

BC

FD-1395

ANTONIO MAURO SARAIVA

**UM EQUIPAMENTO PARA A MONITORAÇÃO DE  
SEMEADORAS DE SEMENTES GRAÚDAS**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia.

São Paulo  
1992

**ANTONIO MAURO SARAIVA**

Engenheiro Eletricista, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1980.  
Engenheiro Agrônomo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",  
Universidade de São Paulo, 1986.

**UM EQUIPAMENTO PARA A MONITORAÇÃO DE  
SEMEADORAS DE SEMENTES GRAÚDAS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Sistemas Digitais

Orientador:  
Prof.Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola

São Paulo  
1992

**Dedico este trabalho**

**A Antonio e Thereza,  
o começo do meu aprendizado,**

**À Eliana,  
"todo amor que houver nesta vida".**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola, modelo de dedicação e de capacidade de trabalho, que desde o primeiro momento me incentivou a buscar mais; por sua orientação e apoio, não só na realização deste trabalho, mas na efetiva organização de um grupo de pesquisa em automação agrícola.

Ao Dr. Carlos Eduardo Cugnasca, que compartilhou dos esforços e idéias deste trabalho, e de tantos outros; antes de tudo um grande amigo.

Ao prof. Dr Luiz Antonio Balastreire, pela orientação nos aspectos ligados à parte agrícola.

Ao professores, Dr. Antonio Hélio Guerra Vieira e Dr. José Sidnei Colombo Martini, pelo incentivo e sugestões tão esclarecedoras.

Ao Eng. Sérgio Miranda Paz, pela grande dedicação e contribuição no desenvolvimento do "software" e revisão do texto.

Aos engenheiros José Maria e Evandro, pela contribuição na implementação dos protótipos.

Ao Eng. André Riyuiti Hirakawa, pela colaboração, incentivo e companheirismo.

À Sra. Mariza Ushijima Leone, pelos desenhos e figuras.

Aos demais professores, pesquisadores e funcionários da EPUSP, da FDTE e da ESALQ-USP, que de várias formas contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Fero, pelas fotos.

À Eliana, pelo apoio em todas as horas, pela digitação e por todo o resto.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Resumo	
Abstract	
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação	1
1.2 Organização	5
<b>2 A SEMEADURA MECANIZADA</b>	<b>7</b>
2.1. Introdução	7
2.2. Alguns conceitos sobre a semeadura	9
2.2.1 As sementes no processo produtivo agrícola	9
2.2.2 Objetivos da semeadura	10
2.2.3 A semeadura em linha	11
2.2.4 Parâmetros relativos às sementes	11
2.3 A semeadora-adubadora em linha para sementes graúdas	14
2.3.1 Constituição da máquina	15
2.3.1.1 Chassis	15
2.3.1.2 Dosadores de sementes	15
2.3.1.3 Dosadores de adubos	17
2.3.1.4 Sulcadores	17
2.3.1.5 Cobridores de sementes	17
2.3.1.6 Compactação e controle de profundidade	17
2.3.1.7 Sistema de acionamento	17
2.3.1.8 Rodado	18
2.3.1.9 Depósitos de sementes e de adubos	18
2.3.2 Regulagens	18
2.4 Comentários finais	19

<b>3 FATORES QUE AFETAM A DISTRIBUIÇÃO DAS SEMENTES</b> .....	20
3.1 Introdução .....	20
3.2 Variação da porcentagem de enchimento .....	20
3.2.1 Velocidade tangencial do dosador .....	21
3.2.2 Tempo de exposição das células .....	21
3.2.3 Relação entre as dimensões da célula e da semente .....	21
3.2.4 Nível das sementes nos depósitos .....	22
3.2.5 Utilização de sementes tratadas quimicamente .....	23
3.2.6 Velocidade de deslocamento da semeadora .....	23
3.3 Variações na trajetória das sementes .....	24
3.3.1 Tamanho e formato do tubo condutor .....	24
3.3.2 Impacto contra o solo .....	25
3.4 Comentários Finais .....	26
<b>4 A AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA E A SEMEADURA</b> .....	27
4.1 Introdução .....	27
4.2 A semeadura auxiliada por equipamentos eletrônicos .....	29
4.2.1 Monitores de semeadoras .....	29
4.2.1.1 Características funcionais básicas .....	30
4.2.1.2 Sensores de fluxo de sementes .....	32
4.2.1.3 Sensores de velocidade .....	33
4.2.1.4 Arquitetura .....	37
4.2.1.5 Auto-teste .....	38
4.2.2 Outros sistemas de auxílio à semeadura .....	38
4.3 Comentários Finais .....	39
<b>5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO ELETRÔNICO PARA APLICAÇÕES AGRÍCOLAS</b> .....	40
5.1 O ambiente agrícola .....	40
5.1.1 Condições atmosféricas e químicas .....	40
5.1.2 Condições mecânicas .....	42
5.1.3 Condições elétricas .....	43
5.1.3.1 Características estacionárias da tensão .....	43

5.1.3.2 Características transitórias da tensão .....	44
5.1.4 Testes ambientais .....	46
5.2 A interface homem-máquina .....	46
5.3 Confiabilidade .....	49
5.4 Sensores .....	50
5.5 Custos .....	50
5.6 Comentários Finais .....	51
<b>6 O PROJETO DE UM MONITOR DE SEMEADORA.....</b>	<b>53</b>
6.1 Introdução .....	53
6.2 Requisitos do monitor de semeadora .....	57
6.3 Descrição funcional .....	58
6.3.1 Principais características .....	59
6.3.2 Recursos de interface com o operador .....	60
6.4 Descrição do hardware .....	61
6.4.1 Arquitetura .....	61
6.4.2 Descrição dos módulos .....	61
6.4.2.1 Microcontrolador .....	61
6.4.2.2 Display de cristal líquido .....	64
6.4.2.3 LEDs e buzina .....	64
6.4.2.4 Teclado .....	65
6.4.2.5 Sensor de velocidade .....	65
6.4.2.6 Sensor de fluxo de sementes .....	65
6.4.2.7 Sensor de operação/transporte da semeadora .....	67
6.5 Descrição do software .....	67
6.5.1 Introdução .....	67
6.5.2 A operação .....	71
6.5.3 Implementação .....	75
6.6 Testes .....	76
6.7 Comentários finais .....	79

<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>80</b>
7.1 Avaliação dos resultados .....	80
7.2 Pontos a considerar na continuidade dos trabalhos .....	81
7.3 Perspectivas futuras .....	82
7.4 Comentários finais .....	82
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>

**Apêndice - Exemplos de telas de operação**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Produção de grãos e frota de tratores .....	8
Figura 2.2 - Esquema das operações realizadas por uma semeadora .....	12
Figura 2.3 - Representação esquemática de uma semeadora acoplada ao trator .....	16
Figura 4.1 - Medição de velocidade com sensor indutivo de proximidade .....	34
Figura 4.2 - Medição de velocidade com sensor Doppler .....	36
Figura 6.1 - Representação da metodologia de desenvolvimento de sistemas .....	55
Figura 6.2 - Caráter duplo do modelo da solução .....	56
Figura 6.3 .a - Diagrama de blocos simplificado do Monitor .....	62
Figura 6.3.b - Arquitetura do Monitor de Semeadora .....	63
Figura 6.4 - Teclado .....	66
Figura 6.5 - Sensor de fluxo de sementes - geometria .....	68
Figura 6.6 - Fotografias do sensor de fluxo de sementes .....	69
Figura 6.7 - Diagrama de blocos do sensor de fluxo de sementes .....	70
Figura 6.8 - Diagrama do software do Monitor de Semeadora .....	72
Figura 6.9.a - Exemplos de telas do programa monitor .....	77
Figura 6.9.b - Exemplos de telas do programa monitor .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Posição do Brasil no "ranking" mundial de produção e exportação de produtos de origem agropecuária.....	2
Tabela 2.1 - Evolução do índice de mecanização.....	9
Tabela 2.2 - Recomendação de população para diferentes híbridos de milho .....	13
Tabela 2.3 - Recomendação de espaçamento entre linhas e número de sementes por metro para híbridos de milho .....	14

## RESUMO

A semeadura é uma etapa importante no processo produtivo agrícola e, entre os seus parâmetros, a uniformidade da distribuição das sementes no solo tem influência considerável na produtividade. Entretanto, as semeadoras atuais, mesmo as ditas de precisão, apresentam falhas na dosagem e distribuição que não podem ser facilmente detectadas durante a operação.

Com o objetivo de dispor de uma ferramenta para o auxílio à produção agrícola e à pesquisa com as máquinas, foram realizados estudos visando a concepção e a implementação de um protótipo de um equipamento para a monitoração de semeadoras.

O equipamento proposto inclui um módulo microcontrolado e um sensor óptico de fluxo de sementes. Na implementação foi dada importância ao projeto da interface com o operador, à modularidade e flexibilidade do equipamento, entre outros aspectos. Foram realizados testes em laboratório com o sensor, que mostrou-se viável, e com o equipamento, procurando avaliá-lo do ponto de vista funcional. As soluções adotadas apresentaram resultados satisfatórios, que deverão ser comprovados com a realização de testes em campo, após a implementação de uma versão mais robusta.

## ABSTRACT

Sowing is a very important operation in the agricultural process, and among its parameters the uniformity of seed distribution in the soil has a considerable influence on productivity. Nevertheless modern planters, even the precision planters, present failures on metering and distributing which cannot be easily noticed by the operator.

The objective of this work was the development of a tool for agricultural production and for research on agricultural machines. The work consisted on studying, conceiving, and implementing a prototype of a planter monitor.

The proposed equipment includes a microcontroller-based module and an optical sensor for detecting the flow of seeds. Special attention was devoted to building a flexible and modular equipment with an adequate man-machine interface. The sensor was tested under laboratory conditions and showed a good potencial for further developments. The monitor was tested to evaluate its functional features. The solutions adopted were satisfactory, and shall be field-tested after building a sturdier version.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação

A agricultura sempre desempenhou um papel importante na vida econômica, política e social do Brasil. Mesmo hoje, a despeito do crescimento da produção industrial ocorrido nas últimas décadas, a participação do Complexo Agroindustrial - CAI\*, refletida nos diversos indicadores da atividade econômica, é significativa.

ARAÚJO et al.[04], num importante trabalho de caracterização do CAI, apresentam vários desses indicadores da magnitude e da importância do setor. No comércio exterior o setor respondeu por 38% da receita total em 1989, ou seja, US\$ 13 bilhões, apesar da diversificação da pauta de exportações e da queda dos preços das "commodities" nesse período, que resultaram num duplo movimento de redução do peso do CAI nas exportações na década de 80. A avaliação dos resultados finais entre exportação e importação, por sua vez, atesta uma elevada contribuição do CAI para o saldo da balança comercial brasileira em 1989: 65%. No Produto Interno Bruto, a participação do CAI estimada para 1988, representou a terça parte, o que representou algo como US\$ 120 bilhões. Na geração de empregos, em que pese a dificuldade de tabulação dos dados do censo econômico, uma totalização grosseira permite chegar a uma massa superior a 18 milhões de pessoas envolvidas nos negócios do CAI em 1980, o que correspondia a mais de 40% da população economicamente ativa.

O país ocupa importantes posições no "ranking" mundial de produção e exportação de mercadorias elaboradas pelo CAI, conforme atesta a tabela 1.1. Esses dados, entretanto, não revelam a real situação do setor agrícola brasileiro, cujo desempenho pode ser considerado modesto diante das possibilidades de comércio e das vantagens comparativas do país frente aos principais concorrentes do mundo desenvolvido.

Para essa situação, que compromete tanto a participação do país no mercado mundial quanto o abastecimento interno, ambos extremamente importantes para a estabilidade e o desenvolvimento do Brasil, contribuem fatores de diversas ordens.

---

\* O conceito de Complexo Agroindustrial ou "agribusiness", conforme o neologismo da língua inglesa segundo GOLDBERG; DAVIS apud ARAÚJO et al [04], é "a soma total das operações de produção e distribuição de suprimentos agrícolas; as operações de produção nas unidades agrícolas; e o armazenamento, processamento e distribuição dos produtos agrícolas e dos itens produzidos por eles".

Tabela 1.1 - Posição do Brasil no "ranking" mundial de produção e exportação de produtos de origem agropecuária, 1988. Brazil in Figures, Banco de Boston, apud ARAÚJO et al.[04]

ORDEM	CLASSIFICAÇÃO NA PRODUÇÃO	CLASSIFICAÇÃO NA EXPORTAÇÃO
1º	Café Laranja/suco de laranja Sisal Mandioca Banana	Café Suco de laranja Óleo e farelo de soja Pimenta
2º	Soja(grão, óleo e farelo) Cacau Castanha de cajú Pimenta	Soja em grão Tabaco Cacau
3º	Carne bovina Carne de frango Milho Mamona Couro	Carne de Frango Óleo de amendoim
4º	Fumo Carne suína	Açúcar
5º	Juta	Carne bovina
6º	Algodão Ovos Mel Cigarros	Algodão
7º	Têxteis Óleo de amendoim	
8º	Arroz	
9º	Leite Amendoim Papel	Papel

Políticas protecionistas restringem a entrada de produtos brasileiros em mercados da Europa, Japão e EUA. Ao mesmo tempo, a excessiva carga tributária brasileira incidente sobre as vendas de produtos no mercado restringe o consumo interno e a competitividade externa pelo alto custo final. Efeito semelhante têm os altos custos dos transportes no país; seja na distribuição interna, seja no embarque nos portos para a exportação.

O aspecto técnico da produção é também um obstáculo às aspirações do país. A produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas brasileiros são, em geral, inferiores às dos países mais desenvolvidos. Essas características, aliadas às elevadas perdas ao longo de todo o processo produtivo, que podem chegar a 60% em alguns casos na fruticultura\*\*, elevam os custos, comprometem a produção e a competitividade [71].

A adoção de sistemas eletrônicos para a monitoração e o controle de equipamentos agrícolas tem sido fundamental para o estabelecimento de novos e melhores padrões para a agricultura mundial, e deverá desempenhar, num futuro próximo, papel semelhante no Brasil.

É prudente considerar que o país enfrenta uma grave disparidade de técnicas de produção, e que parte desse contingente de produtores carece da utilização de noções básicas da técnica agrônômica. Não obstante isso, outra parcela significativa dos produtores demanda refinamentos nos procedimentos operacionais que só são viáveis com o apoio de sistemas eletrônicos de monitoração e controle.

Dentre as inúmeras atividades e operações na agricultura, a semeadura é merecedora de especial atenção dentro do processo produtivo principalmente dos grãos, os quais são a base da alimentação humana. Embora o custo das sementes seja, em geral, pequeno, a correta realização da operação de semeadura tem papel decisivo no resultado final da produção. A uniformidade de distribuição das sementes no solo é fator de grande importância nesse processo, uma vez que determinará a intensidade da concorrência das plantas pelos fatores de crescimento como nutrientes, água e luz.

---

\*\* GAYET, J.P., Instituto Brasileiro das Frutas, palestra apresentada na JORNADA DE AUTOMAÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E INFORMÁTICA NA AGRICULTURA - 5º CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, São Paulo, 1992.



Uma boa produção de grãos está relacionada com a precisão do espaçamento entre sementes e com a distância entre sulcos [55]. Entretanto, mesmo as modernas semeadoras existentes no mercado estão sujeitas a grandes variações na uniformidade de distribuição das sementes no solo. Essas flutuações, que são causadas tanto pelo mecanismo dosador quanto pelo mecanismo distribuidor das sementes, prejudicam o rendimento da cultura, e podem reduzir a capacidade operacional das colhedoras em função da oscilação na alimentação. Todos esses fatores comprometem a produtividade da cultura.

Esse fato levou à proposição deste trabalho, que compreende o desenvolvimento de um protótipo de um equipamento para a monitoração da operação de semeadoras de sementes graúdas, que possa servir de ferramenta para a obtenção de dados sobre o próprio processo de semeadura. Embora a constituição mecânica atual das semeadoras não permita a inclusão de um controle automático, e considerando que não se pretende discutir aqui alternativas para os aspectos mecânicos das máquinas, a possibilidade de se monitorar a operação tem se revelado de grande utilidade nos países onde esse tipo de equipamento já está disponível, tanto para o produtor quanto para a pesquisa e desenvolvimento de novas máquinas.

É importante ressaltar que o desenvolvimento de trabalhos como este, a despeito da existência de sistemas semelhantes em outros países, é de grande importância uma vez que em aplicações agrícolas as diferenças de condições de operação - solo, clima, planta, operador - entre os vários países, requer a adaptação da tecnologia disponível ou mesmo o desenvolvimento de novas tecnologias para cada situação. Essa mesma motivação levou à criação de importantes centros de pesquisa, como o Institute of Agricultural Engineering - The Volcani Center, em Israel<sup>\*\*\*</sup>. Dentro desse espírito, e com o objetivo de contribuir para a mais rápida evolução da automação agrícola no Brasil, é que foi proposta a criação do Laboratório de Automação Agrícola, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, dentro do qual se desenvolveu esta pesquisa.

Os objetivos delineados para este trabalho são o estudo do processo, a concepção, o projeto e a implementação de um protótipo do equipamento, incluindo sensores de fluxo de sementes, e a realização de testes em laboratório.

---

<sup>\*\*\*</sup> EDAN, Y. (INSTITUTE OF AGRICULTURAL ENGINEERING e WEIZMANN INSTITUTE, ISRAEL), Comunicação Pessoal, São Paulo, 1992.

Pelo seu caráter multidisciplinar e a conseqüente necessidade de informações detalhadas e atuais nas áreas envolvidas - sistemas digitais e agronomia - o trabalho foi desenvolvido em estreito contato com instituições e empresas ligadas à área agrícola, entre as quais merece destaque a colaboração com a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, através do seu Laboratório de Instrumentação, Depto. de Engenharia Rural. Por outro lado, a sua realização dentro do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica, impôs uma elaboração mais detalhada do texto referente ao processo agrícola, para melhor situar o leitor pouco afeito à área.

## 1.2 Organização

Neste primeiro capítulo procurou-se abordar aspectos gerais do trabalho, como a motivação para o tema, os objetivos propostos, o enfoque dado ao desenvolvimento e a organização do texto.

No capítulo segundo é apresentada a semeadura mecanizada tradicional, caracterizando a operação, seus parâmetros relevantes, e apresenta-se a constituição das semeadoras-adubadoras em linha para sementes graúdas.

No capítulo terceiro é feita uma análise das causas da desuniformidade da distribuição longitudinal das sementes nas semeadoras-adubadoras em linha para sementes graúdas.

No quarto capítulo apresenta-se uma revisão dos equipamentos eletrônicos de apoio à semeadura e faz-se uma análise de algumas de suas características principais.

No capítulo quinto são apresentadas as características críticas para o projeto eletrônico voltado para aplicações agrícolas, como o ambiente, a interface com o operador e os sensores.

No sexto capítulo é apresentado o projeto do Monitor de Semeadora desenvolvido, abordando sua descrição funcional, suas características de "hardware" e "software", e os testes realizados.

No capítulo sétimo são tecidas considerações finais sobre o trabalho, analisando os resultados, as possibilidades do equipamento, das soluções adotadas, e as propostas de continuidade, algumas das quais já em andamento.

A seguir são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas na elaboração deste trabalho.

Como apêndice ao texto principal incluem-se as telas de operação do Monitor.

## **CAPÍTULO 2**

### **A SEMEADURA MECANIZADA**

## 2 A SEMEADURA MECANIZADA

A mecanização da semeadura é parte importante do processo de produção de muitos dos principais produtos agrícolas. Neste capítulo apresentam-se as características mais relevantes da operação e das máquinas voltadas para a semeadura de sementes graúdas.

### 2.1 Introdução

O aparecimento da agricultura, uma das bases para o desenvolvimento das primeiras civilizações, está intimamente ligado à operação de semear.

Embora desde a Idade Antiga haja registros do uso de máquinas primitivas por alguns povos como os persas e os hindus [07], sua adoção na agricultura ocidental só foi ocorrer muito mais tarde, na Europa do século XVII. Foi em 1785, porém, que James Cook projetou uma semeadora cujos princípio e constituição básica chegaram até nossos dias. Atualmente, as semeadoras evoluídas desses modelos originais fazem uso dos mais diversos conceitos e técnicas para realizar a semeadura de um amplo leque de culturas. A grande parte da produção mundial de grãos, base da alimentação humana direta e indiretamente, encontra-se hoje altamente mecanizada, incluindo-se aí a mecanização da semeadura.

No Brasil, a indústria de máquinas e implementos agrícolas instalou-se a partir de 1959, na esteira do processo de industrialização do país, e seguindo o exemplo do setor automobilístico.

O desaquecimento das vendas iniciado na metade dos anos 70, agravado pela crise econômica, continuou ao longo da década de 80, com exceção do período 84-86 [03][04][68]. Desde o início de sua implantação, todavia, a mecanização da agricultura evoluiu significativamente, elevando consigo a produção das culturas beneficiadas, como evidenciam a tabela 2.1 e a figura 2.1.

A indústria de máquinas instalada no Brasil nesse processo diferencia-se bastante conforme o produto. As indústrias de tratores e de colhedoras são representadas por um reduzido número de empresas de grande porte, em geral com a participação de capital estrangeiro.

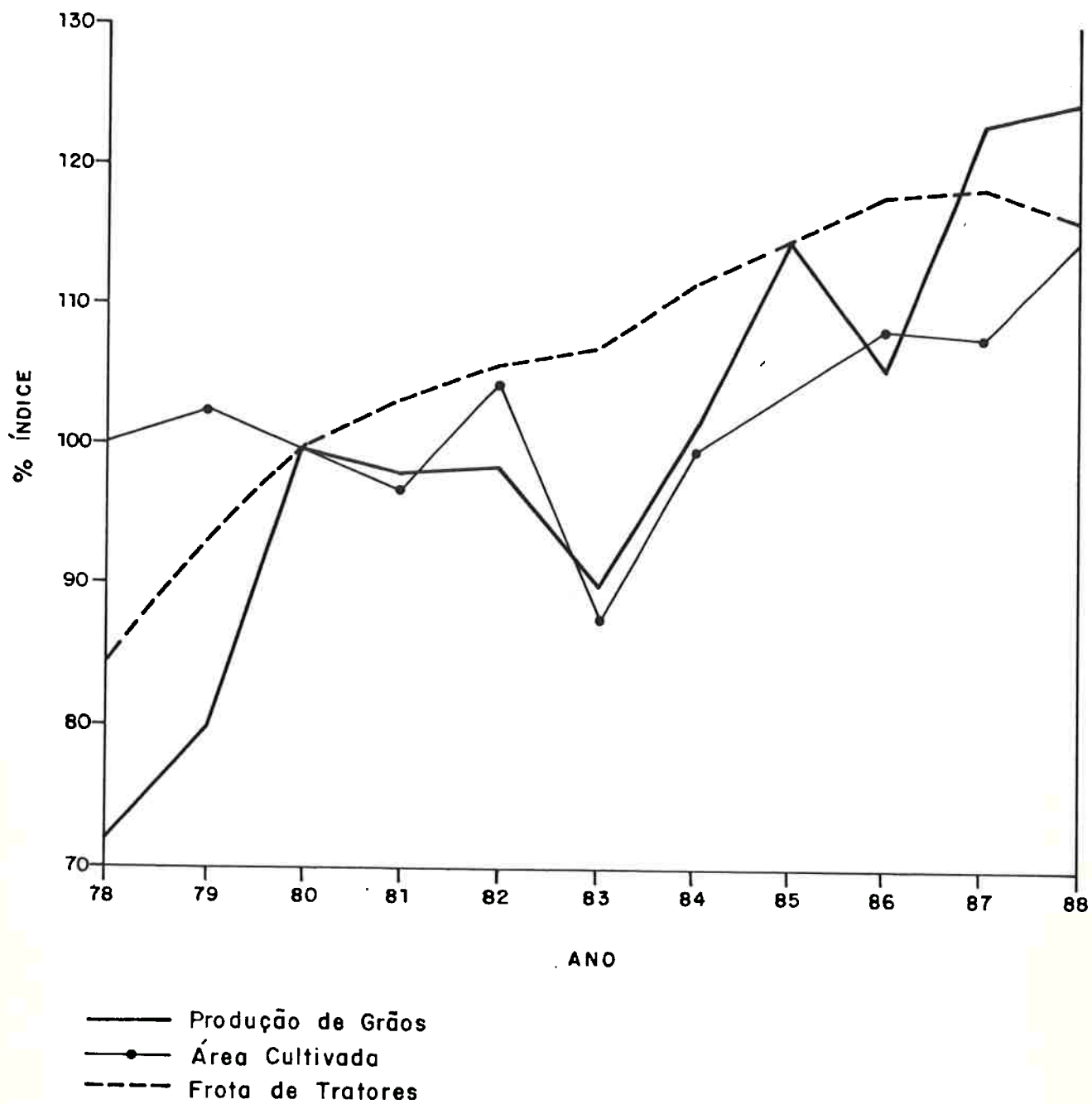


FIGURA 2.1 - PRODUÇÃO DE GRÃOS E FROTA DE TRATORES (BASE 1980 = 100)  
FONTE : ANFAVEA [03]

Tabela 2.1 - Evolução do índice de mecanização (ha/trator)  
 Fonte: ANFAVEA [03]

	1961/65	1966/70	1971/75	1976/80	1981/84	1985/88
ha/trator	423	388	230	115	91	93
Índice	100	91,7	54,4	27,2	21,5	22,0
Aumento de Mecanização	-	8,3	40,7	50,0	20,9	(-2,3)

As indústrias de outras máquinas e de implementos são representadas por centenas de empresas, predominantemente de pequeno e médio porte, e com grande diversidade tecnológica e empresarial. A maioria utiliza tecnologia nacional, embora essa tecnologia tenha sido originada no exterior há anos, e nem sempre seja adequada às condições da agricultura brasileira. Há sérios problemas de processos de fabricação e de comercialização [68], e poucas possuem departamentos montados de pesquisa e desenvolvimento [04].

Atualmente a indústria de máquinas agrícolas como um todo enfrenta uma das maiores taxas de ociosidade já registradas, e reivindica a implantação de uma política agrícola consistente e de longo prazo, com retomada do crédito agrícola com maior diferenciação para o pequeno e médio produtores, como alternativa para o crescimento do setor e da economia como um todo [03].

## 2.2 Alguns conceitos sobre a semeadura

### 2.2.1 As sementes no processo produtivo agrícola

Embora para a maioria das culturas a semente seja um item de peso relativamente reduzido na estrutura de custos de produção, a semente melhorada é o principal fator de produtividade e é o vetor da eficiência dos chamados insumos modernos. Isso se

deve ao fato de que as técnicas de melhoramento aplicadas buscam o máximo aproveitamento dos demais insumos, principalmente os fertilizantes, que são o segundo fator crítico da produtividade nas lavouras; deve-se também ao fato de que as sementes melhoradas são o fator isolado que, ao mais baixo custo, promove os maiores ganhos de produção por unidade de área.

A mútua dependência que se estabelece entre os insumos é um importante fator da tecnologia de produção moderna. Os diferenciais de produtividade e qualidade que cada um dos insumos pode proporcionar são função da interação com cada um dos demais insumos e práticas empregados na lavoura. Dessa forma, o potencial das sementes melhoradas só poderá se manifestar plenamente se as condições de preparo do solo, de adubação e de distribuição das sementes no solo, entre outros, seguirem de perto os padrões utilizados no melhoramento.

### 2.2.2 Objetivos da semeadura

A semeadura consiste na colocação das sementes no terreno de cultivo, em condições adequadas para o seu desenvolvimento, as quais dependem da interação, entre outros, de fatores como:

- solo: tipo, fertilidade, classe de cultivo, umidade disponível;
- clima: temperatura, umidade, luminosidade;
- biologia da planta: hábito de crescimento e arquitetura foliar, sistema radicular.

Esses fatores irão determinar, após a realização de pesquisas agronômicas, a escolha da forma de semeadura mais adequada com relação a parâmetros como a distribuição espacial das plantas (profundidade, espaçamento e densidade populacional das sementes no solo), a adubação necessária e as demais práticas culturais a serem adotadas, entre outras.

A definição da distribuição espacial das sementes é particularmente importante pois ela condiciona a intensidade da competição pelos nutrientes, luz, e água, entre as plantas, sendo um fator determinante da produtividade [15][55]. Várias formas de distribuição das sementes no solo podem ser adotadas, sempre visando estabelecer



uma densidade superficial de plantas e um espaçamento ótimos, e considerando o seu efeito sobre a facilidade e custo de realização de operações de cultivo como raleamento\*, controle do mato, adubação de cobertura, pulverizações e colheita, que deverão ser realizadas após a semeadura, ao longo do ciclo da cultura.

### 2.2.3 A semeadura em linha

A semeadura mecanizada em linha é tradicionalmente a mais empregada para a produção de cereais. Nela, as plantas são agrupadas em fileiras, deixando uma zona livre de plantas entre cada duas linhas, chamada de entrelinha, que serve tanto para diminuir a competição entre as plantas quanto para permitir a passagem de máquinas em operações futuras. Várias formas de semeadura em linha são possíveis, conforme a distribuição de sementes na linha seja contínua, agrupada ou individualizada.

Nesse tipo de semeadura, a seqüência de operações que a máquina deve realizar está esquematicamente representada na figura 2.2. A abertura do sulco que vai receber a semente é a primeira etapa, e pode ser feita com diversos tipos de ferramentas integradas à semeadora como discos, facões, enxadas. A seguir a semente é retirada do depósito de sementes da semeadora pela ação de mecanismos dosadores, e é conduzida através de tubos até o solo onde é depositada. Posteriormente, o solo, que foi afastado na abertura do sulco, é reconduzido de volta, de modo a recobrir a semente e, finalmente, uma leve compressão é feita sobre o solo para garantir um bom contato entre a semente e o solo, facilitando a germinação [15].

Essa seqüência de operações, aparentemente simples, envolve uma série de parâmetros que concorrem para a qualidade da operação.

### 2.2.4 Parâmetros relativos às sementes

A **quantidade** de sementes a serem distribuídas por unidade de área é um fator importante na semeadura, e é função principalmente da cultura em questão, mas depende da variedade utilizada e da finalidade da produção, como a obtenção de grãos ou a silagem. A tabela 2.2 apresenta um exemplo dessa variabilidade.

---

\* O raleamento consiste na diminuição da população de plantas, feita manualmente ou mecanicamente após a germinação das sementes.

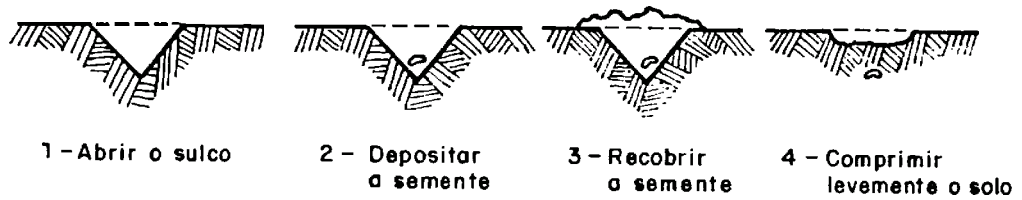


FIGURA 2.2 - ESQUEMA DAS OPERAÇÕES REALIZADAS POR UMA SEMEADORA.  
FONTE : CAÑAVATE [15]

Tabela 2.2 - Recomendação de população para diferentes híbridos de milho  
 Fonte: CARGILL apud BALASTREIRE [07]

Variedade	População recomendada (plantas / ha)
C-111, C-121, C-317	50.000
C-501, C-503, C-511	62.000

Na escolha da quantidade interagem sempre os demais fatores como o ambiente e os tratamentos culturais praticados. Os dados das pesquisas dos produtores de sementes e das instituições fornecem um primeiro ponto de referência para o produtor, a respeito da população ideal que se deve dispor quando as plantas estiverem no estágio de produção, de modo a otimizar a produção em função dos recursos e insumos utilizados.

A partir desse número de plantas almejado para a etapa de produção, geralmente expresso em plantas/hectare, o número de sementes necessário por unidade de área deve considerar as perdas relativas à viabilidade, à pureza e ao índice de sobrevivência das sementes.

Além da quantidade de sementes, expressa em termos de uma densidade populacional ou de uma densidade de sementes por área, também a **uniformidade de distribuição** é um fator de grande importância na semeadura, pois garante a otimização da concorrência das plantas pelos fatores de crescimento.

Esse padrão de distribuição é uma decorrência da recomendação do número de sementes por área, apenas transcrito para outros dois valores: o espaçamento entre linhas (usualmente expresso em centímetros ou metros) e o número de sementes por metro linear. A tabela 2.3 apresenta um desdobramento da recomendação contida na tabela 2.2, para as mesmas variedades de híbridos de milho.

Tabela 2.3 - Recomendação de espaçamento entre linhas e número de sementes por metro para híbridos de milho. Fonte: CARGILL apud BALASTREIRE [07].

Híbridos	C-111, C-121 C-317			C-501, C-503 C-511		
Espaçamento entre linhas (m)	0,90	1,00	1,10	0,80	0,90	1,10
Sementes por metro linear	5,4	6,0	6,6	5,9	8,7	7,4

O resultado de diversas pesquisas apontam no sentido de se procurarem maiores produtividades através da fixação da distância média entre plantas, no lugar de simplesmente incrementar a densidade média de sementes [55].

Outros parâmetros importantes na deposição de semente no solo são a profundidade de sua deposição no solo, a posição relativa entre adubo e semente, a uniformidade das sementes em tamanho e forma, e a utilização de tratamento químico recobrando-as.

### 2.3 A semeadora-adubadora em linha para sementes graúdas

As semeadoras-adubadoras em linha para sementes graúdas\*\* devem depositar os grãos individualmente a distâncias precisas [31]. A distribuição exata é exigida [15], entre outras razões, para:

- diminuir a quantidade de sementes a aplicar.
- maior facilidade das operações de cultivo e colheita mecanizada.
- exatidão da superfície unitária das plantas para uma produtividade ótima.
- diminuição das necessidades de mão-de-obra para o raleamento manual, tornando possível o raleamento mecânico.

\*\* A denominação se aplica às sementes de plantas como o feijão, a soja, o milho, o algodão, o sorgo, entre outras.

### **2.3.1 Constituição da máquina**

A constituição das semeadoras-adubadoras para sementes graúdas é apresentada por BALASTREIRE [07], e compreende os seguintes elementos básicos: um chassis, mecanismos dosadores e depósitos de sementes, mecanismos dosadores e depósitos de adubos, sulcadores, mecanismos cobridores, rodas compactadoras, rodas de controle de profundidade e rodas de sustentação. A figura 2.3 ilustra, simplificada, uma semeadora acoplada a um trator.

#### **2.3.1.1 Chassis**

A função básica do chassis é a de prover os meios para o acoplamento ao trator, e servir de suporte para acomodar as diversas unidades semeadoras, unidades adubadoras, rodas, etc. O chassis diferencia-se em função do tipo de acoplamento da máquina ao trator; os chassis individuais das unidades semeadoras também podem assumir diversas configurações.

#### **2.3.1.2 Dosadores de sementes**

A unidade dosadora é a parte mais importante da semeadora, sendo responsável pela captura individual das sementes, independente do nível de carga no depósito e de variações na geometria das sementes. Nesse processo, deve minimizar as injúrias mecânicas às sementes e evitar a captura de mais de uma semente simultaneamente (captura múltipla) [55]. Os dosadores de sementes têm papel fundamental na garantia de uniformidade da distribuição das sementes no solo; vários mecanismos existem no mercado e outros têm sido experimentados com o intuito de assegurar uma maior precisão na dosagem, uma vez que este é o elemento que maiores flutuações causa na distribuição das sementes. Entre os mecanismos disponíveis, o mais utilizado é o de discos perfurados. O pneumático é o que apresenta os melhores resultados, porém a custos mais elevados.

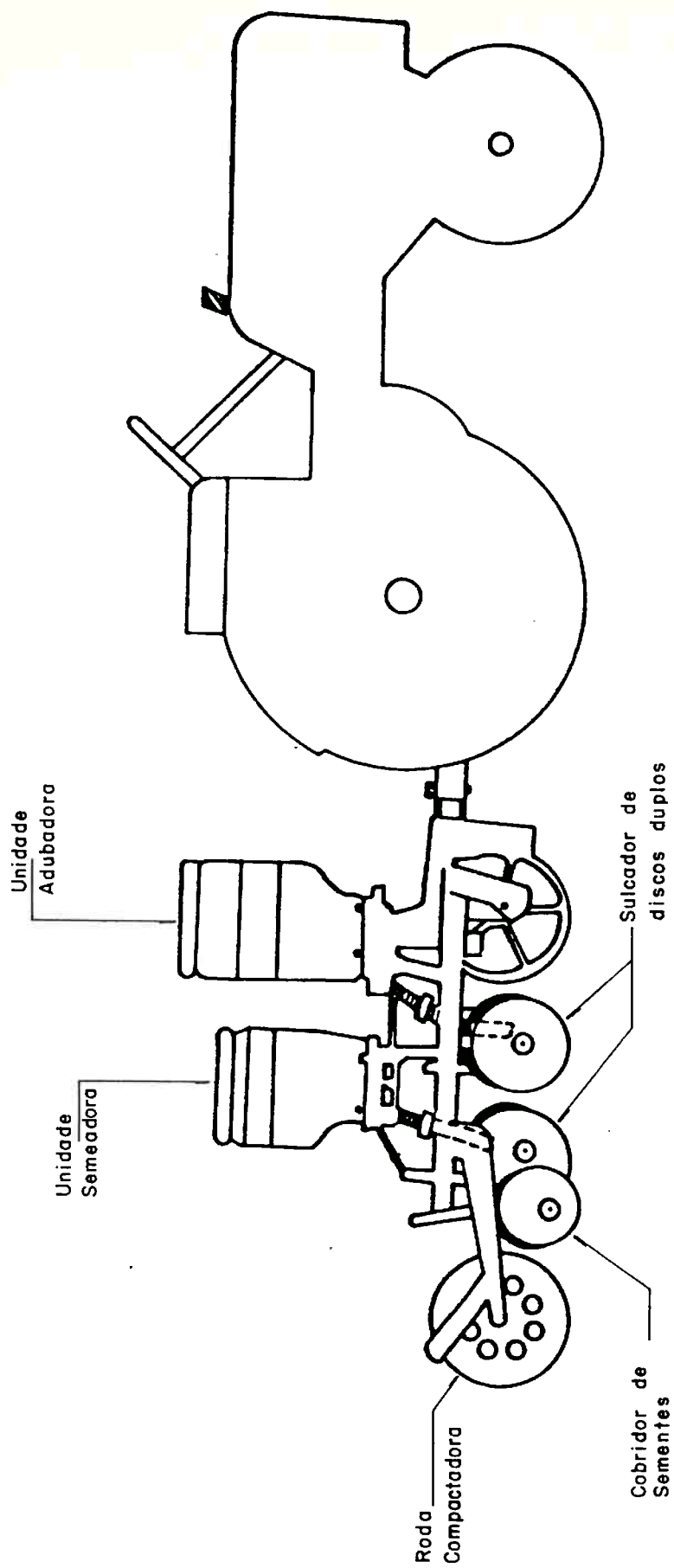


FIGURA 2.3 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA SEMEADORA ACOPLADA AO TRATOR

### **2.3.1.3 Dosadores de adubos**

As semeadoras-adubadoras, como o próprio nome sugere, possuem também um sistema de dosagem e distribuição de adubo. Embora haja uma grande variedade de mecanismos dosadores, predomina, nas semeadoras para grãos graúdos, o dosador de disco horizontal rotativo.

### **2.3.1.4 Sulcadores**

A função dos sulcadores é a de abrir os sulcos no solo para a colocação das sementes e adubos à profundidade e posição relativa adequados. Os tipos de sulcadores geralmente utilizados nas semeadoras são enxadas, facões, e discos duplos ou simples.

### **2.3.1.5 Cobridores de sementes**

Após a abertura do sulco e a deposição dos adubos e sementes, é necessário recobri-los completa e uniformemente com solo, para assegurar condições de umidade e temperatura adequados à germinação.

### **2.3.1.6 Compactação e controle de profundidade**

Nas semeadoras de grãos graúdos em geral, a roda compactadora tem as funções de exercer uma leve compactação do solo sobre as sementes, de controlar a profundidade de colocação de sementes e adubos, e, em muitos casos, de acionar os dosadores de sementes e de adubos.

### **2.3.1.7 Sistema de acionamento**

O acionamento dos mecanismos dosadores nas semeadoras pode se basear em engrenagens, correntes ou eixos, ou ser um misto dessas opções. O sistema adotado irá influenciar no tipo e na facilidade de regulagens da máquina.

### **2.3.1.8 Rodado**

O rodado ou sistema de rodas de transporte da semeadora-adubadora é constituído basicamente de duas ou mais rodas de sustentação.

### **2.3.1.9 Depósitos de sementes e de adubos**

Os depósitos de sementes graúdas, em geral, são individuais, um para cada linha, apoiados sobre os dosadores. O depósito de adubos varia de acordo com o porte da semeadora, podendo ser individual ou comum para cada grupo de linhas.

### **2.3.2 Regulagens**

Várias regulagens devem ser feitas na semeadora-adubadora para assegurar a correta operação da máquina. Essas regulagens envolvem procedimentos de ajuste realizados em condições estáticas, no galpão, e a sua verificação em condições dinâmicas, em campo.

Entre as regulagens necessárias, citam-se:

- o acoplamento ao trator.
- o nivelamento da máquina.
- o espaçamento entre linhas.
- o ajuste de profundidade da deposição de sementes e adubos.
- a taxa de descarga de adubo.
- a taxa de descarga de semente.

Além dessas regulagens, a seleção da velocidade de trabalho do conjunto trator-semeadora também deve ser feita.



## **2.4 Comentários finais**

A operação de semeadura é uma operação complexa uma vez que envolve um grande número de variáveis, e que é realizada num ambiente pouco estruturado e muito cambiante no tempo e no espaço. As máquinas que realizam essa operação são essencialmente mecânicas e dispõem de ajustes e regulagens para tentar compensar a variabilidade das condições de trabalho.

A influência da operação no processo global é grande e a importância do item sementes na produtividade é dos mais significativos.

Entre os parâmetros relevantes na regulagem e operação da máquina a quantidade das sementes e a uniformidade da sua distribuição são fortes condicionantes da qualidade do resultado obtido.

## **CAPÍTULO 3**

### **FATORES QUE AFETAM A DISTRIBUIÇÃO DAS SEMENTES**

### **3 FATORES QUE AFETAM A DISTRIBUIÇÃO DAS SEMENTES**

Vários problemas podem afetar a qualidade da operação de semeadura, os quais resultam da inadequada interação entre a máquina, as sementes e a forma de condução da operação pelo operador. Neste capítulo serão abordadas as causas das falhas na dosagem e distribuição das sementes.

#### **3.1 Introdução**

O processo de semear deve prover uma distribuição uniforme das sementes no campo, atendendo os aspectos quantidade e posição no solo da colocação das sementes, e levando em conta tanto quanto possível as variações existentes no terreno. O resultado da operação é dependente do funcionamento apropriado de todos os componentes da máquina [47].

Falhas em quaisquer das partes da máquina, sejam por problemas de ajuste, sejam por deficiências no seu projeto, sejam ainda por mudança nas condições de trabalho, resultam em queda na qualidade da operação que pode comprometer em diferentes graus a produtividade da lavoura.

Uma série de fatores afetam a semeadura no que tange à uniformidade da distribuição das sementes. Os erros na distribuição longitudinal de sementes na linha de semeadura são oriundos de dois fatores principais: o primeiro resulta da captura múltipla ou nula de sementes pelas células do disco dosador; o segundo, resulta das variações da trajetória das sementes no tubo condutor por ricocheteamento, e no solo, por saltitamento e ou rolamento [16]. Cada um desses fatores, por sua vez, é o resultado de uma série de interações de características da máquina, das sementes, da forma de operação, etc.

#### **3.2 Variação na porcentagem de enchimento**

Um primeiro fator, relacionado às variações na captura das sementes, ou à porcentagem de enchimento do dosador, é afetado por inúmeras variáveis.

### 3.2.1 Velocidade tangencial do dosador

KLENIN et al. [47], equacionando a queda das sementes nas células de um disco dosador, concluem que a velocidade tangencial do centro das células deve decrescer para sementes maiores, para diâmetros da célula menores, e para velocidades menores das sementes na massa de sementes. Segundo os autores, entretanto, à velocidade de deslocamento de 9 km/h para a semeadora, o centro da célula nos discos utilizados para a dosagem de milho atinge a velocidade de 0,73 m/s.

A velocidade periférica do dosador afeta a precisão da dosagem para os vários tipos de dosadores: se excessiva, provoca um grande número de capturas nulas de sementes [05][06][79]; se baixa, provoca a captura múltipla de sementes [11][31]. O preenchimento ideal das células acontece para o valor máximo da componente vertical da velocidade relativa semente-célula [46].

### 3.2.2 Tempo de exposição das células

Um outro aspecto que influi na porcentagem de enchimento do dosador é o tempo disponível para o preenchimento da célula no seu movimento no meio da massa de sementes. Esse tempo de exposição das células está relacionado com a velocidade periférica das células, e com a geometria do sistema de alimentação do dosador. A importância da interação desses dois fatores foi observada, e concluiu-se que velocidades periféricas baixas são mais efetivas que maiores tempos de exposição, na melhoria do preenchimento das células [45].

### 3.2.3 Relação entre as dimensões da célula e da semente

A existência de uma relação ideal entre as dimensões da célula e da semente para otimizar o preenchimento, sem permitir capturas duplas ou nulas, e sem expor a semente a danos mecânicos pela ação do rasador, é sugerida por diversos autores, sem um consenso, todavia, na quantização dessa relação [05][06][45].

Numa análise da performance de um dosador de disco horizontal, testou-se o aumento de tolerância das células em relação ao tamanho das sementes, e o correspondente aumento da velocidade periférica do disco em que se obtinha 100% de enchimento das células. O resultado foi um enchimento completo em velocidades periféricas de até

0,65 m/s, quando permitida uma tolerância de 40% em relação aos grãos utilizados: no caso do experimento, esferas metálicas. Observou-se, todavia, uma maior dependência da dosagem em relação à velocidade do que em relação à tolerância das células [67].

A própria desuniformidade da dimensão das células, devida a falhas nos processos industriais de manufatura dos dosadores, foi apontada como causa para falhas na dosagem [11][16][78]. Na indústria nacional de máquinas e implementos agrícolas o panorama apontado por SANTOS; MIALHE [68] sugere uma situação semelhante.

Também a desuniformidade do tamanho e do formato das sementes afeta a precisão da dosagem. O estabelecimento de uma relação ótima e constante entre o tamanho da célula e o tamanho das sementes pode ser atingido com o uso de sementes classificadas [47], cujo o efeito positivo sobre a uniformidade da distribuição é considerável [05][06][11][45]. Essa prática é ainda mais importante para dosadores mecânicos que para pneumáticos, e contribui também para a diminuição dos danos e sobras de sementes nos depósitos [07][15].

A introdução de variedades híbridas, entretanto, complica a classificação, requerendo um grande número de classes e discos das semeadoras para satisfazer a cada classe. A extensão do problema pode ser compreendida se se considerar que, tomando-se apenas um produtor de sementes, este possui 9 variedades de híbridos, com 10 classes de tamanho (peneiras) para cada híbrido [07].

### 3.2.4 Nível das sementes nos depósitos

Os depósitos de sementes e demais dispositivos que vão alimentar o dosador não servem apenas para armazenar as sementes, mas fazem parte do processo tecnológico que estabelece o fluxo de sementes para os dosadores. Esse fluxo se estabelece conforme leis de fluxo de material granular, as quais devem ser consideradas no projeto do sistema de alimentação. A altura da camada de sementes sobre o dosador altera a dinâmica do preenchimento das células do dosador [47]. Diferentes projetos do mecanismo dosador podem levar a resultados opostos: uma maior incidência de capturas múltiplas por célula para níveis mais baixos de sementes no depósito [16]; maior uniformidade na distribuição para níveis baixos de sementes nos depósitos,

DELAFOSSÉ, citado por GAZZOLA [33]; nenhuma influência desse fator na uniformidade de distribuição [33][56].

### 3.2.5 Utilização de sementes tratadas quimicamente

A utilização de defensivos químicos e inoculantes no tratamento prévio das sementes é um fator apontado para o desgaste dos mecanismos dosadores das semeadoras [09]. Esses produtos, que recobrem a semente após o tratamento, acabam por se desprender parcialmente com a movimentação das sementes. A realização de ensaios com sementes tratadas é dificultada pela ação desuniformizadora desses produtos sobre a dosagem e distribuição\*.

### 3.2.6 Velocidade de deslocamento da semeadora

A velocidade de trabalho da semeadora afeta a qualidade da operação em quase todos os sistemas de semeadura conhecidos; o seu aumento prejudica a ação de diversos mecanismos da semeadora como dosadores, sulcadores, entre outros. Particularmente na dosagem seu efeito é importante, pois vários dos fatores anteriormente citados como o tempo de exposição das células e a velocidade tangencial do dosador estão relacionados com a velocidade de deslocamento.

Diversos ensaios realizados em campo e em laboratório, utilizando semeadoras com diferentes tipos de dosadores mecânicos e pneumáticos, comprovam que a velocidade de deslocamento é um fator decisivo na precisão da dosagem e na qualidade da distribuição das sementes no solo [08][09][10][16][19][55][56].

A interação entre velocidade, precisão na dosagem e distribuição, em geral ocorre no sentido de uma diminuição da uniformidade da dosagem e da distribuição com o aumento da velocidade [09][19][35][53]; há, entretanto, relato de efeito inverso, ou seja, de uma menor uniformidade de distribuição à menor velocidade de trabalho, BUTIERRES, citado por GAZZOLA [33]. Esses resultados, antes de serem estritamente antagônicos, reforçam a tese de que um número muito grande de fatores está envolvido nessa operação, o que leva a resultados diversos dependendo do peso assumido em cada ensaio por esses fatores.

---

\* PAULO, A.D. FMC do Brasil, Comunicação Pessoal, Piracicaba, 1992.

Ensaio realizados com diferentes máquinas, sementes e velocidades mostraram resultados e tendências distintas para diferentes culturas, no que diz respeito à influência da velocidade no enchimento do dosador e na porcentagem de patinamento da roda de acionamento [08]. Os ensaios realizados com várias semeadoras-adubadoras do mercado nacional têm concluído que seu desempenho é, de maneira geral, abaixo do aceitável do ponto de vista da qualidade da dosagem e distribuição, mesmo para aqueles modelos considerados de precisão [08][10][50][51].

### 3.3 Variações na trajetória das sementes

Além desses fatores, que contribuem basicamente para as falhas no enchimento do dosador, um outro grupo de fatores contribui para a desuniformidade da distribuição longitudinal, causando variações da trajetória das sementes, desde que entram no tubo condutor até repousarem no solo.

#### 3.3.1 Tamanho e formato do tubo condutor

KLENIN et al. [47], analisando o fluxo de sementes através do tubo condutor de semeadoras, afirmam que embora o movimento dos grãos seja governado por leis de queda livre de um corpo, esse movimento é afetado por sua aerodinâmica, fricção e impacto contra as paredes do tubo e por características de projeto e dimensões dos tubos. Tendo em vista a dificuldade de considerar todos esses parâmetros, os autores propõem um tratamento matemático que assume a queda livre das sementes e um coeficiente  $\mu$  que engloba os demais fatores envolvidos. O tempo efetivo de queda até o solo pode, segundo os autores, ser expresso como função da altura da queda, da velocidade inicial das sementes após saírem do dosador, e de um coeficiente  $\mu$  que depende de vários fatores ligados ao tipo de tubo, às sementes, etc, e que varia entre 1,05 e 1,45. Concluem que o tubo influencia na uniformidade da distribuição, e que deve ser mantido em boas condições para minimizar essa influência.

Supondo uma correta e uniforme dosagem das sementes no dosador, o transporte delas até o solo deveria manter essa uniformidade refletida no espaçamento final das sementes no solo. Entretanto, a sucessão de interações entre semente e tubo altera o padrão de distribuição original pela introdução de atrasos diferentes em cada queda [06][16]. Em um estudo dessas diferenças verificou-se que "a variância do tempo de

queda das sementes era função quase linear do comprimento" do tubo. Observou-se ainda que "o aumento de 1 para 2 metros no comprimento do tubo ocasionou um aumento de 66% na variância do tempo de queda das sementes", BRAUNBECK, citado por GAZZOLA [33].

O tamanho e formato do tubo foi analisado por diversos pesquisadores, tendo-se obtido os melhores resultados para diferentes tamanhos e formatos do tubo. Tubos curtos e lisos [06], retos e terminando na proximidade do fundo do sulco, são sugeridos [15], a fim de que não se introduzam atrasos na queda das sementes, e que se consiga a sua colocação a distâncias mais exatas. As menores alturas são obtidas com dosadores de discos verticais, geralmente aumentando para discos inclinados e horizontais. Tubos com formato aproximadamente parabólico [05], ou liso e inclinado para trás [78], propiciaram as menores variações na distribuição longitudinal das sementes no solo.

Em outro estudo do desempenho de semeadoras quanto ao espaçamento de sementes, compararam-se os dados obtidos em dois experimentos: num experimento usou-se um fotodiodo logo após a saída das sementes das celas para medir o intervalo entre duas sementes; em outro experimento usou-se uma correia engraxada para a deposição das sementes. As diferenças encontradas permitiram concluir que as interações dentro do tubo condutor constituíram uma grande fonte de imprecisão nos espaçamentos [16].

### **3.3.2 Impacto contra o solo**

A velocidade e ângulo de impacto das sementes no solo também são fatores apontados para a uniformidade na distribuição longitudinal. Para se ter um ângulo ideal de 80 a 90°, e uma mínima velocidade de impacto, a velocidade periférica do dosador deve ser igual e de sentido oposto à de deslocamento da máquina. Menores alturas de queda também contribuem para aumentar a precisão na distribuição [53][81], bem como o tamanho e forma das sementes: o saltitamento e o rolamento das sementes no solo são maiores para sementes regulares, menores e esféricas, que para as sementes de formato irregular e de maior tamanho [14].



### 3.4 Comentários finais

Neste capítulo apresentou-se os fatores que afetam a uniformidade de distribuição das sementes no solo, particularmente aqueles que decorrem de problemas na dosagem das sementes. Observou-se que a maior parte desses problemas relaciona características das sementes e da máquina (o tempo de exposição das células, velocidade tangencial do dosador, relação entre as dimensões da célula e da semente), sendo grandemente dependentes da velocidade de deslocamento da semeadora, que é, portanto, um parâmetro de grande importância na operação.

Observou-se, também, que o tubo condutor pode ter um efeito significativo na desuniformidade da deposição, e deve interferir o mínimo possível no tempo de queda das sementes.

## **CAPÍTULO 4**

### **A AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA E A SEMEADURA**

---

## 4 A AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA E A SEMEADURA

A automação tem contribuído para o melhor desempenho das atividades agrícolas no exterior, de um modo cada vez mais decisivo. Neste capítulo são apresentados os sistemas já propostos para o auxílio à semeadura, destacando suas características mais relevantes.

### 4.1 Introdução

A automação em equipamentos agrícolas tem sua origem nos primeiros sistemas de instrumentação adotados nas máquinas agrícolas da Europa e EUA do começo deste século. Inicialmente eram tidos como desnecessários, como atestam a sua quase inexistência e lento crescimento. Passaram a aumentar em importância à medida que a confiabilidade e a utilidade das máquinas agrícolas cresceram, até atingirem um platô na década de 30, seguindo de perto a indústria automobilística. Nessa época, os instrumentos disponíveis indicavam basicamente o nível do combustível, a temperatura do líquido de arrefecimento, a pressão do óleo, o estado do sistema elétrico - bateria e ou sistema gerador - além do número de horas do motor e da rotação. A não ser por alterações no "design", os painéis de instrumentos permaneceram funcionalmente iguais por quase 50 anos [82].

Ao mesmo tempo, a disseminação da eletrificação rural naqueles países levou à ampla utilização da instrumentação e do controle elétricos para o aquecimento, ventilação e iluminação de instalações animais, armazéns e estufas. Equipamentos eletrônicos começaram a ser utilizados nas tarefas da fazenda no final da década de 40 e começo dos anos 50, tendo seu primeiro grande impacto na medição do teor de umidade de cereais, durante e após a colheita. Desde então a eletrônica agrícola estendeu-se lenta, porém constantemente, às diversas esferas da produção animal e vegetal, tendo particularmente se desenvolvido com o rápido avanço da microeletrônica nas últimas décadas [20]. O surgimento dos microprocessadores na década de 70 possibilitou a expansão sem precedentes da eletrônica às mais diversas aplicações, e contribuiu para a redução de custos e aumento da confiabilidade dos equipamentos.

Na agricultura, algumas características do pós-segunda-guerra, que se acentuaram até nossos dias, estimularam o desenvolvimento de aplicações de sistema eletrônicos. Entre elas, citam-se:

- a redução da mão-de-obra no campo e o aumento do seu custo;
- a utilização de métodos intensivos de produção que resultam em altas produtividades, porém com grande dependência de insumos como fertilizantes, agroquímicos, combustível fóssil, os quais passam a representar boa parte dos custos de produção, que precisam ser otimizados. Entre esses métodos incluem-se a mecanização intensiva, o melhoramento animal e vegetal, a irrigação, etc;
- os crescentes problemas com a poluição causada pelo caráter intensivo da produção, e a necessidade de maior segurança tanto para o produtor quanto para o produto;
- a demanda crescente por qualidade e uniformidade dos produtos, por entrega nos prazos previstos para a indústria e o consumidor; além da necessidade de maior quantidade para atender ao aumento da população;
- a crescente e intensa competição internacional pelos mercados.

Esse panorama favoreceu e continua a ensejar o desenvolvimento de ferramentas, como a eletrônica, que auxiliem no atendimento a todos esses requisistos [20].

Em geral, nos países mais avançados a utilização da eletrônica na agricultura não representa novidade, e pode ser encontrada em todas as atividades onde seu retorno econômico justifica o investimento. No Brasil, entretanto, sua abrangência ainda é pequena como consequência de idiosincrasias da economia do país, a despeito do seu potencial como produtor de alimentos e matérias-primas de origem agrícola. No mercado nacional já se encontram, todavia, equipamentos eletrônicos para diversas aplicações; parte desses equipamentos são de origem estrangeira, notadamente norte-americana e israelense, e parte se origina em uma indústria nacional ainda incipiente, porém crescente [69][70].

## **4.2 A semeadura auxiliada por equipamentos eletrônicos**

A utilização de tratores e de semeadoras com várias linhas simultâneas de plantio, trouxe, além da maior velocidade e capacidade operacional, um agravamento das conseqüências das falhas da semeadora, em uma única linha que seja, deixando para trás uma grande área não semeada. As únicas maneiras de se detectar o mau funcionamento de uma linha são: a verificação periódica dos níveis dos depósitos de sementes, o que dá uma idéia apenas grosseira da adequada evolução da operação; ou a periódica verificação, no solo, da existência de sementes em cada um dos sulcos de semeadura, cavando-os após a passagem da máquina. De qualquer modo, a impossibilidade prática de efetuar qualquer um desses dois procedimentos a toda hora, implica num risco de escolha do intervalo da amostragem [82]. Prática realizada no nosso país é a utilização de um auxiliar de campo para a verificação da qualidade da semeadura.

### **4.2.1 Monitores de semeadoras**

Em função dessa situação e da importância da semeadura, surgiu a necessidade de um monitor de semeadora confiável já na metade da década de 50, embora a primeira solução não estivesse disponível senão dez anos mais tarde. Esse primeiro equipamento utilizava uma delicada chave mecânica que, quando atingida por uma semente em trânsito pelo tubo condutor para o solo, abria um circuito elétrico. Esse circuito consistia de um indutor, uma bateria e uma lâmpada. A cada abertura da chave pelas sementes, o indutor, na tentativa de manter a corrente no circuito, levava a lâmpada a pulsar. As lâmpadas, uma para cada linha assim como as chaves mecânicas, eram dispostas no painel do trator de modo que o seu pulsar periódico pudesse ser visto pelo operador. Este se acostumava ao ritmo de plantio e era atraído em sua atenção caso alguma lâmpada deixasse de piscar ou o fizesse em ritmo alterado [82].

Após o surgimento desse primeiro equipamento, outros se sucederam, gradualmente incorporando os avanços da tecnologia eletrônica disponível, e diferindo substancialmente nas funções apresentadas, no tipo da interface com o operador, nos sensores utilizados, na arquitetura do equipamento, etc. A seguir apresenta-se um apanhado das principais características dos sistemas levantados.

#### 4.2.1.1 Características funcionais básicas

Funcionalmente, os monitores descritos na bibliografia podem ser divididos em dois grupos: um grupo que apenas detecta a existência de fluxo de sementes, e um outro grupo que quantifica o fluxo, ou seja, mede a taxa de queda das sementes.

No primeiro grupo estão equipamentos funcionalmente semelhantes àquele pioneiro, limitando-se à detecção e apresentação da existência do fluxo de sementes em cada uma das linhas separadamente. A cada linha da semeadora corresponde uma lâmpada ou LED\* no painel do equipamento, que pulsa a cada passagem de uma semente pelo sensor existente no respectivo tubo. Se uma unidade semeadora alterar consideravelmente a taxa de dosagem de sementes, o operador poderá observar o fato pela alteração no piscar da lâmpada correspondente. Um alarme sonoro adicional é ativado nesse caso [12], ou em caso de o fluxo cessar completamente [20][21]. Ajustes de tempo e atraso permitem alterar a tolerância aceita para o intervalo entre sementes, sem a ativação do alarme [34].

Ainda nesse primeiro grupo, um outro equipamento substituiu a linha de lâmpadas/LEDs por um "display" alfanumérico, que indica o número da linha que apresenta problemas. Foi adicionado um alarme para indicar o nível baixo de sementes do depósito, e o alarme sonoro foi mantido para indicar qualquer anomalia nas linhas ou no depósito [82].

No outro grupo de equipamentos, a quantificação do fluxo é feita pela contagem das sementes, ao passarem pelos sensores localizados em cada tubo das unidades semeadoras. Estes equipamentos são dotados de displays alfanuméricos, em geral de cristal líquido, para a apresentação das informações ao operador, além de disporem de alarmes audíveis para indicação de falhas [12][21][34]. A manutenção também da indicação individual de anormalidade com um LED vermelho para cada linha, e um único LED verde para indicar a correta operação de todas as linhas, é usada como recurso extra de visualização [34].

Um segundo modelo de uma linha de monitores para semeadoras pneumáticas [82], apresenta, além do display já citado para indicação do número da linha com falha, ou de esvaziamento no depósito, um outro display para a apresentação das demais

---

\* LED - "Light emitting diode" ou diodo emissor de luz.

funções, que são: o número de sementes plantadas por volta do tambor distribuidor de sementes, a contagem de sementes por linha, a taxa de rotação do tambor, e a pressão do ar do tambor. O terceiro modelo, chamado de topo-de-linha, usa um único display de cristal líquido para apresentar, além das funções já citadas, a velocidade de deslocamento, a área total plantada, a população em sementes/ha, e a capacidade de campo em ha/h.

Outros equipamentos semelhantes a esse último, e de aplicação a qualquer semeadora, apresentam funções semelhantes:

- área total;
- área parcial;
- velocidade de deslocamento;
- capacidade de campo\*\* ;
- população total, sementes/ha;
- população por linha;
- espaçamento entre sementes, por linha.

Para a apresentação dessas funções, entretanto, é necessário que um sensor de velocidade seja incorporado ao equipamento, e que o espaçamento entre as linhas seja informado ao processador para os cálculos de área, capacidade de campo e população por área. Alguns equipamentos utilizam, ao invés de sensor de velocidade, uma informação da velocidade de trabalho prevista, a qual é fornecida pelo operador via teclado, e é utilizada nos cálculos de população por hectare e por linha. Neste caso, as funções área, velocidade e capacidade de campo não são disponíveis [12][21][34].

A seleção das funções é feita através de um teclado que pode ser funcional, isto é, com teclas designadas para cada função, ou através de um número reduzido de teclas de seleção, confirmação, mudança de modo ou calibração.

---

\*\* Parâmetro que exprime a relação entre a área trabalhada e o tempo dispendido na operação, em hectares/hora.

Encontram-se, entre os modos de apresentação das funções, o de seleção manual, em que o operador seleciona a função desejada; e o modo de varredura automática, em que o sistema automaticamente alterna a apresentação das diversas informações no display.

#### 4.2.1.2 Sensores de fluxo de sementes

Os sensores de fluxo de sementes são ópticos na quase totalidade dos sistemas. São uma combinação de uma fonte de luz e um fotodetector, acoplados opticamente, de modo a produzir uma saída toda vez que o feixe luminoso é interrompido pela passagem de uma semente [12][20][21][54].

A fonte de luz é tipicamente um LED infra-vermelho, e o detector um fototransistor ou um fotodiodo [63], os quais devem ser arranjados em número e disposição conveniente, dependendo do tamanho das sementes. Usualmente outros componentes são utilizados adicionalmente para um adequado condicionamento do sinal e ajuste de sensibilidade [80][82]. Esses sensores ópticos podem ser afetados por produtos químicos utilizados no tratamento das sementes, e podem requerer limpeza com escovas e lavagem [21].

Um sensor imune à acumulação de poeira e produtos químicos usados nas sementes, e que tem um princípio eletromagnético por natureza, é citado por HAASE [34]. O campo criado pelo sensor é um fino plano perpendicular ao tubo, e o sensor pode "ver" através da maioria dos tubos condutores de semeadoras, o que permite a detecção do fluxo sem interferir no livre trânsito das sementes, fator importante em semeadoras de precisão. O mesmo sensor é capaz de detectar fluxo de fertilizantes e é insensível à luz solar.

Outros princípios físicos têm sido relatados para a quantificação de diferentes características de sementes e outros materiais orgânicos. Os métodos de condutância DC, impedância RF, microondas e NMR (ressonância magnética nuclear), baseados nas propriedades dielétricas de materiais orgânicos, têm sido estudados com sucesso para a determinação de umidade em grãos, em procedimentos não destrutivos [59][44]. Como resultado desses e de outros trabalhos, já há "standards" para propriedades dielétricas de vários grãos e sementes [02].



A aplicabilidade desses e de outros métodos à quantificação de fluxo de sementes esbarra em problemas de ordem técnica, na medida em que implicam em detecção dinâmica, ao contrário das condições estáticas normalmente utilizadas, e em problemas de ordem econômica, uma vez que tais métodos são por natureza mais onerosos. A evolução da tecnologia, entretanto, permite supor a aplicabilidade de alguns desses princípios às semeadoras no futuro.

#### 4.2.1.3 Sensores de velocidade

A determinação da velocidade de trabalho para sua utilização em cálculos que envolvem tempo ou distância percorrida só é necessária nos monitores de semeadora que quantificam o fluxo de sementes. Nesses equipamentos o parâmetro velocidade tem sido obtido de três modos distintos. Num primeiro enfoque, mais simples e menos preciso, a velocidade prevista é fornecida pelo operador ao equipamento via teclado, como já dito [12][21]. Esse valor será, então, utilizado no processamento independente das flutuações da velocidade real de deslocamento do conjunto trator-semeadora. A confiabilidade dos dados apresentados é, portanto, função da manutenção da velocidade prevista pelo operador ao longo da operação.

Neste ponto é importante ressaltar que a velocidade de deslocamento do conjunto trator/semeadora, conforme indicada pelo tacômetro do trator, pode diferir significativamente da velocidade real de deslocamento. Essa indicação é baseada na rotação das rodas tratoras e desconsidera o patinamento que, no caso de tratores agrícolas, é significativo e praticamente inevitável na maioria das operações, devido à própria natureza do solo. Valores de patinamento da ordem de 10-15% são considerados aceitáveis para tratores com 2 rodas tratoras [20][21], o que, por si, já compromete o valor fornecido pelo operador ao equipamento, via teclado.

Uma alternativa mais confiável para esse problema, é a incorporação de sensores de velocidade ao equipamento. Duas opções são normalmente disponíveis para esse fim. A primeira consiste na colocação de sensor magnético acoplado a uma roda não tratora que pode ser da semeadora ou do próprio trator. A utilização da roda dianteira de tratores 4x2 é descrita em vários trabalhos [12][20][21][28][54][75]. A precisão obtida depende da velocidade, do diâmetro efetivo da roda e da pressão pneu-solo, a qual depende da distribuição dinâmica de peso da combinação trator/semeadora. A figura 4.1 ilustra a montagem do sensor na roda dianteira do trator.

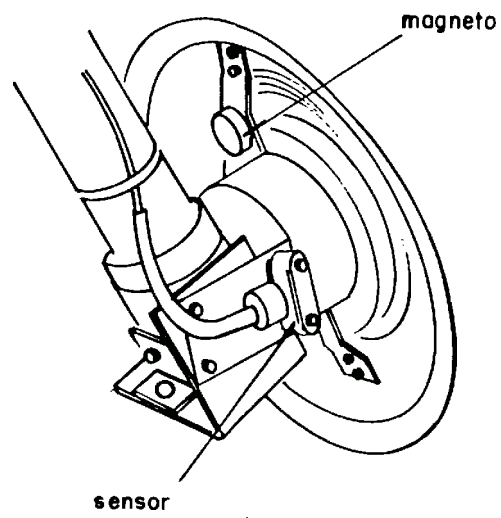


FIGURA 4.1 - MEDIÇÃO DE VELOCIDADE COM SENSOR INDUTIVO  
FONTE : COX [21]

A medição é feita fixando-se magnetos ou materiais metálicos à roda e montando o sensor magnético ao suporte do eixo da roda. A cada passagem do magneto pelo sensor este produz um pulso cuja frequência de ocorrência é proporcional à rotação da roda e, portanto, à velocidade de deslocamento, relevadas as ocorrências de patinamento, deslizamento e trepidação da roda. A montagem é robusta em relação ao ambiente, e a distância entre o sensor e o magneto não é crítica. A calibragem desse sensor no sistema deve ser feita em condições de campo, para considerar a circunferência efetiva da roda; por exemplo, deslocando o trator por uma distância conhecida e contando o número de pulsos do sensor no trajeto. Distâncias maiores levam a menores erros de aproximação; sugere-se um mínimo de 50 m [21]. Para a diminuição do erro devido ao deslocamento em curvas, a média da velocidade das duas rodas dianteiras pode ser utilizada [75].

Esse mesmo princípio é utilizado para a medição da velocidade a partir da roda de terra ou roda de acionamento da semeadora [80][82]. As imprecisões em que se pode incorrer são da mesma ordem da montagem anterior, uma vez que o deslizamento da roda de acionamento varia com a velocidade, e pode atingir valores da ordem de 15% [08].

As limitações desses sensores conduziram à introdução dos radares Doppler, de custo muito mais elevado. O efeito Doppler baseia-se na aparente mudança de frequência de um sinal quando o transmissor (ou o refletor) e o receptor estão em movimento relativo. A radiação utilizada é a eletromagnética na faixa de microondas, e as duas frequências em geral em uso no mundo são 10,587 e 24,125 GHz, com uma potência típica de 5 mW. Esse tipo de equipamento opera em frequência e potência autorizadas, e necessita de uma licença anual dos órgãos competentes.

O radar é normalmente colocado no chassi do trator, na parte inferior, próximo ao centro de gravidade da máquina, de modo a reduzir as vibrações a que estará sujeito, as quais contribuiriam para introduzir uma outra componente no movimento relativo sensor-solo. É montado dirigido para trás, para proteção contra choques e com um ângulo definido em relação ao solo da ordem de 35° a 45°, figura 4.2. A variação em frequência devida à velocidade é pequena: 16 Hz/ km/h para o sensor de 10 GHz, e 36 Hz/ km/h para o de 24 GHz, que é, portanto, mais sensível.

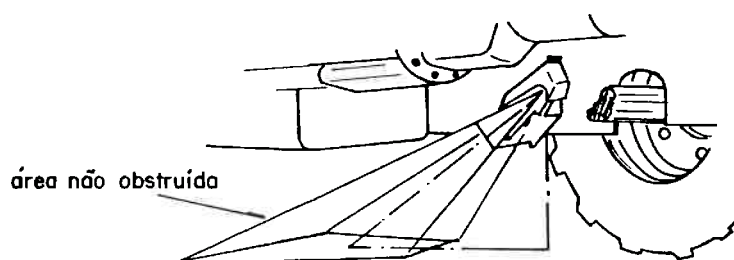


FIGURA 4.2 - MEDIÇÃO DE VELOCIDADE COM SENSOR DOPPLER  
FONTE : COX [21]

A precisão dos sensores Doppler depende não só da frequência de operação, mas também das condições da superfície do solo e da velocidade de operação. Os radares atuais são microprocessados e procuram otimizar por software as condições de operação, o ajuste de sensibilidade, entre outros [20][21]. A faixa de velocidade coberta tipicamente é de 0,4 - 70 km/h, com uma precisão de  $\pm 3\%$  para velocidades entre 0,4 e 3,25 km/h, e  $\pm 1\%$  para velocidades acima de 3,25 km/h [74].

Uma vez que tanto o sensor Doppler quanto o sensor magnético fornecem pulsos em frequência proporcional à velocidade de deslocamento, a interface para ambos os sensores pode ser implementada com facilidade [34].

A utilização de "encoders" ópticos de alta resolução, 8.000 pulsos por volta, é descrita em um sistema para a contagem de "seedlings" num viveiro de mudas [48].

#### 4.2.1.4 Arquitetura

A arquitetura dos monitores de semeadora descritos na literatura se enquadra em três modelos básicos. O primeiro modelo, não microprocessado, é o dos equipamentos mais simples, que não quantificam o fluxo de sementes. São compostos de blocos funcionais digitais e analógicos básicos e não apresentam uma arquitetura bem característica.

O segundo modelo de arquitetura é o mais comum deles; baseia-se num microprocessador, o qual realiza tanto as funções de controlar a interface com o operador - teclado e display - quanto a varredura dos sensores, além de todo o processamento pertinente. O equipamento é constituído por um único módulo, localizado em algum ponto no painel do trator, ao alcance do operador, e toda a cabeção necessária para cada um dos sensores percorre o trajeto desde a cabine do trator até o tubo das sementes [21][54][80][82].

O terceiro modelo representa uma diferenciação da arquitetura anterior. Baseado também num microprocessador, é constituído de dois módulos: o módulo do trator e o módulo da semeadora. Este último é responsável pela interface com todos os sensores, e permite uma redução da eletrônica necessária em cada sensor, reduzindo seu custo. O módulo da semeadora também serializa os dados dos sensores e os transmite para o módulo do trator; dessa maneira a cabeção entre o trator e a semeadora pode ser

reduzida. O módulo do trator, finalmente, processa os dados dos sensores recebidos serialmente do módulo da semeadora e gerencia a interface com o operador - teclado e displays [34]. Em contrapartida, há a necessidade de prover encapsulamento adequado para ambos os módulos.

#### **4.2.1.5 Auto-teste**

Uma característica interessante presente em vários equipamentos é a existência de facilidade de auto-teste, que pode incluir teste do sistema básico, dos sensores e da cabeção. Uma vez verificada a existência de problemas em algum sensor, este pode ser temporariamente ignorado pelo simples desconectar do cabo respectivo e pela reinicialização do sistema, o que evita o inconveniente de ter que trocar o sensor de imediato, ou ter que conviver com constantes alarmes naquela linha [34]. Alguns sistemas dispõem de equipamentos auxiliares para realizar em campo os testes acima mencionados [21].

#### **4.2.2 Outros sistemas de auxílio à semeadura**

Além dos Monitores, outros sistemas têm sido propostos para auxiliar na monitoração ou na automação de máquinas voltadas à semeadura.

O controle da profundidade de semeadura, atuando na própria semeadora, é descrito em um sistema que propõe o uso de sensores de ultrassom para a determinação da altura da barra porta-ferramentas da semeadora. Uma outra alternativa do projeto sugere a utilização de um potenciômetro, acionado pela roda de controle de profundidade, como sensor para a altura do chassi. O primeiro sistema é microprocessado, enquanto o segundo é totalmente analógico [26].

O controle automático da semeadura de precisão envolve o projeto de novas formas de dosagem, uma vez que os dosadores disponíveis no mercado não apresentam características adequadas. Uma semeadora micro-controlada para a cultura de alface, que possui uma semente delicada e pequena, foi construída utilizando um alimentador vibratório, sensores ópticos para a detecção de sementes e sensores magnéticos para a determinação da velocidade de deslocamento. Os testes realizados mostraram um desempenho melhor que o das máquinas disponíveis no mercado [80].

Outra aplicação interessante é o controle automático de marcação de linhas de referência (no inglês, "tramline"). Embora não seja técnica muito difundida, consiste em deixar linhas não semeadas para a futura passagem das máquinas em operações posteriores de cultivo, restringindo a compactação a essas regiões do terreno. Como a largura de trabalho das máquinas usadas após a semeadura é um múltiplo da largura da semeadora, a linha de referência deve ser deixada sem semear a cada certo número de passadas da semeadora. Esse cálculo pode ser automaticamente feito pelo "tramline controller" que inibe a semeadura na linha adequada, acionando válvulas solenóides [12][20].

Finalmente, um outro sistema realiza o controle da elevação do marcador lateral, bem como efetua o ajuste da altura da barra porta-ferramentas pela média da altura nas várias rodas de transporte, em semeadoras de grande porte, com o intuito de homogeneizar a profundidade de semeadura [64].

#### 4.3 Comentários finais

Neste capítulo apresentou-se as características básicas de equipamentos eletrônicos propostos experimentalmente ou comercialmente para o auxílio à operação da semeadura. Embora a idéia de sua utilização seja antiga, novos sistemas continuamente têm sido propostos na medida em que a tecnologia eletrônica avança, permitindo novas e melhores características.

Por outro lado, as soluções disponíveis até o momento, são claramente insuficientes para garantir a eficiência da operação, seja porque seu custo ainda é elevado, dificultando sua disseminação, seja porque as próprias semeadoras não permitem até o momento a inclusão de controle automático, o que seria um passo decisivo para sua definitiva incorporação às máquinas. Novos sistemas devem, portanto, ser propostos até que esses objetivos sejam atingidos.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO ELETRÔNICO PARA APLICAÇÕES AGRÍCOLAS**



## 5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO ELETRÔNICO PARA APLICAÇÕES AGRÍCOLAS

A automação tem contribuído substancialmente para a redução de custos e para melhorar a eficiência dos sistemas produtivos agrícolas. Entretanto, a despeito do tremendo impacto da automação industrial nos últimos anos, a agricultura ainda faz uso intensivo da mão-de-obra e possui muitas tarefas repetitivas e tediosas [27]. Vários aspectos técnicos e econômicos têm limitado o progresso da automação na agricultura. Alguns deles serão abordados neste capítulo.

### 5.1 O ambiente agrícola

A aplicação do estado-da-arte da tecnologia eletrônica aos equipamentos agrícolas tem representado alguns desafios, entre os quais o principal fator tem sido o ambiente de operação. Esse ambiente complexo, pouco estruturado e hostil compreende uma variedade de condições, muitas vezes rapidamente cambiantes. Entre essas condições, as relativas ao clima são mais evidentes, mas também devem ser considerados os aspectos do ambiente elétrico, químico e mecânico [27][37]. A definição de parâmetros ambientais e o estabelecimento de critérios de projeto têm sido utilizados para prover uma proteção adequada aos equipamentos.

Alguns desses aspectos e parâmetros são, a seguir, apresentados.

#### 5.1.1 Condições atmosféricas e químicas

As condições atmosféricas compreendem, entre outros, a temperatura, a umidade, a poeira e a salinidade.

Os extremos de temperatura e sua variação afetam os componentes elétricos e eletrônicos, sendo função tanto do ambiente externo ao equipamento, como do calor gerado no próprio equipamento pelo consumo de potência. O ambiente externo contribui diretamente com a temperatura do ar, enquanto a exposição do equipamento eletrônico a fontes de calor como o sol e o motor podem elevar substancialmente a temperatura em relação à do ar. Por outro lado, a exposição à chuva pode causar

bruscas reduções no seu valor. A localização do equipamento na máquina agrícola tem grande influência neste componente do fator temperatura.

A geração de calor internamente ao circuito é outro aspecto a ser considerado no projeto, e depende de várias condições de operação do circuito como tensão, corrente, frequência e tecnologia de fabricação dos componentes utilizados, as quais determinam a potência dissipada nos componentes e no circuito. A existência de famílias de componentes a semicondutor de baixo consumo, MOS, e de componentes com ampla faixa de temperatura de trabalho, componentes de especificações MIL, possibilita uma maior flexibilidade de projeto.

A correta especificação desses parâmetros deve ser completada com uma análise de habilidade do circuito em dissipar o calor gerado durante a operação. Se necessário a utilização de ventilação forçada pode ser utilizada com o uso de ventiladores DC de pressão positiva que proporcionam arrefecimento e atmosfera limpa [57].

A umidade do ar a que está exposto o equipamento eletrônico no campo é extremamente variável, podendo atingir a saturação; a própria incidência de chuva é um fator a ser considerado. Essa umidade é extremamente danosa aos componentes eletrônicos, podendo causar correntes de fuga, oxidação de partes metálicas, curto-circuitos, etc, e deve ser preventivamente evitada. A proteção dos equipamentos eletrônicos em operação nessas condições deve ser feita com a adoção de empacotamentos adequados, bem vedados e resistentes aos demais agentes ambientais. Painéis selados, anéis de vedação ("O"-rings) em encaixes e junções, e o uso de conectores de ouro ou selados são práticas que devem ser adotadas [25][37][58].

As bruscas reduções de temperatura, que ocorrem no caso de incidência de chuva sobre o equipamento, podem representar um problema de condensação interna da umidade residual baixa, mesmo em equipamentos adequadamente selados. Nesses casos, a adoção de técnicas de "potting", ou seja, de envolvimento de todos os componentes com algum material inerte e não permeável à água, é uma solução. A utilização de materiais à base de silicone, por exemplo, em empacotamentos não totalmente vedados à entrada de ar, oferece boa proteção [58].

Assim como a umidade, a presença de pó no ambiente agrícola é uma constante. Além do problema da sua deposição e alteração de parâmetros como condutividade elétrica, constante dielétrica e acoplamento óptico, a presença de pó causa a abrasão de partes móveis como conectores, comprometendo os contatos ao longo do tempo.

O ambiente em geral é também desfavorável do ponto de vista químico, considerando-se os gases de exaustão do trator e a pulverização de agroquímicos.

Todos esses fatores interferem basicamente no projeto do encapsulamento do equipamento, merecendo a mesma atenção que a dispensada para a umidade, apenas com a compatibilização dos materiais utilizados de forma a que estes sejam resistentes também aos demais agentes.

### 5.1.2 Condições mecânicas

As condições mecânicas do ambiente são usualmente divididas em vibração e choque. A vibração está presente numa ampla faixa de frequências e amplitudes na máquina, dependendo da posição na máquina considerada. Assim é que os níveis de vibração são definidos em relação à essa posição: no motor, no chassi, na cabine, no implemento. A fim de se considerar o aspecto vibração no projeto do equipamento eletrônico, é necessário saber-se o seu perfil, o que deve incluir, sempre que possível, dados de testes de campo em várias condições de operação. Ensaios de ressonância do equipamento e de suas partes também são importantes.

A vibração pode afetar o desempenho e a durabilidade dos componentes. Os danos possíveis são fadiga mecânica no encapsulamento dos componentes, nas placas de circuito impresso e nas soldas e conectores, resultando em rupturas e circuitos abertos; elementos móveis como potenciômetros podem apresentar variações de sinal em função da vibração.

A adequada fixação das placas de circuito impresso e demais partes da montagem deve ser planejada para minimizar a deflexão com a vibração; a técnica de "potting", já referida, também pode ser adotada com sucesso. Conectores com travas devem ser adotados em áreas de maior vibração; as áreas de menor vibração, devem ser preferidas para a instalação dos equipamentos, sempre que possível.

Os choques mecânicos em equipamentos agrícolas em operação podem ser freqüentes e severos, e devem ser considerados no projeto e na montagem do circuito e do equipamento eletrônico. O efeito básico do choque é uma falha estrutural nos componentes, placas e montagem. Além das recomendações básicas válidas para vibração, os cabos oriundos do equipamento eletrônico devem ser protegidos contra excessivas forças a eles aplicadas, sem que isso danifique suas conexões às placas e conectores no equipamento; aliviadores de esforço devem ser previstos [37].

### **5.1.3 Condições Elétricas**

O ambiente elétrico na agricultura deve merecer especial atenção no projeto de equipamentos eletrônicos. Tanto em instalações estáticas, com alimentação da rede de energia local, quanto em aplicações embarcadas em máquinas agrícolas, as alterações, ruídos e interferências existentes poderão provocar mau-funcionamento ou danos definitivos aos equipamentos. Em função do escopo deste trabalho, todavia, será dada ênfase apenas ao ambiente elétrico de tratores agrícolas, embora muitas das recomendações possam ser estendidas a outras aplicações.

#### **5.1.3.1 Características estacionárias da tensão**

A tensão de alimentação nominal de 12V do sistema elétrico do trator, na verdade corresponde a uma faixa de tensão que varia tipicamente de 5V a 26V em várias condições de operação. Essa faixa é função do sistema de recarga utilizado, e das várias cargas presentes no sistema. A saída do alternador (corrente) varia com a rotação do motor, com a temperatura, e com as características do regulador. Além disso, falhas no sistema de recarga podem ocasionar elevação ou abaixamento da tensão da operação, dependendo da falha. Essa variação pode assumir diversas conseqüências, dependendo do circuito em uso, desde a excessiva dissipação em caso de alta tensão, até a saída de operação em caso de baixa tensão [37]. Circuitos cujo conteúdo em memória não deve ser perdido em caso de queda de tensão, devem prever proteção [36][37].

A reversão de polaridade, possível em caso de conexão invertida de cabos, é uma situação que deve ser prevista e os circuitos protegidos contra ela. A proteção contra

curto-circuito, por meio de fusível ou limitador de corrente é outra prática recomendável.

No caso de o trator operar sem a bateria conectada, a tensão do sistema consistirá de uma senóide sobreposta aos 14V nominais da linha de alimentação. A amplitude dessa oscilação depende das várias cargas do sistema e pode chegar a  $8V_{\text{pico}}$ , o que resulta em  $22V_{\text{pico}}$  [25][37][58].

### 5.1.3.2 Características transitórias da tensão

As variações nas cargas conectadas no circuito elétrico do trator provocam transientes de voltagem que podem afetar o comportamento de, ou mesmo danificar, equipamentos eletrônicos alimentados a partir desse circuito. Várias medidas devem ser tomadas para atenuar a ação desses transientes; a primeira delas é prover uma alimentação direta da bateria, exclusivamente para o equipamento. Além dessa providência, outras devem ser consideradas.

O chaveamento de cargas indutivas gera um transiente negativo de tensão, cujo valor de pico pode chegar a -28V, como valor típico em sistemas elétricos de tratores. Esse transiente, excedendo a tensão reversa máxima de dispositivos eletrônicos, danificamos, e pode ser atenuado com a colocação de um diodo de comutação em paralelo com a carga indutiva [37][58].

A desconexão de uma carga gera um transitório positivo pelo alternador. O pior caso, o da maior carga subitamente desconectada, é o de uma bateria fraca com intermitência no contato de um dos bornes, uma vez que nessa situação o alternador está a plena capacidade. Nesse caso, o transiente de tensão pode atingir +120V (típico), o que causaria danos aos componentes não protegidos. A proteção sugerida é a colocação de um diodo zener que limite a elevação da tensão a um valor aceitável, por exemplo 40V [37][58].

O decaimento do campo do alternador acontece quando o motor é desligado e gera um transiente negativo que pode atingir tipicamente -40 a -90V, dependendo das condições do equipamento. A solução para a proteção do circuito, neste caso, é a mesma para a inversão da polaridade da tensão, e consta de um diodo bloqueador.

O acoplamento mútuo entre linhas de sinal e linhas de alimentação que correm paralelas pode levar a picos de tensão na linha de sinal, devidos a transientes na alimentação. Um simples circuito R-C pode, nesses casos, reduzir o pico de tensão [37][58].

Como resultado da existência de diversos equipamentos eletrônicos alimentados pelo mesmo sistema elétrico do trator, um ruído acessório é usualmente considerado no projeto de novos equipamentos. Esse ruído é genericamente representado por uma tensão de  $3V_{\text{pico-a-pico}}$ , com frequência entre 50Hz a 10kHz, sobreposto à tensão nominal. A eliminação desse ruído deve ser prevista, por exemplo com o uso de um capacitor de filtragem.

O acúmulo de carga eletrostática no corpo humano e nas máquinas agrícolas em condições atmosféricas de poeira e baixa umidade relativa do ar, pode levar à operação errática do circuito ou mesmo causar danos aos componentes. Para evitar isso, a blindagem do equipamento com caixas metálicas e telas metálicas nos painéis é uma prática que garante um caminho para direcionar essas cargas para a máquina, sem passar pelo circuito eletrônico. A tendência atual de utilização de materiais plásticos no empacotamento é um problema que pode ser contornado com o uso de chapas de blindagem [37][58].

Um outro aspecto de importância no ambiente elétrico é a compatibilidade eletromagnética (EMC). O campo eletromagnético irradiado que atinge os circuitos eletrônicos, oriundo de equipamentos de comunicação próximos a ele, induz correntes e tensões em qualquer coisa que aja como condutor de eletricidade. Embora não sejam, em geral, suficientes para causar falhas permanentes nos circuitos, podem causar funcionamento errático ou acionar controles indevidamente.

A fiação ou cabeação do circuito age como antena para esses sinais; blindá-los é uma alternativa. Ela pode não ser viável em toda a máquina, todavia, e há o risco de a blindagem se danificar sem ser notada. Uma outra solução é a incorporação de filtros na placa de circuito impresso, além de incluir um plano de terra na placa. A mesma blindagem usada no empacotamento do equipamento para proteção contra carga eletrostática, é uma boa técnica para atenuar a interferência eletromagnética, mas não protege os cabos de sinal.



#### **5.1.4 Testes ambientais**

A consideração dos parâmetros citados, no projeto de equipamentos eletrônicos, deve ser completada com a especificação e realização de testes que comprovem a adequação do equipamento ao ambiente de operação.

A especificação dos testes deve levar em conta, tanto quanto o projeto do equipamento, as reais condições de operação a que estará sujeito o circuito eletrônico, o que pode requerer o levantamento de dados em campo. A orientação básica para a definição desses testes é apresentada em normas e recomendações de diversas instituições nacionais e internacionais como a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, a American Society of Agricultural Engineers - ASAE, a Society of Automotive Engineers - SAE, a International Standards Organization - ISO, a International Electrotechnical Commission - IEC, além das normas MIL-Standard, entre outras.

#### **5.2 A interface homem-máquina**

A mecanização da agricultura tem contribuído para o aumento da produtividade, mas tem exposto o trabalhador a riscos de acidentes provocados pelas condições mínimas de segurança. Em termos de risco profissional a agricultura enquadra-se, juntamente com a construção civil e a exploração petrolífera, entre as categorias com maiores índices de acidentes de trabalho. O trator agrícola de rodas, por exemplo, embora não seja um veículo veloz, é perigoso; a força de tração de suas rodas ao encontrar apoio suficiente no solo, converte-se em esforço de giro considerável que, aliado à topografia do solo agrícola, faz com que o trator possa tombar ou empinar com facilidade. Essa situação é agravada ainda quando são constatados casos de trabalhadores despreparados, sem treinamento e instrução adequados, operarem máquinas sofisticadas.

Diversos fatores influem sobre o rendimento do trabalho e sobre a saúde do tratorista, e não têm sido adequadamente considerados quer no projeto e dimensionamento das máquinas, quer na legislação trabalhista, requerendo maiores estudos e normatização no Brasil. Entre esses fatores pode-se apontar a falta de estruturas de proteção contra capotagem, a segurança e a ergonomia do posto de operação do trator, e a incidência de fatores ambientais sobre o rendimento do trabalho.

Entre os fatores ambientais, os níveis de ruído, vibração e temperatura a que está submetido o operador comprometem sua saúde, muitas vezes de forma irreversível, e diminuem a capacidade de concentração. Isto contribui para diminuir o seu rendimento, sujeitando-o a erros de percepção e raciocínio, e aumentando o risco de acidentes de trabalho [49][65].

A incidência de todos esses agentes requer que sejam corrigidas as falhas e deficiências existentes no projeto dos tratores e máquinas agrícolas, de modo a tornar mais confortável a operação e aumentando a eficiência da operação. Por outro lado, esse contexto torna ainda mais importante o projeto da interface de sistemas de controle ou monitoração, de modo a minimizar o possível efeito negativo sobre a capacidade de o operador interagir com o equipamento.

O estudo do fator humano na interação com os equipamentos que ele usa é um assunto complexo e bastante dependente das características sociais e culturais do operador [30]. Embora existam em outros países estudos aprofundados sobre essas características, e sobre a maneira de considerá-las no projeto de novos sistemas [43], tais conhecimentos não são diretamente transponíveis para o caso brasileiro. Entretanto, as metodologias propostas para a incorporação das características e expectativas do operador à máquina são bastante gerais e podem ser utilizadas como referência.

O conhecimento das expectativas dos operadores em relação ao modo de operação de atuadores, controles e outros dispositivos é um importante ponto de partida para a definição da interface, na medida em que estabelece estereótipos que podem ser utilizados para se obter interfaces mais precisas e rápidas e mais resistentes aos efeitos deletérios do "stress" e da fadiga. Exemplos desses estereótipos são a associação de lâmpadas vermelhas com "PARE" e de verdes com "SIGA". Outras associações menos óbvias podem ser detectadas por estudos e levantamentos desse tipo. Em equipamentos agrícolas esses aspectos são particularmente importantes na medida em que a sazonalidade das operações pode provocar uma rotatividade no trabalho com cada máquina, resultando num contato limitado e esporádico com sua interface. Alia-se a isso a inexistência ou precariedade do treinamento, a falta de uma supervisão sobre o operador nos trabalhos na fazenda, e o nível cultural inadequado deste, e estabelece-se um quadro adverso da utilização das máquinas.



A definição das entradas e saídas do sistema, ainda que seja requisito óbvio, deve ser analisada do ponto de vista de número de variáveis, faixa de variação e precisão para variáveis contínuas, número de estados para variáveis discretas, taxa de atualização. A utilização de normas e práticas pertinentes, em relação a ergonomia, posicionamento, forma, tamanho, código, cores, etc, é outra prática a ser adotada sempre que possível. Com base nessas informações, as decisões de projeto poderão ser tomadas com relação aos aspectos básicos: tipo de controle/display a ser utilizado, codificação utilizada para a diferenciação entre as variáveis, lay-out dos vários controles/displays e a localização do conjunto no posto do operador, e a relação custo/benefício das alternativas.

Os equipamentos eletrônicos que têm sido incorporados aos tratores agrícolas, em adição ao tradicional painel de instrumentos, têm apresentado características de interface homem-máquina diversas, conforme já foi brevemente discutido no item 4.2. Algumas tendências, todavia, têm se firmado como resultado da melhor resposta obtida por certas alternativas de tecnologia e posicionamento adotados na interface.

Com relação à tecnologia, displays digitais tem sido preferidos para leituras precisas. Entre eles, os displays a cristal líquido tem se mostrado mais adequados ao trabalho no ar livre, em função de sua alta razão de contraste em diferentes condições de luminosidade. A única restrição é a necessidade de iluminação em situações de penumbra ou de trabalho noturno. A flexibilidade de uso dos displays em termos da apresentação de mensagem também é um fator decisivo, além de aspectos técnicos ligados ao projeto elétrico dos equipamentos [20][21][25][43][58].

A utilização de indicações de "status", redundantes ou não ao display, utilizando LEDs verdes e vermelhos também tem sido adotada pela sua mais rápida identificação pelo operador. Alarmes sonoros redundantes às indicações visuais também são usuais para indicar situações anormais que requeiram a atenção do operador.

Com relação ao posicionamento, a importância e a frequência de uso tem colocado a maioria dos equipamentos em suportes montados sobre o painel do trator, sem, entretanto, alterar a visibilidade do operador do terreno. Alguns equipamentos que substituem ou complementam sistemas hidráulicos e mecânicos já existentes no trator, são usualmente colocados em posições próximas a estes; por exemplo o sistema de

controle hidráulico do engate de três pontos, que é colocado na lateral direita do operador.

### 5.3 Confiabilidade

Embora a confiabilidade dos equipamentos seja uma característica desejável em qualquer circunstância, em determinadas áreas ela representa um aspecto determinante para a evolução de uma tecnologia e sua aceitação no mercado. Tal é o caso dos sistemas eletrônicos na agricultura, onde a parada de um equipamento numa época crítica pode significar a diferença entre o lucro e o prejuízo para todo um ano de trabalho. Isso se deve, a que, com frequência, dispõe-se de uma janela de tempo estreita na qual uma determinada operação deve ser realizada; além disso, em geral a operação envolve organismos vivos, delicados, que facilmente se deterioram ou morrem se as condições para a manutenção da vida não forem satisfeitas, ainda que por pouco tempo. Um outro aspecto a considerar é que, sendo uma tecnologia ainda recente no meio rural, problemas iniciais de confiabilidade podem afetar a imagem dessa tecnologia por anos [52][60].

A confiabilidade em si deve ser buscada com técnicas de projeto adequadas, como: a verificação de projeto, simulação, "derating"; a inclusão de procedimentos de auto-teste e características de tolerância a falhas, recuperação de falhas ou falha segura [13]; além de técnicas de produção adequadas como o uso de componentes confiáveis, e a realização de testes e ensaios de conformidade com normas e padrões que comprovem a aderência às especificações e requisitos.

Tendo-se em conta as dimensões físicas do mercado desse tipo de equipamento, outro aspecto a considerar é a existência de uma estrutura de serviços para atender à demanda por eventuais reparos. Nesse sentido uma observação pertinente é a de que a mesma habilidade do fabricante em projetar e reparar seus sistemas, pode não ser facilmente encontrada nos técnicos das eventuais revendas e representantes espalhados pelos diversos pontos do mercado. Nesses locais, a prática existente diz respeito à manutenção de partes e sistemas hidráulicos e mecânicos; no máximo, elétricos. O universo eletrônico não faz parte do cotidiano desses técnicos [18].

A confiabilidade do equipamento tem um caráter importante na medida em que poderá diminuir a demanda por essa rede de serviços. Entretanto, como as falhas são

inevitáveis, uma estratégia de serviços deve incluir a própria confiabilidade e a manutenibilidade, que devem ser buscadas já no projeto, além de itens como treinamento, disponibilidade de componentes e de assistência, etc.

Estes são aspectos que devem ser cuidadosamente tratados no caso brasileiro, na medida em que as dimensões do mercado são amplas, a implementação da tecnologia pode tender a ser rápida em função da abertura de mercado, mas o desenvolvimento de uma estrutura de serviços, a custo e qualidade compatíveis, não tem solução a curto prazo.

#### **5.4 Sensores**

Os sensores são um dos principais gargalos na automação agrícola. Embora alguns sensores industriais possam ser aplicados na agricultura, a maioria deles tem custos muito elevados, freqüentemente devido à sua alta performance. Por outro lado, o pequeno mercado agrícola não tem justificado o desenvolvimento e a redução de custos pela escala de produção de novos sensores, mais adequados [20][83].

Muitos esforços têm sido feitos na pesquisa por novos sensores, e há boas perspectivas de utilização de novas tecnologias de semicondutores, entre as quais estão os sensores integrados e os sensores íon-específicos, ISFETs ou CHEMFETs, e de sensores com fibras ópticas, entre outros [66]. Entretanto as necessidades do setor estão acima dos resultados possíveis técnica e economicamente no médio prazo [54][77]. A incorporação de inteligência aos sensores, com a distribuição do processamento, é uma outra tendência que se verifica e que tem como vantagens a diminuição dos requisitos de processamento do processador central, a diminuição da cabeção necessária e da degradação dos sinais entre transdutor e circuito condicionador, a possibilidade da padronização da interface de comunicação sensor-processador e a introdução de procedimentos de auto-calibração, auto-teste e armazenamento de dados no próprio sensor [29][38].

#### **5.5 Custos**

A maior parte dos desenvolvimentos havidos no campo da automação agrícola que não obteve sucesso, fracassou por questões mais econômicas do que técnicas [20].

Baixo custo de aquisição e manutenção, curto período de retorno do investimento, além da motivação técnica, são argumentos que devem embasar a estratégia de mercado [52].

A sazonalidade do uso das máquinas agrícolas, seu custo, e o relativamente baixo retorno que o produto agrícola recebe no mercado, restringem a capacidade de investimento do agricultor. A situação brasileira dos últimos anos é particularmente difícil para o setor que, todavia, demanda aumento de produtividade, eficiência e qualidade na produção, o que impulsionará a evolução da automação agrícola.

### 5.6 Comentários Finais

Neste capítulo apresentou-se vários aspectos que são restritivos ao desenvolvimento de sistemas eletrônicos para aplicações agrícolas. Esses aspectos devem ser cuidadosamente considerados nas diversas etapas do projeto, incorporando-os como requisitos do sistema.

Entre esses aspectos convém ressaltar:

- o ambiente hostil das aplicações de campo, segundo vários parâmetros: temperatura, umidade, pó, produtos químicos, vibração e choques, e as flutuações e variações bruscas de tensão para aplicações embarcadas.
- a necessidade de um cuidado especial com a interface do equipamento, tendo em vista o perfil cultural do operador e as condições adversas em que ele realiza seu trabalho do ponto de vista de temperatura, ruído, vibração, esforço físico, etc.
- a necessidade de uma alta confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos em função do risco de perda de toda a produção, da exigüidade do tempo para a realização das operações agrícolas, da dificuldade com a assistência técnica rápida e do risco de comprometer a nova tecnologia.
- a possível inexistência de sensores adequados à aplicação em termos de desempenho e de custo, e a necessidade de seu desenvolvimento.

- o custo global do sistema e a sua relação com o diferencial de produção que ele proporcionará, tendo em vista sua utilização sazonal e o baixo preço dos produtos agrícolas.

## **CAPÍTULO 6**

### **O PROJETO DE UM MONITOR DE SEMEADORA**

## 6 O PROJETO DE UM MONITOR DE SEMEADORA

Com base no exposto nos capítulos precedentes, apresenta-se neste capítulo uma proposta de um equipamento para a monitoração de semeadora. São abordados os requisitos considerados na concepção, a arquitetura do equipamento, características de seu hardware e software, e os testes realizados.

### 6.1 Introdução

A proposta de desenvolvimento de um monitor de semeadoras surgiu do contato com diversas empresas e instituições ligadas à atividade agrícola, que demonstraram interesse na disponibilidade desse tipo de equipamento para a produção e a pesquisa agrícolas. Embora haja equipamentos estrangeiros semelhantes disponíveis no mercado mundial e nacional, a realização de pesquisas nessa área no país tem grande importância, por que não há uma solução definitiva para várias questões relacionadas a esse tipo de aplicação como o sensor, a interface e as funções apresentadas. Isto posto, aliado ao fato de que o meio agrícola é bastante distinto de país para país, e mesmo dentro de grandes nações como o Brasil, tornam a adaptação de sistemas concebidos para outras condições sócio-econômicas e agrônômicas uma tarefa imprescindível, quando não inviável, requerendo um novo projeto.

Qualquer que seja a alternativa, a pesquisa calcada em estudos do ambiente real, do *modus faciendi* local, e em experimentação em campo no próprio ambiente de operação é necessária para a determinação de parâmetros adequados a cada realidade.

O equipamento proposto se destina a esse tipo de pesquisas procurando avaliar procedimentos operacionais, soluções de interface com o operador e o grau de interferência de alguns parâmetros no equipamento nas nossas condições. É muito importante ressaltar que embora a utilidade do monitor como produto acabado possa ser mais evidente no nível de produção, sua utilização como apoio para a pesquisa na produção agrícola e para a pesquisa e testes das máquinas agrícolas é também extremamente relevante.

A metodologia utilizada para o seu desenvolvimento seguiu o modelo sugerido por SOARES [73] e adotado por CUGNASCA [24]. Esse modelo propõe a identificação

do problema existente (problema real) e sua apreensão com vistas ao seu modelamento, trazendo o problema do plano da realidade para o plano do pensamento (modelamento do problema). A partir desse modelo, procede-se à concepção de um modelo da solução; a realização deste traz para o plano da realidade a solução para o problema inicial. A figura 6.1 ilustra o exposto.

Nesse processo de obtenção de uma solução para o problema de um usuário, a cada modelamento da solução tem-se a geração de uma demanda que se constitui num novo problema, a ser resolvido por quem vai desenvolver o sistema. Essa decomposição do problema em novos e menores problemas, proporciona a obtenção de modelos de maior facilidade de implementação, conforme ilustra a figura 6.2.

Por outro lado, não raramente a solução obtida poderá resultar em transformações ou redefinições no próprio problema inicial, dando origem a uma nova demanda. O resultado desse processo é uma espiral evolucionária, em que sucessivos aprimoramentos da solução são obtidos até que se atinja um ponto que satisfaça às necessidades do usuário. No desenvolvimento de sistemas de médio e pequeno porte, é muito freqüente a adoção de um ciclo de vida dinâmico de desenvolvimento, o qual envolve a prototipação [24], ou seja, a implementação de protótipos para a obtenção de dados complementares e para a verificação de hipóteses. Esse modelo é particularmente interessante em áreas novas de aplicação, como é o caso da agricultura, em que a potencialidade dos sistemas e os requisitos e dificuldades não estão adequadamente definidos pelo usuário e pelo fornecedor. É razoável supor, nesses casos, que:

"O conjunto completo de especificações essenciais de um sistema não será descoberto até que o usuário tenha a oportunidade de experimentá-lo" [17].

Nesse processo de análise do problema e de busca de soluções, várias reuniões com profissionais mais estreitamente ligados à atividade agrícola foram realizadas, com o intuito de, constituindo uma equipe multidisciplinar, poder melhor abordar as várias facetas desse problema. Como resultado dessa análise vários requisitos foram levantados, muitos dos quais já foram direta ou indiretamente citados ao longo do texto, e que são agora resumidos no próximo item.



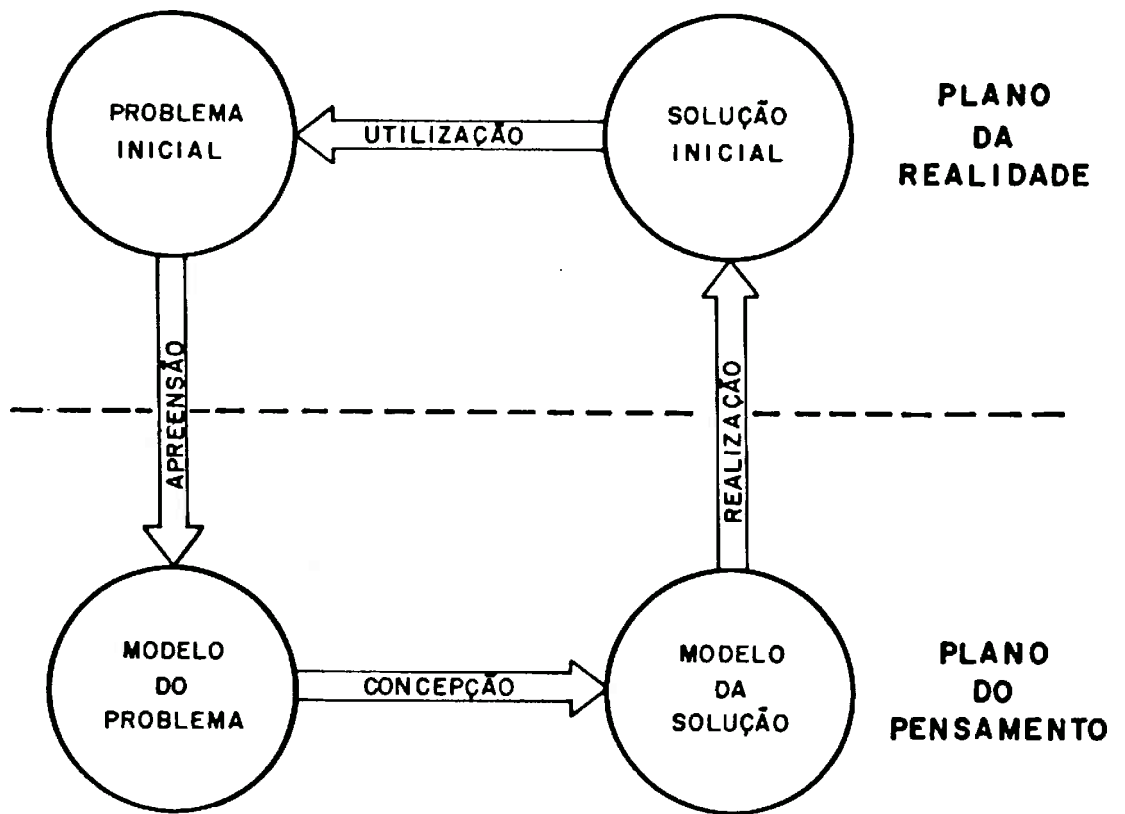


FIGURA 6.1 - REPRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

FONTE : CUGNASCA [24]

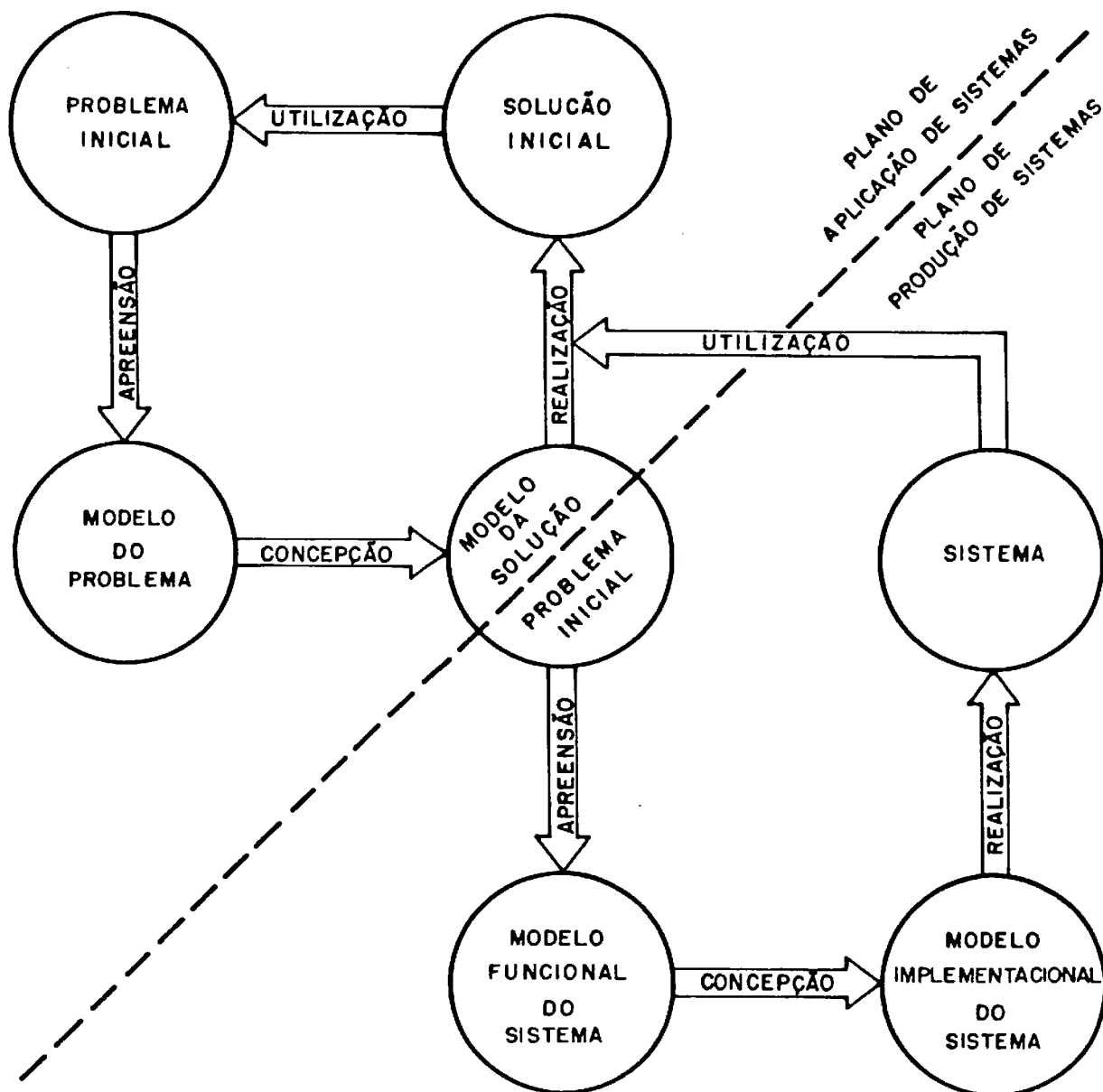


FIGURA 6.2 - CARÁTER DUPLO DO MODELO DA SOLUÇÃO  
 FONTE : CUGNASCA [24]

## 6.2 Requisitos do monitor de semeadora

Os principais requisitos funcionais levantados para o monitor são:

- coleta de dados de sensores de grandezas digitais, instalados na máquina, e apresentação de informações indicativas das condições de semeadura.
- possibilidade de programação da configuração da máquina segundo as características da produção e das máquinas agrícolas brasileiras.

Os principais requisitos operacionais são:

- interface homem-máquina específica para a aplicação, utilizando a simbologia e representações usuais ao operador.
- ergonomia e funcionalidade da interface compatíveis com o ambiente de operação.
- incorporação, tanto quanto possível, na programação e operação do equipamento de procedimentos usuais ao operador na sua prática convencional com a semeadora.
- reforço nas sinalizações de falhas e alarmes, com o uso de múltiplos recursos.

Os principais requisitos técnicos são:

- adequação ao ambiente operacional, considerando seus aspectos atmosféricos, químicos, mecânicos e elétricos.
- confiabilidade e disponibilidade, utilizando práticas de projeto voltadas para a obtenção dessas características.
- expansibilidade, flexibilidade e modularidade de modo que o equipamento possa comportar alterações em sua configuração a custos proporcionais, permitindo a inclusão de novas funções. Como um dos objetivos propostos é a obtenção de dados para futuros aprimoramentos, essas características são especialmente importantes.
- baixo consumo.
- manutenção da programação mesmo após o desligamento.

- adequação à aplicação em tempo real, apresentando tempo de resposta e taxa de transferência de dados do processo compatíveis com as necessidades [24].
- adaptação aos diversos tipos de sementes, e demais parâmetros relevantes passíveis de serem utilizados com o equipamento, sem perda de precisão ou funcionalidade.
- facilidade de manutenção: a inclusão de recursos como auto-teste e diagnóstico, sinalização de defeitos e modularidade construtiva são características desejáveis.

Os principais requisitos econômicos são:

- utilizar tecnologia e componentes comercialmente disponíveis e de custo compatível com a aplicação e o retorno esperado.
- ao desenvolver componentes não disponíveis, ter em vista além do aspecto técnico, o fator custo no projeto global.

Com base nesses requisitos foi concebido o equipamento que será descrito nos itens seguintes. Procurou-se incorporar, já num primeiro protótipo, as características mais relevantes levantadas, optando-se por uma prototipação mais rápida, que pudesse, através da realização de testes e da sua avaliação, fornecer subsídios para uma continuidade do projeto numa dimensão e com objetivos mais abrangentes.

Nos próximos itens são descritas as funções do sistema, as quais orientaram a definição da sua arquitetura e do seu hardware e software.

### **6.3 Descrição funcional**

O Monitor de Semeadora destina-se a fornecer dados ao operador sobre as condições de trabalho do conjunto trator-semeadora, possibilitando a imediata correção de eventuais falhas. Dessa forma evita-se que estas só sejam detectadas após a germinação, o que provocaria queda na produtividade ou necessidade de replantio.

O equipamento desenvolvido é basicamente um sistema de aquisição de dados dedicado, que efetua a coleta de dados de alguns dos principais parâmetros da semeadura, e os apresenta, após o processamento, ao operador do trator. Assim sendo, o equipamento não efetua o controle em malha fechada da operação,

principalmente pela inviabilidade dessa atuação nos dispositivos mecânicos atualmente em uso nas semeadoras; o controle da operação é feito pelo operador, apoiado nas informações apresentadas pelo monitor.

### **6.3.1 Principais características**

Do ponto de vista funcional, as características do Monitor podem ser divididas em aquisição de dados, que é a sua interface com a máquina, e apresentação de dados e informações, a sua interface com o operador, apresentadas a seguir:

Aquisição de dados:

- de fluxo de sementes em cada tubo condutor, das diversas linhas de semeadura, individualmente.
- de velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora.
- do estado operacional da semeadora: em operação ou em transporte.
- do número de sensores de fluxo de sementes instalados.
- da configuração da semeadora.

Apresentação:

- da taxa de semeadura instantânea da semeadora, calculada como média das diversas linhas.
- da população de sementes instantânea, calculada também como média das diversas linhas.
- da taxa de semeadura de cada linha isoladamente, toda vez que a linha encontrar-se em condição de falha, definida como sendo uma alteração percentual em relação à taxa desejada, indicando uma condição de alarme.
- da velocidade de deslocamento da semeadora.
- da capacidade de campo efetiva instantânea.

- da área trabalhada acumulada.
- de sinalização de situações de alarme em caso de falha na dosagem das sementes.
- de sinalização de alarme em caso de falha do equipamento.
- dos dados de configuração da semeadora.

### **6.3.2 Recursos de interface com o operador**

A interface com o operador é um aspecto de grande importância no projeto de equipamentos para a agricultura, conforme já foi abordado no item 5.2.

A interface do monitor adota um display de cristal líquido para a apresentação das principais informações ao operador, além de utilizar também indicações luminosas para estados e alarmes. A facilidade de identificação visual do estado de variáveis com LEDs, em adição à indicação de mensagens no display, reforça a interface num ambiente dispersivo como é o do posto do operador.

Finalmente, a sinalização sonora adicional indica situações de alarme e transições para estados que requeiram a atenção do operador. A utilização de diferentes durações do sinal sonoro, e diferentes seqüências de som e pausa, possibilitam um método interessante de atrair a atenção do operador, sem incorrer na simples adição de um ruído a mais no já ruidoso posto do tratorista.

Completa a interface um teclado constituído por poucas teclas funcionais e de entrada de dados. As teclas de seleção de função, utilizadas na operação do equipamento ocupam a porção central do teclado, de maneira a facilitar a sua localização e acesso pelo operador; as teclas de programação são dispostas na periferia do teclado.

Procurou-se dessa forma projetar uma interface simples, adequada ao ambiente e compatível com o padrão dos operadores previstos para o equipamento: um operador de nível mais baixo que efetivamente operará a máquina e o monitor, e um operador de nível médio que fará a sua programação.

## **6.4 Descrição do hardware**

### **6.4.1 Arquitetura**

A arquitetura do monitor de semeadoras é apresentada de maneira esquemática na figura 6.3.

Baseia-se numa unidade microprocessada que interfaceia de um lado com os sensores, o elo do equipamento com a semeadora, e de outro lado com o operador. A compacidade e simplicidade conseguidas são possíveis graças à utilização de um microcontrolador como CPU do equipamento. A opção por essa arquitetura foi feita em função de suas características técnicas adequadas, a baixo custo, e pela possibilidade de uma mais rápida prototipação, com o objetivo de levantar dados sobre a operação do equipamento.

O microcontrolador é o componente chave do equipamento [61]. Às suas vias de dados e endereços estão conectadas a memória de programa e a memória adicional de dados (uma vez que a memória interna do microcontrolador não é suficiente para este tipo de aplicação); também mapeados em memória estão parte da interface do operador (o display), e o grupo de sensores de fluxo de sementes, limitado neste protótipo a 16 unidades. As portas de entrada e saída do microcontrolador são utilizadas para acomodar os sinais restantes: o teclado, o alarme sonoro e os sensores de velocidade e de operação/transporte da semeadora.

Do ponto de vista físico, o sistema do microcontrolador e a interface com o operador estão montados num mesmo empacotamento, o qual será acoplado ao trator, acima do painel de instrumentos. Os sensores em sua maioria estão localizados na semeadora, conforme detalhamento a seguir.

### **6.4.2. Descrição dos módulos**

#### **6.4.2.1 Microcontrolador**

O microcontrolador utilizado é o 80C31BH, da Intel Co.[39][40][72], um microcontrolador de 8 bits construído com tecnologia CHMOS, o que lhe confere

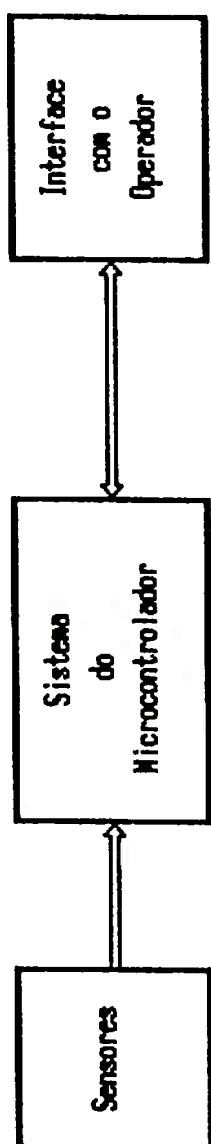


Figura 6.3.a - Diagrama de blocos simplificado do Monitor



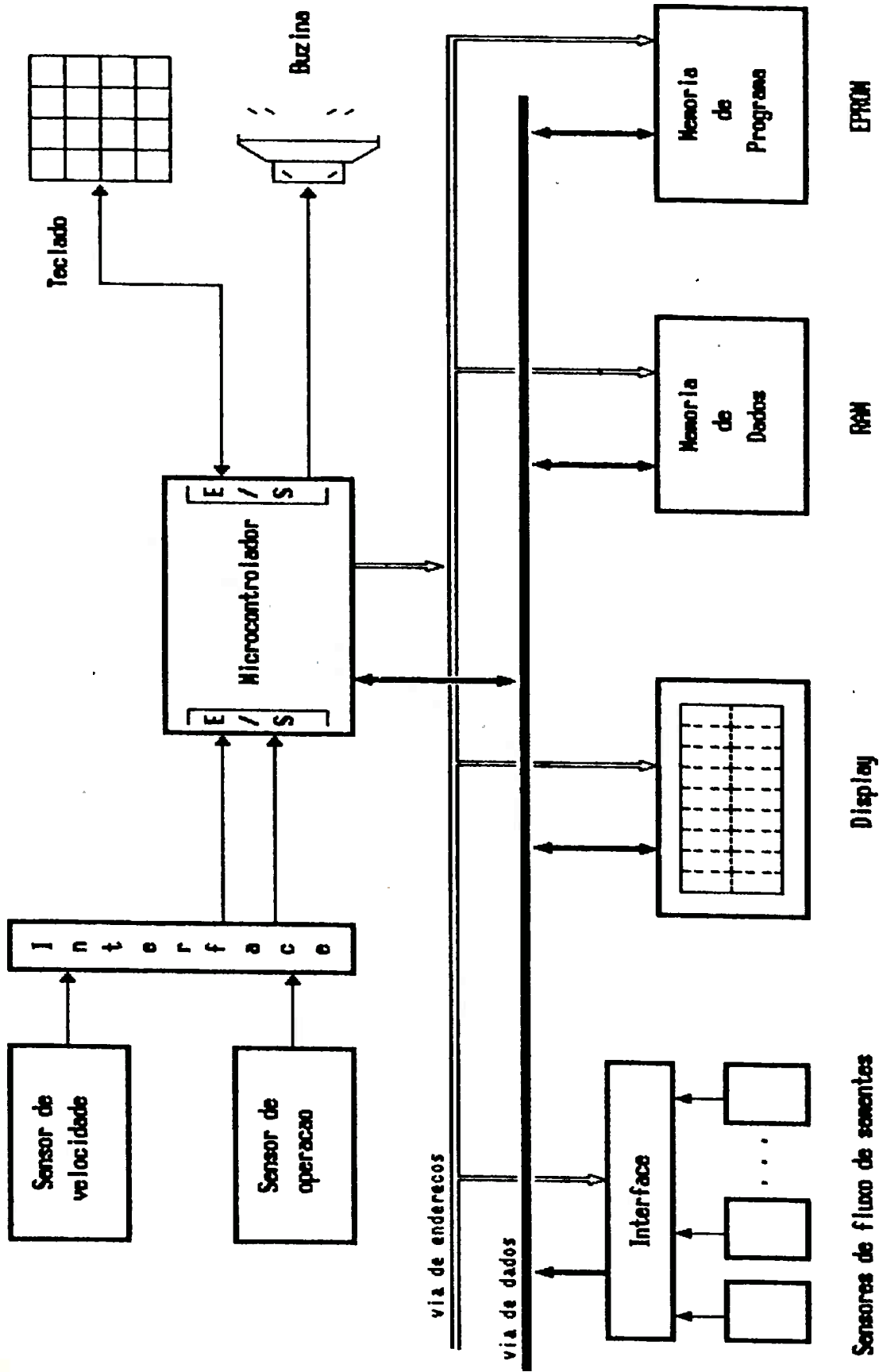


Figura 6.3.b - Arquitetura do Monitor de Semeadora

baixo consumo em operação normal e ainda consumo extremamente reduzido em modos especiais ("power down" e "idle").

Seus "timers/counters" internos são utilizados para a geração de base de tempo e para a interface com o sensor de velocidade. A CPU trabalha a uma frequência de 11 MHz, com um cristal externo. A capacidade de expansão das funções está prevista pela disponibilidade de entradas e saídas não utilizadas.

#### **6.4.2.2 Display de cristal líquido**

O display de cristal líquido utilizado apresenta uma grande facilidade de interfaceamento com CPUs de palavras de 8 bits. É um modelo inteligente, com controle próprio do mostrador e porta-se como um periférico de escrita e leitura para a CPU. Algumas de suas características do modo de operação, são programáveis o que oferece uma boa flexibilidade de utilização [01].

Possui geração interna de caracteres, e permite a definição de caracteres especiais como vogais acentuadas e cê-cedilha, necessários para a língua portuguesa. O display utilizado é de 2 linhas x 20 caracteres, matricial, com caracteres de 8 x 5 pontos, e altura de 5,5 mm, o que permite boa visibilidade nas condições usuais de luminosidade e de distância até o operador (menor que 1 metro). A boa definição e contraste do display em condições de iluminação ambiente diurna pode ser estendida para operação na penumbra e noturna com a adoção de iluminação posterior através de painel eletroluminescente, o que, entretanto, não foi adotado neste primeiro protótipo.

O seu baixíssimo consumo, reduzidas dimensões e boas características de visibilidade tornam-no um componente extremamente adequado a aplicações como a deste trabalho.

#### **6.4.2.3 LEDs e buzina**

Um conjunto de LEDs e uma buzina ligados às portas do microcontrolador são também utilizados para a sinalização de eventos.

#### **6.4.2.4 Teclado**

Um teclado matricial de 16 teclas foi implementado e interligado à porta 1 do microcontrolador. Ele é recoberto por uma membrana com a gravação das funções das teclas. A figura 6.4 apresenta uma ilustração do teclado.

#### **6.4.2.5 Sensor de velocidade**

O sensor de velocidade provê um sinal digital de frequência proporcional à velocidade de deslocamento.

Adotou-se um sensor indutivo como opção para a implementação, tomando-se o cuidado de manter a compatibilidade do equipamento para a futura adoção de sensores Doppler, por exemplo, os mais precisos e mais caros. O local de instalação deste tipo de sensor pode variar para cada modelo de semeadora, em função do tipo de tração e de acionamento adotado. A primeira alternativa é a instalação no suporte do eixo da própria roda motriz, cujos ressaltos metálicos serão detectados pelo sensor. Ressaltos adicionais podem ser introduzidos para aumentar a precisão da medida, até o limite da sensibilidade e da resolução do sensor.

#### **6.4.2.6 Sensor de fluxo de sementes**

Sensores "de prateleira" para detecção de fluxo de material granular, adequados para o uso no monitor, não estão disponíveis. Optou-se, então, pelo desenvolvimento de um sensor óptico, em função de seu custo mais baixo, a princípio, e para avaliar sua sensibilidade a parâmetros como o tamanho das sementes e a velocidade de passagem.

Os dispositivos utilizados foram pares fototransistor - diodo emissor de luz, este operando na faixa do infravermelho próximo (IRED - infra-red emitting diode) para um melhor casamento das características espectrais. Pares especialmente casados estão disponíveis no mercado.

O sensor implementado consiste em um único IRED como fonte de luz, colocado numa das laterais do tubo condutor, e diversos fototransistores colocados em oposição àquela fonte, e dispostos segundo um arco de circunferência com centro no próprio IRED, de maneira a otimizar o acoplamento. O número de IREDs necessários

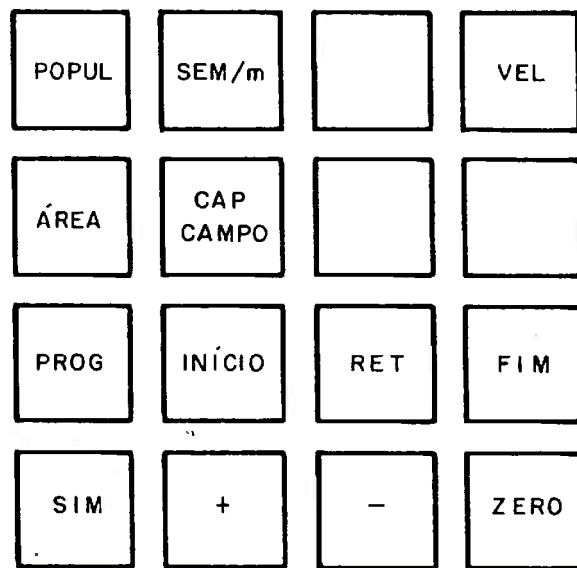


FIGURA 6.4 - TECLADO

depende do diâmetro do tubo. Os componentes utilizados foram o IRED PSUS3400 e os fototransistores BPW42 [62] e TIL78 [76]. A figura 6.5 ilustra esquematicamente a geometria do sensor.

O conjunto foi montado utilizando como base um cilindro de nylon preto, onde foi feito um orifício de mesmo diâmetro de um tubo de semeadora típico, que se encaixa nas duas extremidades do orifício. Nas laterais do cilindro foram inseridos os componentes eletrônicos. A figura 6.6 apresenta uma foto do sensor implementado, ainda sem um acabamento final externo.

Do ponto de vista elétrico, o sinal proveniente de cada detector recebe um tratamento para regeneração dos níveis e obtenção de um sinal único, resultante de todos os detectores, após o que esse sinal é filtrado. A figura 6.7 apresenta um diagrama em blocos do circuito do sensor.

#### **6.4.2.7 Sensor de operação/transporte da semeadora**

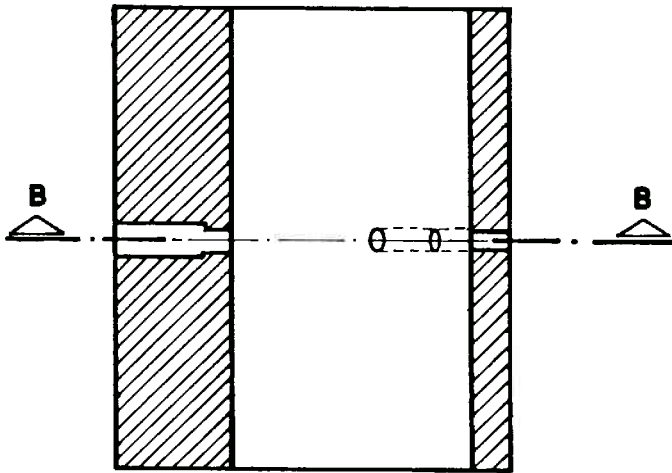
Este sensor é basicamente um sensor de estado ON-OFF que deve ser escolhido em função da maior facilidade de sua instalação na máquina, dependendo do tipo de acoplamento ao trator. Nos testes em laboratório o sensor foi simulado com um sinal digital, o qual é compatível com sinais de um sensor indutivo, uma chave tipo fim-de-curso, uma cápsula de mercúrio, etc., os quais, em geral não apresentam dificuldade de interface com circuitos digitais operando com níveis TTL.

### **6.5 Descrição do software**

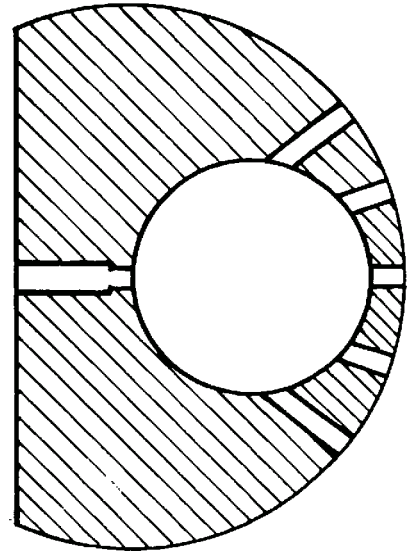
#### **6.5.1 Introdução**

O software do Monitor de Semeadora opera em tempo real, por isso, apresenta como premissa básica a manutenção do sistema sempre apto a interagir com o processo, efetuando aquisição de dados e atualizações do display com um mínimo de atraso em relação aos instantes ideais para a realização de tais tarefas, fornecendo as respostas aos eventos em intervalos de tempo compatíveis com os fenômenos considerados [22][23].

CORTE AA



CORTE BB



VISTA SUPERIOR

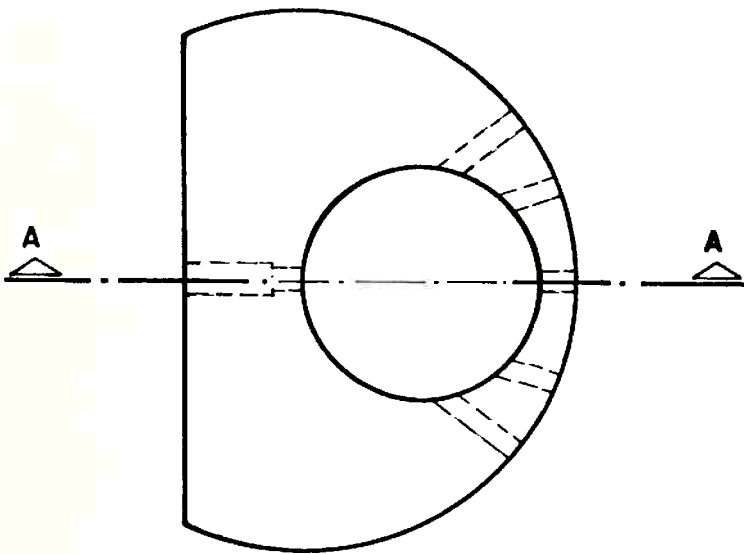


FIGURA 6.5 - SENSOR DE FLUXO DE SEMENTES - GEOMETRIA

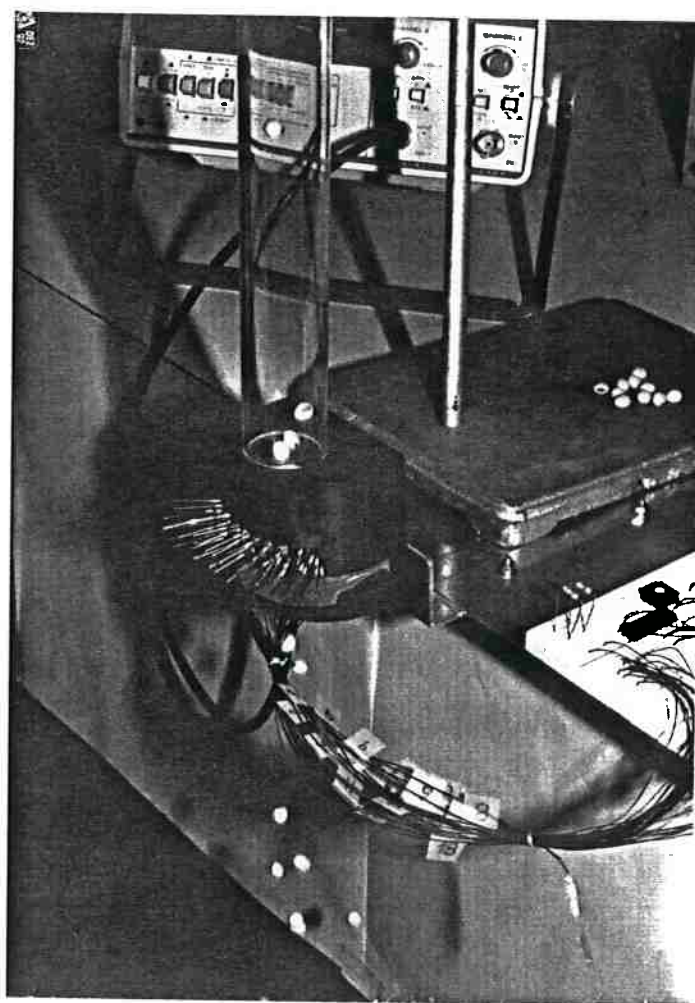
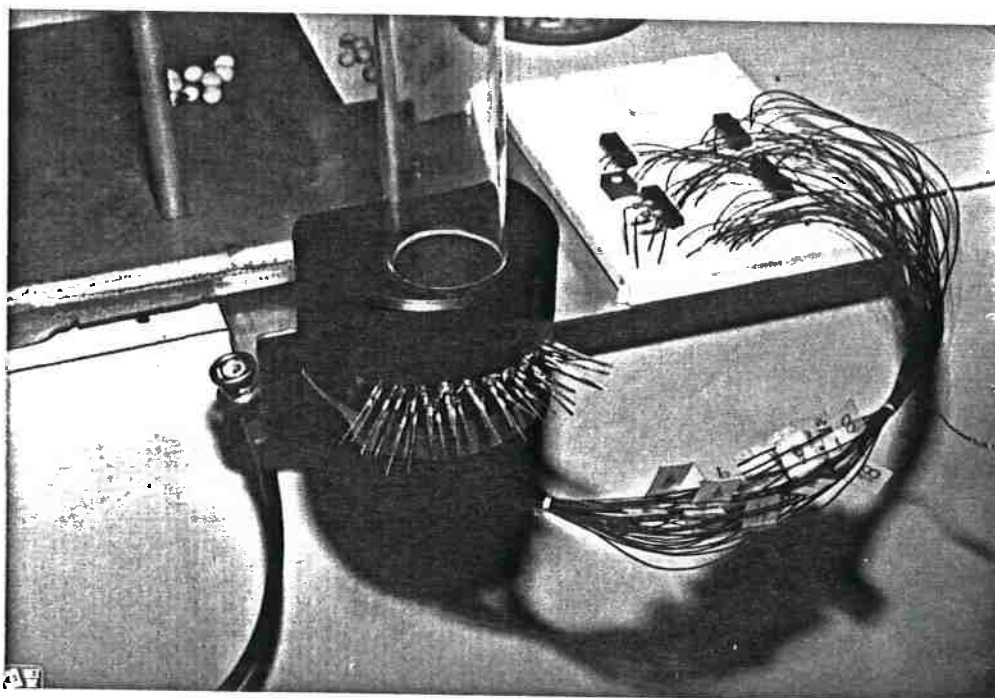


Figura 6.6 - Fotografias do sensor de fluxo de sementes

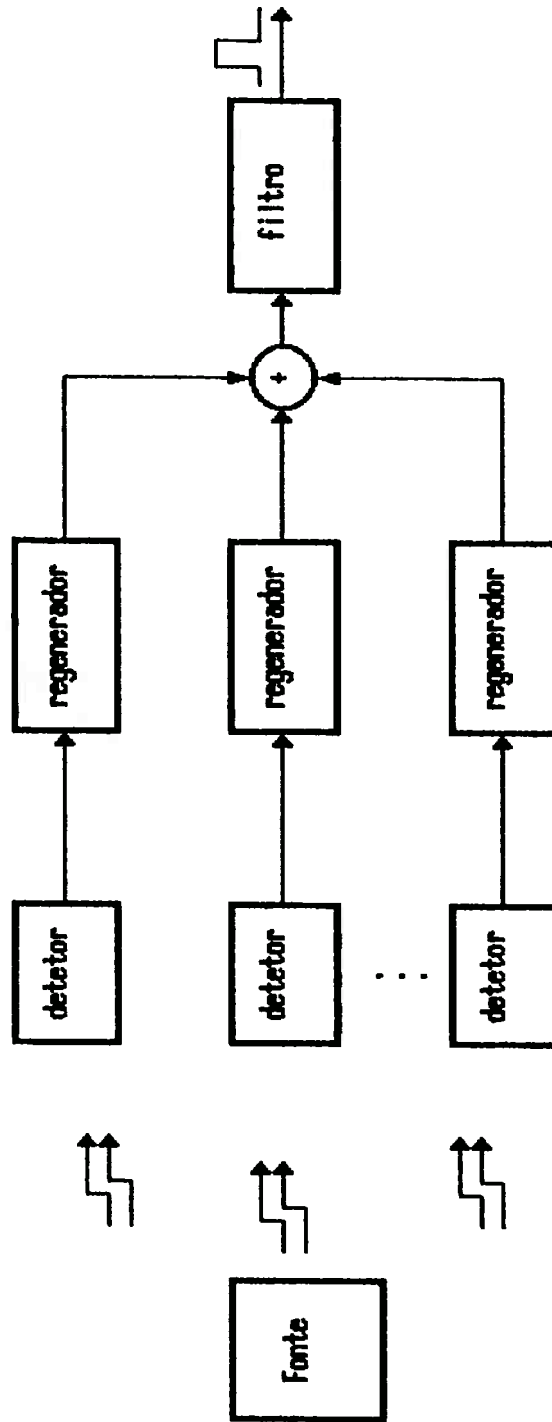


Figura 6.7 - Diagrama de blocos do sensor de fluxo de sementes



O desenvolvimento de software de uma maneira geral e particularmente de software com requisitos de tempo real, vem merecendo mais atenção pelo peso crescente que representa no custo final do sistema. A adoção de metodologias adequadas à natureza do problema pode reduzir as etapas de implementação e utilização experimental, que inclui a operação e a manutenção do software, privilegiando a etapa inicial de concepção. Como resultado, o custo total de desenvolvimento é menor, e ganha-se em aspectos importantes como modularidade, flexibilidade, confiabilidade e aderência às especificações.

As técnicas de projeto de software orientadas ao fluxo de dados são mais adequadas para aplicações em tempo real, por evidenciarem os fluxos de entrada e de saída, de forma a facilitar a identificação das transformações efetuáveis por tarefas ("tasks"). Essas tarefas são associadas às funções ou eventos de natureza assíncrona, as quais devem ser identificadas no processo, pois a sua existência afeta a concepção da arquitetura do software [73].

A adoção de técnicas de análise estruturada para a especificação funcional do sistema e do software é recomendável por que permite a correta identificação desses fluxos previstos. A técnica adotada, o diagrama de fluxo de dados, utiliza linguagem figurativa simples, possibilitando a abstração de aspectos implementacionais e a decomposição do problema em níveis de refinamento sucessivos. A análise das funções resultantes e dos fluxos de dados entre elas, permite delimitar as tarefas, que poderão ser a implementação de uma única função ou de várias delas, dependendo de parâmetros como a execução periódica de funções, a coesão temporal ou funcional, a dependência de entradas e saídas, etc.

### **6.5.2 A operação**

O conjunto de funções obtido desse tipo de análise do processo é o identificado no item 6.3.1, e do ponto de vista operacional pode ser dividido em três modos: um modo de programação, um modo de operação, propriamente dito, e um modo de verificação da programação, além de um procedimento de auto-teste e inicialização, conforme a figura 6.8.

No Modo de Verificação de programação é apresentada ao operador a programação armazenada no equipamento desde a última operação. Com base nessa verificação o

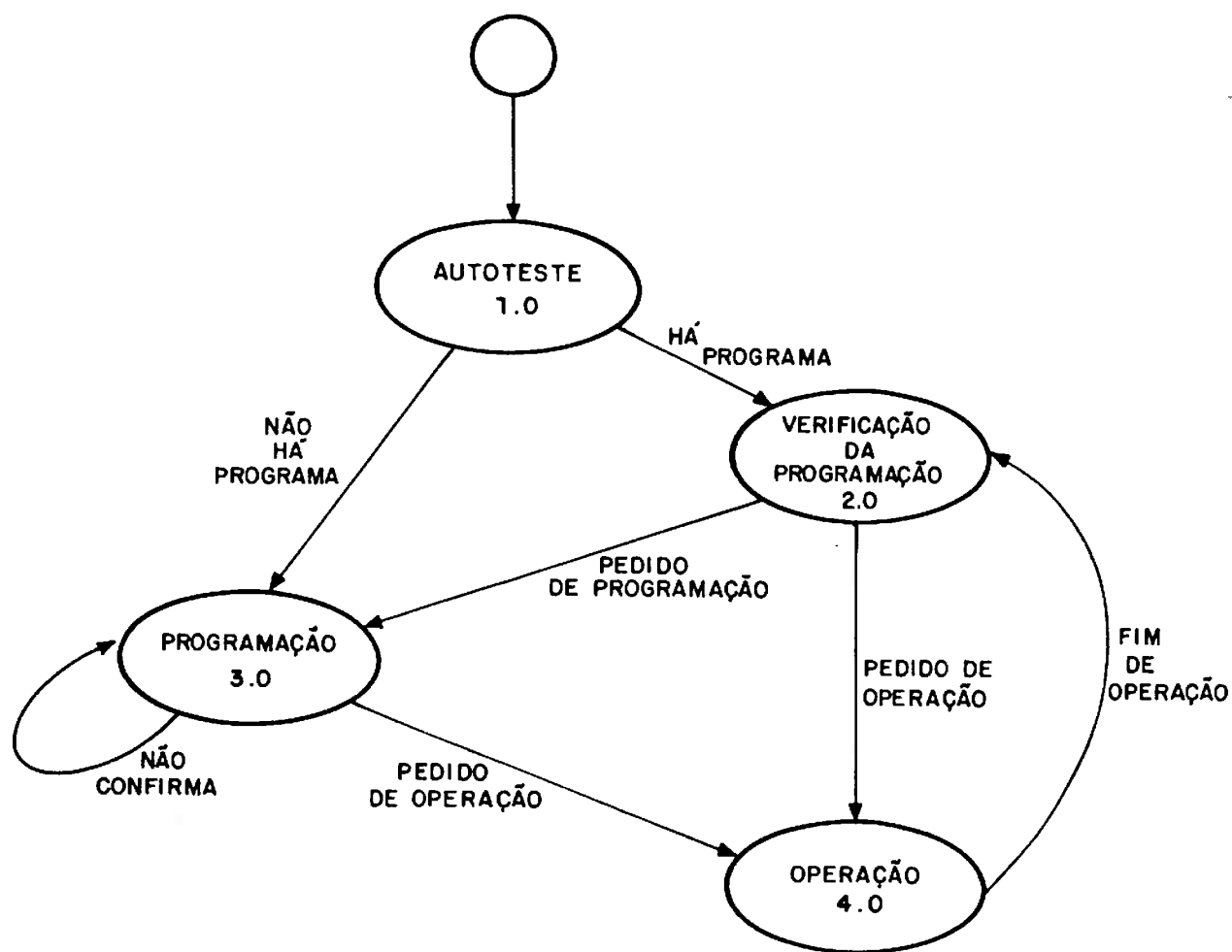


FIGURA 6.8 - DIAGRAMA DO SOFTWARE DO MONITOR DE SEMEADORA. MÓDULOS BÁSICOS E SUA INTERLIGAÇÃO

operador pode solicitar a alteração desses dados, optando por passar para o modo Programação, ou manter os dados e passar diretamente para o modo Operação, para realizar a semeadura monitorada.

No Modo de Programação é feita a configuração do Monitor de acordo com as características da semeadura a ser realizada; o que inclui a definição dos seguintes dados:

- número de linhas da semeadora.
- espaçamento entre as linhas.
- valor inicial da área.
- taxa de semeadura desejada ou população de sementes desejada, de acordo com as regulagens feitas na semeadora.
- diâmetro efetivo da roda de acionamento da semeadora, em condições de campo.

As três primeiras variáveis são limitadas em sua faixa de excursão aos valores: número de linhas máximo de 16, espaçamento entre 25 e 200 cm e área máxima 999 hectares. A programação dos valores é feita com duas teclas: uma para incremento outra para decremento, que foram implementadas com incremento/decremento automático caso a tecla seja retida pelo operador por certo tempo, com velocidade crescente em função do tempo de retenção da tecla. Dessa forma a varredura de toda a faixa de valores pode ser feita rapidamente.

A programação da taxa de semeadura desejada (que pode também ser expressa em população de sementes), e do diâmetro efetivo da roda de terra (onde está localizado o sensor de velocidade), são feitas com um só procedimento que segue a rotina usual de regulagem da semeadora. Segundo essa rotina o operador, após a seleção das engrenagens da máquina e do teste no galpão, deve realizar a verificação no campo da quantidade de sementes liberada numa determinada distância. Esse procedimento em campo deverá ser feito com o auxílio do Monitor, que fará a contagem das sementes ao longo de um deslocamento de 50m, previamente delimitado no terreno. Findo o trajeto, a taxa de semeadura no percurso é calculada e informada ao operador,

tornando desnecessária a contagem das sementes manualmente, ao mesmo tempo em que programa o equipamento com o valor calculado.

Simultaneamente à programação da taxa de semeadura, o diâmetro efetivo da roda de terra é também programado, porém de modo transparente para o operador, pela contagem do deslocamento fornecido pelo sensor de velocidade no percurso conhecido. O operador deve informar ao Monitor o instante do início e do fim desse percurso, para a programação. O processo pode ser repetido, se necessário, e somente após a confirmação dos valores o procedimento se encerra, passando então para o Modo de Operação.

No Modo de Operação do equipamento, utilizado com a semeadura em curso, o operador se depara com duas situações básicas: falhas na semeadura e operação normal. Durante a operação normal o display apresenta continuamente o valor da função escolhida pelo operador entre taxa de semeadura (em sementes/metro), população de sementes (em sementes/hectare), ambas como médias das linhas monitoradas, ou ainda, velocidade de deslocamento (quilômetros/hora), área trabalhada (hectares) e capacidade de campo (hectares/hora). Nessa condição o operador pode, a qualquer instante, solicitar a mudança da função apresentada. Em caso de falha o Monitor automaticamente muda para uma tela especial de alarmes, na qual as linhas com falhas são apresentadas juntamente com o valor da taxa individual da linha. Para o retorno à condição normal, o operador deve reconhecer os alarmes das linhas em condição de falha, o que provocará a volta à tela da função anterior ao alarme.

No display podem ser exibidos três tipos de informação, conforme a situação: o valor de uma variável solicitada pelo operador, dentre as diversas funções disponíveis; mensagens indicativas de condições ou situações de interesse para o operador, sugerindo a atitude a tomar; o elenco de teclas válidas numa certa situação, sugerindo as opções de continuidade ou interrupção de um determinado estado ou procedimento. Procurou-se, dessa forma, facilitar a ação do operador, dirigindo suas ações e minimizando a necessidade de memorização de passos, mesmo no modo de programação. A adoção de um display de duas linhas de caracteres possibilita a apresentação dessas informações simultaneamente, quando necessário. Adotou-se a linha inferior como uma espécie de linha de menu de opções em várias situações. O apêndice A apresenta exemplos de telas dos diversos modos de operação.

Além da sinalização do display, os LEDs no painel do equipamento indicam estado de variáveis como alimentação (ligada/desligada), taxa de semeadura (alarme/normal), e estado da semeadora (em transporte/em operação). A buzina utilizada para indicar condições de alarme ou mudanças de estado, apresenta diferentes sons para as várias situações em que é acionada.

### 6.5.3 Implementação

Na implementação do software procurou-se manter as características de modularidade e estruturação, facilitadas pelo uso das técnicas anteriormente mencionadas, visando futuros aprimoramentos, utilizando-se para isso uma linguagem de alto nível, estruturada. Ao mesmo tempo, a necessidade de otimizar o código visando sua instalação em memória do tipo EPROM, demanda a utilização de uma linguagem e de um compilador bem casados com o processador. Em função desses requisitos, optou-se pela utilização da linguagem PL/M 51 da Intel Co. [41][22], casada com os recursos e com a arquitetura da família de microcontroladores 8051 da mesma empresa, da qual faz parte o 80C31BH, utilizado no equipamento.

Em função da simplicidade do hardware básico foi aperfeiçoada uma ferramenta de desenvolvimento de programas que utiliza a disponibilidade de um canal serial no microcontrolador para a carga de programas editados e compilados em um microcomputador, diretamente na memória RAM do protótipo, facilitando os procedimentos de teste e depuração. Esse programa monitor, oferece as seguintes funções:

- carga de programas em formato HEX (Intel), diretamente via canal serial, utilizando protocolo EIA RS-232C.
- a visualização do conteúdo dos registradores do microcontrolador.
- a visualização do conteúdo de memória.
- a alteração do conteúdo da memória de dados.
- o teste da memória de dados.

- o acesso ao display de cristal líquido. Apesar de mapeado em memória, as características operacionais do componente exigem um tratamento diferente para acessá-lo.

A figura 6.9 apresenta algumas reproduções das telas do programa monitor.

Esta ferramenta pode ser utilizada em outras aplicações, uma vez que o hardware proposto é bastante flexível e pode ser adaptado para outras finalidades.

Do mesmo modo o software do Monitor de Semeadora implementado possui grande modularidade, tendo sido gerados quatro módulos básicos correspondentes aos modos de operação identificados na figura 6.8, os quais são compostos de rotinas básicas para a execução das diferentes tarefas e funções. Desta forma, esses módulos e rotinas podem ser reaproveitados para aplicações semelhantes e, principalmente, oferecem uma grande flexibilidade ao sistema, permitindo a alteração e a incorporação de novas funções em desenvolvimentos futuros. O código gerado pelo programa resultou num arquivo de aproximadamente 25 Kbytes.

## 6.6 Testes

Foram realizados testes em laboratório com o sensor visando verificar sua sensibilidade a parâmetros como o nível de filtragem e a simultaneidade na passagem das sementes. Os testes iniciais envolveram a determinação da contagem dos pulsos gerados pelo sensor por uma jiga de testes e por um equipamento tipo freqüencímetro/contador. Foram realizados ensaios com a alimentação de sementes de soja individualmente através do sensor; nessas condições, a precisão obtida foi de 98%; pôde-se observar a influência das características do filtro na precisão do sensor. Para a realização de testes dinâmicos em condições de campo, há a necessidade de uma versão mais robusta do sensor, a qual será implementada na continuidade dos trabalhos.

Os testes básicos de hardware e software foram realizados em paralelo, ao longo do próprio desenvolvimento do equipamento, utilizando-se as ferramentas de teste criadas para esse fim, já descritas anteriormente.

```
>
** Laboratorio de Automacao Agricola - EPUSP **
** MONITOR-51 **
```

```
>
Help: DM - Display Memoria
      DR - Display Registradores
      G  - Executa
      L  - Le e Carrega Arquivo HEX
      M  - Modifica Memoria (sem ler)
      S  - Substitui Memoria (le e modifica)
      T  - Teste de RAM
```

```
>
>Display Memoria 8000
      0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C  D  E  F
8000: FF 22 FF 90 C0 8C 74 01 F0 90 C0 8C E0 D3 95 10
8010: 50 0F 75 34 20 12 92 90 90 C0 8C E0 24 01 F0 50
8020: E8 22 90 C0 8D E4 F0 90 C0 8D E0 FE E5 12 14 C3
8030: 9E 40 30 90 C0 8D E0 85 10 83 85 11 82 12 A2 32
8040: E4 93 B4 FF 01 22 90 C0 8D E0 85 10 83 85 11 82
8050: 12 A2 32 E4 93 F5 34 12 92 90 90 C0 8D E0 24 01
8060: F0 50 C4 22 90 C0 8E E4 F0 90 C0 8E E0 FE E5 12
8070: 14 C3 9E 40 2E 90 C0 8E E0 85 10 83 85 11 82 12
8080: A2 32 E0 84 FF 01 22 90 C0 8E E0 85 10 83 85 11
8090: 82 12 A2 32 E0 F5 34 12 92 90 90 C0 8E E0 24 01
80A0: F0 50 C6 22 85 13 33 85 14 34 12 92 EA AE 15 AF
80B0: 16 8E 10 8F 11 85 17 12 11 22 22 90 C0 8F E4 F0
80C0: 90 C0 8F E0 D3 94 09 50 16 90 C0 8F E0 90 C0 92
80D0: 12 A2 32 74 20 F0 90 C0 8F E0 24 01 F0 50 E1 E5
80E0: 12 25 13 90 C0 90 F0 E5 12 D3 94 03 40 06 90 C0
80F0: 90 E0 04 F0 E5 13 60 06 90 C0 90 E0 04 F0 90 C0
```

```
>
>Display Registrador
      0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  A  B  C  D  E  F
00: 10 01 00 22 81 FF FF FF 52 02 77 00 96 00 CC EE
10: C8 CC 8C CC C8 CE CC EE C8 CC 8C 8C CC EE CE CC
20: 8C CC CC CC CC EE CC EC 88 BE 8C C8 88 EC C8 CC
30: C8 CC EC CC 88 CC CE EE 88 CC 88 C8 8E CC C1 CC
40: 88 CC 88 DE CC EC CC CF 8C C8 C8 04 80 CC CC AC
50: CC CC 88 CC CC EE C8 EC C8 CC 8C 8C CC EE CE CD
60: C8 88 8C EC 8C 8C 8C EE 8C CC C8 CC CC CC 88 CC
70: FF 4C 48 CC 8C CE CC CE 8C 0E 40 4E 8C 2A BA C3
```

FIGURA 6.9a - EXEMPLOS DE TELAS DO PROGRAMA MONITOR.  
MEM , DISPLAY MEMÓRIA , DISPLAY REGISTRADOR

```
>
>Leitura HEX
                                Sending file D:TESTE.HEX

Endereco Inicial = A238
>

>
>Executa:   Endereco: A238

>
>Modifica Memoria:   Endereco: 9000
                    9000-02 9001-00 9002-00 9003- 9004- 9005-
>

>
>Substitui: Endereco: A000
            AE-02 3F-00 AF-00 40- 85- 38- 83-
>

>
>Teste de RAM:           Endereco Inicial - 4000
Erro na posicao 4000
Valor esperado = A5
Valor lido = FF

>
>Teste de RAM:           Endereco Inicial - 8000
Teste de RAM Completado - Posicao final = FFFF
```

FIGURA 6.9b - EXEMPLOS DE TELAS DO PROGRAMA MONITOR.  
LÊ ARQUIVO HEX, EXECUTA, MODIFICA MEMÓRIA, SUBSTITUI  
DADO, TESTE DE RAM



Os testes finais do protótipo em laboratório enfocaram os aspectos funcional e operacional do equipamento, dando ênfase à verificação da consistência da implementação com o projeto do ponto de vista da interface com o operador, simulando os sinais dos sensores.

### **6.7 Comentários finais**

Neste capítulo apresentou-se o Monitor de Semeadora desenvolvido. A opção pela implementação de um protótipo do equipamento, que pudesse servir de fonte de novas informações sobre o processo, foi justificada.

Foram apresentados os diversos requisitos funcionais, técnicos, operacionais e econômicos levantados e que nortearam a implementação do protótipo. Ele foi descrito do ponto de vista de seu hardware e de seu software, com especial ênfase para a interface com o operador e seus aspectos operacionais, cujas as soluções adotadas puderam ser avaliadas pelos testes realizados.

## **CAPÍTULO 7**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um protótipo de Monitor de Semeadora foi projetado, implementado e testado em laboratório, com a finalidade de servir de ferramenta para a análise das soluções adotadas na especificação inicial, com vistas a um levantamento e definição de requisitos que possam melhor orientar futuras pesquisas sobre equipamentos voltados para a aplicação a semeadoras. Procurou-se, desta forma, adquirir experiência no desenvolvimento de sistemas para a automação agrícola, buscando avaliar a problemática envolvida do ponto de vista de requisitos funcionais, operacionais e técnicos. Neste capítulo são avaliados os resultados obtidos frente aos objetivos propostos, são analisadas as perspectivas de evolução e continuidade do trabalho, e as contribuições apresentadas.

### 7.1 Avaliação dos resultados

O projeto implementado mostrou aspectos muito positivos do ponto de vista da interface homem-máquina. Nessa interface ocupam papel importante os recursos utilizados como display, buzina, LEDs e teclado funcional, e o software de controle desses dispositivos, que procurou tornar amigável, simples e auto-explicativa a sua operação. Outro resultado importante a ser ressaltado é a incorporação, na programação do equipamento, de procedimentos operacionais semelhantes aos tradicionalmente realizados no campo, facilitando a assimilação pelo operador.

O sistema apresenta grande modularidade em termos de hardware e software, o que facilitará a sua adaptação a outras condições e configurações como:

- utilização de um número maior de sensores de fluxo de sementes e com outras interfaces,
- utilização de sensores Doppler de velocidade,
- alteração das telas, mensagens e procedimentos de operação, em função de novas especificações operacionais e de interface.

Essa modularidade e flexibilidade são condições essenciais para o seu aproveitamento na continuidade dos trabalhos.

Pôde-se avaliar a importância do desenvolvimento de sensores específicos para aplicações agrícolas, confirmando a bibliografia. O sensor implementado mostrou a viabilidade da tecnologia óptica para a detecção do fluxo de sementes, e evidenciou a necessidade de aprimorar a implementação e os testes, bem como avaliar outras soluções, procurando-se otimizar a relação custo-benefício.

Os requisitos de consumo e custo puderam ser bem equacionados com a utilização de componentes de tecnologia CMOS, os quais também possibilitaram as reduzidas dimensões do protótipo.

## **7.2 Pontos a considerar na continuidade dos trabalhos**

A experiência adquirida na pesquisa possibilita a identificação de alguns aspectos que deverão merecer a atenção na continuidade dos trabalhos:

- o estudo de novas arquiteturas para o Monitor, que contemplem a possibilidade de interligação com sensores inteligentes.
- a implementação de novas versões de sensores de fluxo com tecnologia óptica, aproveitando o potencial de aprimoramento do sensor desenvolvido, e realização de testes mais exaustivos, em condições reais de campo, e com diferentes tipos de sementes.
- estudo e desenvolvimento de sensores inteligentes com tecnologia óptica e não-óptica, os quais incorporem procedimentos de auto-teste, diagnóstico, e pré-processamento, liberando o processador principal.
- a incorporação de novas funções ao Monitor, entre as quais o registro de dados das condições de trabalho ao longo do tempo, a serem utilizadas por um supervisor autorizado. Dessa forma o equipamento pode servir como apoio ao gerenciamento da operação de uma maneira global, permitindo uma visão mais ampla do desempenho da máquina e do operador, através da análise estatística desses dados.
- possibilidade de interligação do Monitor com outros equipamentos, como um microcomputador, para a transferência de dados.

- a experimentação do sistema em condições reais de operação, após uma implementação mais robusta do hardware, para avaliar, em campo, o atendimento aos requisitos ambientais, de desempenho e de interface.

### **7.3 Perspectivas futuras**

O interesse demonstrado por diferentes instituições e empresas pela realização deste trabalho, bem como pelo estabelecimento desta linha de pesquisa na Escola Politécnica, possibilitou a gradativa implantação de um grupo de pesquisa na área, o Laboratório de Automação Agrícola - LAA, em cujo seio este trabalho se desenvolveu de forma pioneira. Ao mesmo tempo esse interesse propiciou a apresentação e a aprovação de um projeto junto à Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico de Estado de São Paulo - SCTDE, para a continuidade das pesquisas com o Monitor de Semeadora.

Nesse projeto, já em andamento, o ponto de partida é o conjunto de resultados e experiências aqui adquirido, o qual será utilizado para o projeto, implementação e testes em campo de uma primeira versão do equipamento. Este novo protótipo deverá incorporar as características e requisitos já identificados, além de procurar soluções para questões como os sensores, o empacotamento e o custo, entre outras, e representa um importante passo para a consolidação desse grupo de pesquisa.

A necessidade de conhecimento e de uma infra-estrutura de desenvolvimento e de testes em áreas tão distintas como a eletrônica e a agricultura, amplamente observados no decorrer das atividades, reforçou o conceito já existente da oportunidade da realização de trabalhos dessa natureza com a participação de profissionais e instituições das duas áreas. Nesse sentido foi iniciado o contato entre a Escola Politécnica e a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" para trabalhos em automação agrícola, que deverá se aprofundar com o desenrolar das atividades já previstas no projeto.

### **7.4 Comentários finais**

Ao longo deste trabalho foram destacados vários aspectos de importância para o desenvolvimento de sistemas para a automação agrícola, de uma maneira geral, e para

o projeto de um Monitor de Semeadora, em particular. Procurou-se, com isso, contribuir para o desenvolvimento de outras ações nessa área, no que se refere aos problemas envolvidos, aos requisitos e à metodologia.

O equipamento desenvolvido nesta primeira versão, embora semelhante a outros disponíveis no mercado internacional, possibilitou o início de um processo de domínio da tecnologia por ser um sistema aberto. Essa característica é fundamental para a continuidade das pesquisas na área, na medida em que possibilitará sua alteração e reconfiguração para a avaliação dos próprios processos associados à semeadura.

A abordagem de problemas multidisciplinares como os relacionados à evolução da automação da agricultura no Brasil, requer um esforço de integração de equipes, conhecimentos e recursos para que se chegue aos resultados de que a sociedade brasileira tanto necessita.

Cabe ressaltar, também, a importância da continuidade das atividades, já iniciada, e a consolidação de um grupo de pesquisas nessa área na Escola Politécnica, o que foi motivado por este trabalho, e que já ensejou a realização de outros trabalhos, entre os quais uma dissertação de mestrado, dois trabalhos de iniciação científica e quatro trabalhos de formatura, todos no Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

O escopo deste trabalho transcendeu, portanto, o desenvolvimento de um equipamento eletrônico para uma área não convencional, procurando também propiciar a criação de uma cultura e uma infraestrutura para que outros trabalhos possam ser desenvolvidos nessa área tão importante para o Brasil; a qual, embora a maior abertura do mercado, sempre demandará um forte componente de adequação às idiossincrasias da agricultura brasileira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ALFACOM. Módulos multi-matrix: manual de utilização. São Paulo.
- [02] AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS STANDARD Dielectric properties of grain and seeds; D293.2. St. Joseph, 1989.
- [03] ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Mecanização e agricultura, 2.ed., São Paulo, 1989.
- [04] ARAÚJO, N.B.; WEDEKIN, I.; PINAZZA, L.A. Complexo agroindustrial - o "agribusiness" brasileiro. São Paulo, Suma Econômica.
- [05] AUTRY, J.W.; SCHROEDER, E.D. Design factors for hill-drop planters. Agricultural Engineering, v.34, n.8, p.525-7, 531, 1953.
- [06] BAINER, R. Precision planter equipment. Agricultural Engineering. v.28, n.2, p. 49-54, 1947.
- [07] BALASTREIRE, L.A. Máquinas agrícolas. São Paulo, Ed. Manole, 1987. Cap.5, p.146-209: Semeadura Convencional.
- [08] \_\_\_\_\_. Avaliação do desempenho de semeadoras-adubadoras, Piracicaba, ESALQ-USP, 1988. (Relatório técnico de circulação restrita)
- [09] BALASTREIRE, L.A.; GOMES, E.S. Avaliação do desempenho em laboratório e campo de semeadoras-adubadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., Piracicaba, 1990. Anais. Piracicaba, ESALQ-USP / SBEA, 1990. p.980-94.
- [10] BALASTREIRE, L.A.; VASARHELYI, A.; MARQUES, R.T. Estudo comparativo do desempenho de dosadores de sementes de disco horizontal e inclinado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., Piracicaba, 1990. Anais. Piracicaba, ESALQ-USP / SBEA, 1990. p.969-79.
- [11] BARMINGTON, R.D. The relation of seed cell size and speed to beet planter performance. Agricultural Engineering. v.29, n.12, p.530-2, 1948.
- [12] BODRIA, L. La electrónica y las máquinas agrícolas: Ila parte. Máquinas y tractores agrícolas. v.01, n.8, p.21-32, 1990.



- [13] BROOKE, D.W.I.; BUTTERWORTH, H.M. Software reliability considerations for agricultural installations. In: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS APPLICATIONS, 1983, Chicago. Proceedings. St. Joseph, ASAE, 1983, v.2, p.347-50.
- [14] BUFTON, L.P.; RICHARDSON, P.; O'DOGUERTY, M.J. Seed displacement after impact on a soil surface. J. Agric. Engng. Res., v.19, n.4, p. 327-38, 1974.
- [15] CAÑAVATE, J.O. Las máquinas agrícolas y su aplicación. 3.ed. Madrid, Mundi-Prensa, 1989. Cap.10, p.125-48: Sembradoras.
- [16] CHHINNAN, M.S.; YOUNG, J.H.; ROHRBACK, R.P. Accuracy of seed spacing in peanuts planting. Trans. of the ASAE. v.18, n.5, p. 828-31, 1975.
- [17] CONNELL, J.; BRICE, L. Rapid Prototyping. Datamation. p.93-100, aug. 1984.
- [18] CONRADS, J.A. Electronics - the service challenge of the eighties. In: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS APPLICATIONS, 1983, Chicago. Proceedings, St. Joseph, ASAE, 1983, v.1, p.327-33.
- [19] COSTA, J.A.; BERNARDI, J.A.; KURACHI, S.A.; MORAES, R.A.; MOREIRA, C.A.; RIBEIRO, M.F. Efeito da velocidade de deslocamento sobre características operacionais de semeadoras. Campinas, Instituto Agrônômico, 1984. (Boletim Técnico n.9)
- [20] COX, S.W.R. Electronics in UK Agriculture and Horticulture. IEE Proceedings, v.134-A, n.6, p.466-92, 1987. IEE Review.
- [21] \_\_\_\_\_. Farm electronics. Oxford, BSP Professional Books, 1988. p.137-40.
- [22] CUGNASCA, C.E. Linguagem PL/M. São Paulo, FDTE/EPUSP, 1987.
- [23] \_\_\_\_\_. Sistemas de tempo real e controle de processos. São Paulo, FDTE/EPUSP, 1987.
- [24] \_\_\_\_\_. Operação remota de subestações: análise técnica e avaliação de uma experiência de concepção, projeto e implantação. São Paulo, 1992. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [25] DANEK, R.J.; BUTTLE, D.R.; KOTEK, D.J. Microprocessor instrument cluster. In: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS APPLICATIONS, Chicago, 1983. Proceedings. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1984, v.1, p.144-50.

- [26] DYCK, F.B.; WU, W.K; LESKO, R. Automatic depth control for cultivators and air seeders developed under the AERD programs. In: AGRI-MATION, 1., Chicago, 1985. Proceedings. St. Joseph, ASAE/SME, 1985, p.265-76.
- [27] EDAN, Y. Automation in agriculture. In: CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL - CONAI, 5., JORNADA DE AUTOMAÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E INFORMÁTICA NA AGRICULTURA, São Paulo, 1992. Anais. São Paulo, SUCESU/ABCPAI/SBI, 1992, v., p. .
- [28] ELLIOTT, K.C.; McCONNELL, R.L.; BLIZZARD, S.H. A spacing indicator for a mechanical tree planter. In: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS, Chicago, 1983. Proceedings. St. Joseph, ASAE, 1984. v.1, p.46-51.
- [29] ERADUS, W.J. Intelligent sensors in agriculture. In: AGRI - MATION, 2., Chicago, 1986. Proceedings. St. Joseph, ASAE/SME, 1986, p.45-52.
- [30] FILGUEIRAS, L.V.L. Interfaces homem-máquina: um estudo aplicado a sistemas digitais de controle de processos. São Paulo, 1988. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [31] FUTRAL, J.G.; ALLEN, R.J. Development of a high-speed planter. Agricultural Engineering, v.32, n.4, p.215-6, 1951.
- [32] GADANHA Jr, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; YANH, C.H.; TOMIMORI, S.M.W. Máquinas e implementos agrícolas do Brasil. São Paulo, IPT, 1991. Cap.4, p.105-122: Máquinas e implementos para implantação de culturas por métodos convencionais e não convencionais.
- [33] GAZZOLA, O. Projeto e avaliação de um sistema dosador de precisão para semeadora a tração animal. Campinas, 1989. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- [34] HAASE, W.C. PIONEER-I - A planter computer system. In: AGRI MATION, 2., Chicago, 1986. Proceedings. St. Joseph, ASAE/SME, 1986, p.184-6.
- [35] HALDERSON, J.L. Planter selection accuracy for edible beans. Trans. of the ASAE, v.26, n.2, p.367-71, 1983.
- [36] HIRAKAWA, A.R. Sistema de gerenciamento de temperatura e umidade para ambientes embarcados. Aplicação ao transporte de frutas. São Paulo, 1992. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- [37] HOLLOWAY, G.A. The environment of electrical-electronic components on agricultural equipment. St Joseph, ASAE, 1987. (ASAE Distinguished Lecture Series - Tractor Design n.12)
- [38] HORDESKI, M.F. Transducers for automation. New York, Van Nostrand Rimhold, 1987.
- [39] INTEL Corp. Embedded control applications handbook. 1989.
- [40] \_\_\_\_\_. Embedded controller handbook. 1988, v.1.
- [41] \_\_\_\_\_. PL/M 51 User's guide, Santa Clara, 1982, Intel Corp.
- [42] JAFARI, J.V.; FONSTROM K.J. A precision punch planter for sugar beets. Trans. of the ASAE, v.15, n.3, p.569-71, 1972.
- [43] KAMINAKA, M.S. Equipment design: controls and displays. St. Joseph, ASAE, 1991. (Human Factors: a series of quality instructional materials, module 3)
- [44] KANDALA, C.V.K.; NELSON, S.O.; LAWRENCE, K.C. Moisture determination in single kernels of corn - a nondestructive method. Transactions of the ASAE, v.31, n.6, p.1890-5.
- [45] KEPNER, R.A.; BAYNER, R.; BARGER, E.L. Principles of farm machinery. New York, John Wiley, 1978.
- [46] KHAN, A.U.; McKOLLY, H.F. High precision centrifugal seed planting. Trans. of the ASAE, v.14, n.5, p.972-80, 1971.
- [47] KLENIN, N.I.; POPOV, I.F.; SAKUN, V.A. Agricultural machines. New Delhi, Amerind Publishing Co. (USDA, NSF), 1985. Cap.10, p.125-8: Methods of sowing and planting. Cap.11, 129-59: Sowing and planting operations.
- [48] KRANZLER, G.A.; DeVOE, D.R. Optoelectronic inventorying of tree seedlings in nursery beds. In: AGRI MATION, 1., Chicago, 1985. Proceedings. St. Joseph, ASAE - SME, 1985, p.223-30.
- [49] MADUREIRA, T.C.; FERNANDES, J.C.; ANDREATTA, J.A. Avaliação dos efeitos do ruído de tratores sobre o operador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., Piracicaba, 1990. Anais. Piracicaba, ESALQ-USP / SBEA, 1990. p.670-82.

- [50] MANTOVANI, E.C.; BERTAUX, S. Avaliação do desempenho de semeadoras-adubadoras de milho no campo; Trabalho conjunto CNPMS/EMBRAPA-ABIMAQ/SINDIMAQ. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1988.
- [51] MANTOVANI, E.C.; BERTAUX, S. Avaliação do desempenho de semeadoras-adubadoras de milho no campo. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS-ABIMAQ/SINDIMAQ, 1990.
- [52] MERTINS, K.H.; Van Der BEEK, A. Electronics for smarter tractor/implements systems. In: AGRICULTURE, 2., Chicago, 1986. Proceedings. St. Joseph, ASAE/SME, 1986, p.197-206.
- [53] MOLIN, J.P. Desenvolvimento e análise de um dosador mecânico vertical para semeadoras de precisão. Campinas, 1991. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- [54] MØLLER, A. Applications of microprocessors within agriculture. Husteded, Agri Contact - Danish Council of Technology, 1985. p.41-6, 147-8, 151-5.
- [55] MONTEIRO, L.R. Desenvolvimento e análise de uma semeadora pneumática de grãos. Campinas, 1989. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- [56] MOREIRA, C.A. et al. Mecanismos dosadores-distribuidores de sementes. Campinas, Instituto Agrônomo, 1978.(Circular n.90)
- [57] MORRIS, D.A.; SEARCY, S.W.; STOUT, B.A. On-board tractor microcomputer system. In: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS, Chicago, 1983. Proceedings. St. Joseph, ASAE, 1984. v.1, p.151-59.
- [58] MUELLER, G.R.; KNEPLER, J.T. A digital instrumentation system for agricultural and construction equipment. In: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS APPLICATIONS, Chicago, 1983. Proceedings. St. Joseph, ASAE, 1984. v.1, p.134-43.
- [59] NELSON, S.O.; LAWRENCE, K.C.; KANDALA, C.V.K.; HIMMELSBACH, D.S.; WINDHAM, W.R.; KRASZEWSKI, A.W. Comparison of DC conductance, RF impedance, microwave and NMR methods for single-kernel moisture measurements in corn. Transactions of the ASAE. v.33, n.3, p.893-8, 1990,
- [60] NURCZYK, M.E. Electronics design for reliability. In: AGRICULTURE, 2., Chicago, 1986. Proceedings. St. Joseph, ASAE/SME, 1986, p.119-24.

- [61] PEATMAN, J.B. Design with microcontrollers. New York, McGraw-Hill, 1988.
- [62] POLITRONIC Produtos Eletrônicos Ltda. /xerografado/
- [63] PORTELA, J.A. Transporte unitário de grãos agrícolas por processo pneumático, em dutos de pequeno diâmetro. Campinas, 1991. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. p.75-81.
- [64] RICHEY, C.B. Innovations in planters and seeders. Agricultural Engineering. v.62, n.2, p.16-7, 1981.
- [65] ROBIN, P. Segurança e ergonomia em maquinaria agrícola - tratores agrícolas. São Paulo, NSI/MA - CIENTEC - IPT, 1987. (Monografia 2)
- [66] ROLLWITZ, W.L.; KING, J.D.; MATZKANIN, G.A.; PAETZOLD, R.F. Magnetic resonance. A versatile sensor for agricultural applications. IN: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS APPLICATIONS, 1983, Chicago. Proceedings, St. Joseph, ASAE, 1983, v.2, p.766-72.
- [67] ROTH, L.O.; PORTERFIELD, J.G. Some basic performance characteristics of a horizontal plate seed metering device. Trans. of the ASAE. v.3, n.2, p.105-7, 1960.
- [68] SANTOS, C.V.S.; MIALHE, L.G. Indústria brasileira de maquinaria agrícola: situação atual e perspectivas. s.l., s.ed., 1987.
- [69] SARAIVA, A.M. Automação agrícola no Brasil: estado atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO P&D NO SISTEMA AGROINDUSTRIAL: INTEGRAÇÃO x ISOLAMENTO; SIMPÓSIO NACIONAL DE PESQUISA DE ADMINISTRAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 16., Rio de Janeiro, 1991, São Paulo, PENSA/PACTo/USP, 1991. n.4.
- [70] \_\_\_\_\_. Propostas para a evolução da automação agrícola no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 5., JORNADA DE AUTOMAÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E INFORMÁTICA NA AGRICULTURA. São Paulo, 1992, São Paulo, SUCESU/ABCPAI/SBI, 1992.
- [71] SILVA, B.P. Fruticultura Brasileira: produção/exportação. São Paulo, Associação Nacional dos Exportadores de Hortigranjeiros - HORTINEXA, 1991. /datilografado/

- [72] SILVA JR, V.P. Microcontrolador 8051: hardware e software. São Paulo, Érica, 1990.
- [73] SOARES, J.O.P. Especificação de métodos de desenvolvimento de sistemas - aplicação a sistemas de tempo real. São Paulo, 1986. 176p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [74] SOKOL, D.G. Next generation radar sensor for true ground speed measurements. In: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS APPLICATIONS, Chicago, 1983. Proceedings. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1984, v.1, p.76-84.
- [75] SQUIRES, R.E. Electronic draft control system. In: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS APPLICATIONS, Chicago, 1983. Proceedings. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1984, v.1, p.67-75.
- [76] TEXAS Instruments. The optoelectronics databook for design engineers. Dallas.
- [77] Vanden BERG, G.E. Agricultural sensors. St. Joseph, ASAE, 1988.
- [78] WANJURA, D.F.; HUDSPETH Junior, E.B. A planter for precision depth and placement of cotton seed. Trans. of the ASAE. v.13, n.1, p.153-4, 1970.
- [79] \_\_\_\_\_. Metering and seed-pattern characteristics of a horizontal edge-drop plate planter. Trans. of the ASAE. v.11, n.4, p.468-9, 1973.
- [80] WILKINS, D.E.; LENKER, D.H. A microprocessor-controlled planter. Trans. of the ASAE. v.24, n.1, p. 2-4, 8, 1981.
- [81] WILSON, J.M. The effect of release errors and the release point on the design of precision seed drills. J. Agric. Engng. Res.. v.25, n.4, p.407-19, 1980.
- [82] WILSON, R.J. A history of instrumentation on agricultural equipment. In: NATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ELECTRONICS APPLICATIONS, Chicago, 1983. Proceedings. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1984, v.1, p.125-33.
- [83] WITTWER, S.H. Automation in agriculture: programming the future. In: AGRI-MATION, 1., Chicago, 1985, Proceedings, St. Joseph, ASAE/SME, 1985, p.1-14.

## **APÊNDICE**

### **Exemplos de telas de operação**



# Telas de operação do Monitor

- Procedimento: Exibir programação anterior

1	5	0	5	2												
0				0												
E	X	I	B	I	R	P	R	O	G	R	A	M	A	C	A	O
A	n	t	e	r	i	o	r	?								

1	5	0	5	2												
0				0												
N	U	M	E	R	O	D	E	L	I	N	H	A	S	=	1	0
q	u	a	l	q	u	e	r	t	e	c	l	a				

1	5	0	5	2												
0				0												
E	S	P	A	C	A	M	E	N	T	O	=	1	2	4	C	M
q	u	a	l	q	u	e	r	t	e	c	l	a				

1	5	0	5	2													
0				0													
S	E	M	E	N	T	E	S	/	M	E	T	R	O	=	8	0	4
q	u	a	l	q	u	e	r	t	e	c	l	a					

1	5	0	5	2												
0				0												
A	R	E	A	T	O	T	A	L	=	2	5	4	2	H	a	
q	u	a	l	q	u	e	r	t	e	c	l	a				

1	5	0	5	2												
0				0												
P	O	P	U	L	A	C	A	O	=	5	8	0	0	0		
q	u	a	l	q	u	e	r	t	e	c	l	a				

1	5	0	5	2												
0				0												
C	O	N	F	I	R	M	A	V	A	L	O	R	E	S		
P	R	O	G	R	A	M	A	D	O	S	?					



# Telas de operação do Monitor

- Procedimento: Programação

1	5	0	5	2
0				0
INICIAR PROGRAMAÇÃO				

1	5	0	5	2
0				0
ÁREA TOTAL = 254,3 Ha				
SIM ZERA RET + -				

1	5	0	5	2
0				0
ESPACAMENTO = 120 cm				
SIM RET + -				

1	5	0	5	2
0				0
NÚMERO DE LINHAS = 12				
SIM + -				

1	5	0	5	2
0				0
Sementes/metro = 24,2				
SIM RET PROG POPUL				

1	5	0	5	2
0				0
POPULAÇÃO = 55000				
SIM RET PROG SEM/m				

1	5	0	5	2
0				0
MARCAR SIM				
INÍCIO RET				

1	5	0	5	2
0				0
FIM DA PROGRAMAÇÃO ?				
SIM = OPERAÇÃO RET				

