cargill, 2002. v. 2, cap. 3, p. 48-65. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Conceituação sistêmica de agricultura conservacionista. **O Agrônomo**, Campinas, v. 56, n. 2, p. 54, 2004. (Boletim Técnico-Informativo do Instituto Agrônomo, Série Técnica Apta).

DERPSCH, R.; BENITES, J. R. Agricultura conservacionista no Mundo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 56, n. 2, p. 7-12, 2004. (Boletim Técnico-Informativo do Instituto Agrônomo, Série Técnica Apta).

DIECKOW, J., et al. **Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo de carbono.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 17 p. (Documentos, 12).

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos, 1997. 212 p.

FAO. **Manual on integrated soil management and conservation practices.** Rome: 2000. 228 p. (FAO Land and Water Bulletin, 8). Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8e.pdf>. Acessado em: 20/07/2008.

FAO. **Production – ProdSTAT – Crops.** Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acessado em 09/04/2009.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000. São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FEY, E. **Desempenho de sulcadores utilizados em semeadora para plantio direto sob a palha, num solo argiloso com diferentes teores de água.** 2000. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2000.

FEY, E., et al. Influência do manejo do solo sobre a produtividade da mandioca de um e dois ciclos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 12., 2007. **Anais...** Paranavaí: 2007. 1 CDROM.

FIELKE, J. M.; RILEY, T. W. The universal earthmoving equation applied to chisel plough wings. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 28, n. 1, p. 11-19, 1991.

FINGER, J. R., et al. Influência de diferentes áreas de solo revolvidas no sulco sobre a produtividade da mandioca em sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 13., 2009. **Anais...** Botucatu: 2009. 1 CDROM.

FUKUDA, W. M. G. Variedades. In: MATTOS, P. L. P.; GOMES, J. C. (Org.). **O cultivo da mandioca.** Cruz das almas, BA: Embrapa mandioca e fruticultura, 2000. p. 7-10. (Circular técnica, 37).

GABRIEL FILHO, A., et al. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 993-957, nov./dez. 2000.

GAMERO, C. A; LANÇAS, K. P. Ensaio e certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L. G. (ed). **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação.** Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB-FEALQ, 1996. p. 463-514

GODWIN, R. J.; SPOOR, G. Soil Failure with narrow tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 22, n. 3, p. 213-228, Sept. 1977.

GODWIN, R. J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 331-340, Dec. 2007.

GONÇALVES, J. L. M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais.** Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 1, p.1-45.

GURGACZ, F. **Semeadura da soja em sistemas de rotação de culturas e integração agricultura-pecuária em um Latossolo sob sistema plantio direto.** 2007. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

HERZOG, R. L.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Engenharia Agrícola.**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.771-780, set./dez. 2004.

HOWELER, R. H.; EZUMAH, H. C.; MIDMORE, D. J. Tillage systems for root and tuber crops in the tropics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 27, n. 1-4, p. 211-240, Oct. 1993.

IBGE. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p.1-80, fev. 2009.

JONGRUAYSUP, S.; TRELO-GES, V.; CHUENRUNG, C. Minimum tillage for cassava production in Khon Kaen Province, Thailand. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, Thailand, v. 25, n. 2, p. 191-197, Mar./Apr. 2003.

KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A. Elementos rompedores em semeadoras para plantio direto. **Revista plantio direto**, Passo Fundo, n. 53, p. 7-8, nov./dez. 1998.

LAHAI, M. T.; GEORGE, J. B.; EKANAYAKE, I. J. Cassava (*Manihot Sculenta* Crantz) growth indices, root yield and its components in upland and inland valley ecologies of Sierra Leone. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Oxford, v. 182, n. 4, p. 239–247, Jun. 1999.

LAL, R. **Tillage systems in the tropics** – management options and sustainability implications. Rome: FAO, 1995. 206 p. (FAO, Soils Bulletin nº. 71). Disponível em: <http://www.fao.org/ag/ags/AGSe/7mo/furt1e.htm>. Acessado em: 15/07/2008.

LAL, R.; REICOSKY, D. C.; HANSON, J. D. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 1-12, March 2007.

LANÇAS, K. P. **Subsolador**: desempenho em função de formas geométricas de hastes, tipos de ponteiras e número de hastes. 1988. 187 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.

LOMBARDI NETO, F., et al. Efeito da quantidade de resíduos culturais do milho nas perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 71-75, jan./fev. 1988.

LORENZI, J. O. **Mandioca**. Campinas: CATI, 2003. 116 p. (Boletim Técnico, 245)

MACHADO, A. L. T. **Influência do formato da borda de corte no desempenho das ponteiros de escarificadores**. 1992. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Máquinas Agrícolas) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

MATE, J. **Plantio de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em diferentes posições no sulco em solo com preparo convencional e plantio direto**. 2002. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2002.

MENEGATTI, F.A. **Desenvolvimento de um sistema de dosagem de fertilizantes para agricultura de precisão**. 2004. 296 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba, SP: FEALQ, 1996. 722 p.

MIRANDA, I. J. **Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em cultivo mínimo sobre diferentes espécies de plantas de cobertura**. 1998. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1998.

MONDARDO, A.; BISCAIA, R. M. **Controle de erosão**. In: **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. p. 33-42. (Circular IAPAR, 23).

MONTALDO, A. **La yuca**. San José - Costa Rica: IICA, 1979. 385 p. (Libros y material Educativos, 38).

MORRISON JR., J. E. Strip tillage for no-till row crop production. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 18, n. 3, p. 277-284, May 2002.

MUZILLI, O. **Manejo do solo em sistema plantio direto**. In: CASÃO JUNIOR et al. (ed.). Sistema plantio direto com qualidade. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2006. p. 9-27.

OLIVEIRA, J. O. A. P., et al.. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p.443-450, mar./abr. 2001.

OHIRI, A. C.; EZUMAH, H. C. Tillage effects on cassava (*Manihot esculenta*) production and some soil properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 17, n. 3-4, p. 221-229, Sept. 1990.

OTSUBO, A. A.; MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F. Características fitotécnicas de mandioca cultivada em plantio direto sobre palhada de aveia, em um solo arenoso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11., 2005. Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: 2005. 1 CDROM

OTSUBO, A. A., et al. Sistemas de preparo do solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 327-332, mar. 2008

PAHL, G., et al. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** Tradução de WERNER, H. A.; NASCIMENTO, N. São Paulo: E. Blücher, 2005. 412 p.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the köppen-geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PEQUENO, M. G. O et al.. Efeito do sistema de preparo do solo sobre características agronômicas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 476-481, set./out. 2007

PMI - Project Management Institute. **A guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBOK® Guide.** 3ª ed. Pennsylvania: Project Management Institute, 2004. 403 p.

PORTELLA, J. A. **Estudo preliminar de forças atuantes em elementos rompedores de semeadeiras diretas comerciais.** 1983. 81 f. Tese (Mestrado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1983.

RAPER, R. L.; BERGTOLD, J. S. In-row subsoiling: a review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 23, n. 4, p. 463–471, July 2007.

REIS, A. V. Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas. 2003. 208 f. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

RIGHES, A. A., et al. **Inovação tecnológica de mecanismos para semeadura direta**. Santa Maria: FATEC, 1984. 111 p. (Relatório técnico final do projeto).

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003. 266 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SASAKI, C. M.; BENTIVENHA, S. R. P.; GONÇALVES, J. L. M. Configurações básicas de subsoladores florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 12, p. 393-407.

SEAB – Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2008/09**. Curitiba: SEAB, 2008. 318 p. Disponível em: http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/Prognostico_agropec_0809.pdf. Acessado em 07/04/2009.

SHAKSON, F.; BARBER, R. **Optimizing soil moisture for plant production - the significance of soil porosity**. Rome: FAO, 2003. 107 p. (FAO Soils Bulletin nº. 79). Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/sb79.pdf>. Acessado em: 18/07/2008.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. Cultura da batata-doce. In: CEREDA, M. P. (Coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. v. 2, cap. 22, p. 448-504. (Série Culturas Tuberosas Amiláceas Latino Americanas)

SIMMONS, F. W. Soil management and tillage systems. In: **Illinois Agronomy Handbook**, 23ª ed. Urbana: Illinois State Coop. Ext., University of Illinois Printing Services, 2002. p. 142-153. Disponível em: http://iah.aces.uiuc.edu/pdf/Agronomy_HB/13chapter.pdf. Acessado em: 20/07/2008.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JUNIOR, R. **Trabalhador no cultivos de grãos e oleaginosas: máquinas para manejo de coberturas e semeadura no sistema plantio direto**. Curitiba: SENAR-PR, 2004. 88 p.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S. Clima e solo. In: MATTOS, P. L. P.; GOMES, J. C. (Org.). **O cultivo da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa mandioca e fruticultura, 2000. p. 7-10. (Circular técnica, 37).

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S.; GOMES, J. C. Exigências edáficas da cultura da mandioca. In: SOUZA, L. D. et al. (ed.). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006. Cap. 8, p. 170-214.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S. Manejo e conservação do solo. In: SOUZA, L. D. et al. (ed.). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006. Cap. 10, p. 248-290.

SOUZA, W. R.. **Subsolador**: influência de parâmetros geométricos das forças. 1989. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

SOWERS, G. F. Consistency. In: BLACK, C. A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. pt. 1, p. 391-399.

SPOOR, G.; GODWIN, R. J. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. **Journal of Agricultural Engineering Research**., London, v. 23, n. 3, p. 243-258, Sept. 1978.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 229-235. 1991.

STORCK, L.; LOPES, S. J. **Experimentação II**. Santa Maria: UFSM/CCR/ Departamento de Fitotecnia, 1997. 197 p.

TAKAHASHI, M.; GONÇALO, S. **A cultura da mandioca**. Paranavaí, PR: 2001. 88p.

TAKAHASHI, M. Cultivo comercial na região centro sul do Brasil. In: CEREDA, M. P. (Coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. v. 2, p. 258-273. (Série Culturas Tuberosas Amiláceas Latino Americanas)

TAKAHASHI, M. Sistema de cultivo mínimo da mandioca em sucessão a pastagem no Noroeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003. **Anais...** Ribeirão Preto: 2003. 1 CDROM.

TORMENA, C. A., et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, out./dez. 2002.

TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n.1, p. 65-71, jan./abr. 2004.

TRIPLETT JR., G. B.; DICK, W. A. No-Tillage crop production: a revolution in agriculture! **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3 (Supplement), p.153-165, May/June 2008.

VINE, P. N.; AHMAD, N. Yield development in cassava under different soil physical conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 175-198, nov.1987.

WEISE, G.; EICHORN, H. The application of Mohr-Coulomb soil mechanics to the design of winged shares. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 67, n. 3, p. 5, July 1997.

WILES, J. C.; YAMAOKA, R. S. Mecanização. In: IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná. **Plantio direto no estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. p. 59-94, (Circular IAPAR, 23).

ZANCUL, E. S.; MARX, R.; METSKER, A. Organização do trabalho no processo de desenvolvimento de produtos: a aplicação da engenharia simultânea em duas montadoras de veículos. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 13, n. 1, p. 15-29, 2006.

APÊNDICE 1 - CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

Para avaliar a resistência do solo à penetração utilizou-se um penetrômetro de impacto e a fórmula dos Holandeses, sugerida por STOLF (1991) como a que melhor representa a resistência do solo. Tem-se a seguir a fórmula dos holandeses (Equação 1).

$$F = (M + m)g + \frac{M}{M + m} \cdot Mgh / x \quad (2)$$

onde:

F: força de resistência do solo (kgf);

M: massa que provoca o impacto (kg);

m: massa dos demais componentes do penetrômetro excluída a de impacto (kg);

g: aceleração da gravidade;

h: altura de queda da massa que provoca o impacto (cm);

x: penetração unitária ocasionada por um impacto (cm/impacto).

Para obter-se a resistência por unidade de área (*R*), a força de resistência do solo deve ser dividida pela área da base (*A*) do cone de penetração (Equação 2).

$$R(\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}) = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Considerando-se o penetrômetro de impacto construído, com as seguintes características: *M* = 2,890 kg; *m* = 1,236 kg; *h* = 48,8 cm; *A* = 1,056 cm², obteve-se a Equação 6.

Substituindo-se na Equação 1, tem-se:

$$F = 4,126 + 98,784 / x \quad (4)$$

Substituindo-se o valor encontrado na Equação 5, tem-se:

$$R(\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}) = \frac{4,126 + 98,784/x}{1,056}$$

$$R(\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}) = 3,907 + 93,545/x$$

Considerando que, na prática, é mais comum a utilização da medida de resistência em impactos por decímetro (N), ou seja, impactos/10 cm (1 impacto = 3,5 cm, para 10 cm serão necessários $10/3,5 = 2,857$ impactos), x será igual a $10/N$, logo, aplicado esse índice à equação anterior, teremos a Equação 3, que estima a resistência do solo em $\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$, pelo número de impactos/decímetro (N). Os dados de resistência do solo à penetração foram transformados para a unidade do Sistema Internacional (Pa), onde $1 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$ é igual $0,0981 \text{ MPa}$.

$$R(\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}) = 3,907 + 9,355 \cdot N$$

(5)