

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

**ACURÁCIA E TEMPOS DE RESPOSTA DE  
SEMEADORA DE MILHO À TAXA VARIÁVEL EM  
REGIMES ESTACIONÁRIO E TRANSITÓRIO DE  
ACIONAMENTO**

**TESE DE DOUTORADO**

**Otávio Dias da Costa Machado**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**



# **ACURÁCIA E TEMPOS DE RESPOSTA DE SEMEADORA DE MILHO À TAXA VARIÁVEL EM REGIMES ESTACIONÁRIO E TRANSITÓRIO DE ACIONAMENTO**

**Otávio Dias da Costa Machado**

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

Orientador: Prof. Airton dos Santos Alonço (Dr. Eng.)

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Machado, Otávio Dias da Costa

Acurácia e tempos de resposta de semeadora de milho à taxa variável em regimes estacionário e transitório de acionamento / Otávio Dias da Costa Machado.-2014.  
212 p.; 30cm

Orientador: Airton dos Santos Alonço

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2014

1. Mecanização Agrícola 2. Agricultura de Precisão 3. Semeadoras-adubadoras à taxa variável 4. Acurácia 5. Tempos de resposta I. Alonço, Airton dos Santos II. Título.

---

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Otávio Dias da Costa Machado. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Av. Osvaldo Aranha, 540, Bento Gonçalves, RS, 95.700-000

Fone (54) 3455 3200; End. Eletr: otavio.machado@bento.ifrs.edu.br

---

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**ACURÁCIA E TEMPOS DE RESPOSTA DE SEMEADORA DE MILHO  
À TAXA VARIÁVEL EM REGIMES ESTACIONÁRIO E TRANSITÓRIO  
DE ACIONAMENTO**

elaborada por  
**Otávio Dias da Costa Machado**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Airton dos Santos Alonço, Dr. Eng.**  
(Presidente/Orientador)

**Catize Brandelero, Dr<sup>a</sup>.** (UFSM)

**Iria Brucker Roggia, Dr<sup>a</sup>.** (UFSM)

**José Renê Freitas Gassen, Dr.** (IFSul)

**Ulisses Benedetti Baumhardt, Dr.** (UFT)

Santa Maria, 17 de julho de 2014.



*À minha esposa,  
Bianca Tengaten Fontanelle,  
e ao meu filho,  
Guilherme Fontanelle Machado,  
sustentos inabaláveis  
nos momentos difíceis, quando  
os desafios parecem insuperáveis.  
Dedico.*





## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. Eng. Airton dos Santos Alonço, pela orientação e valiosos conselhos para a condução desse trabalho, pela paciência e pela amizade, desde minha iniciação científica.

Ao Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), pela acolhida, pelo convívio em seu grupo de colaboradores e por proporcionar valiosas experiências e conhecimentos, muito além dos encontrados nas páginas deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade proporcionada.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Bento Gonçalves, por disponibilizar as condições pelas quais dediquei-me integralmente a esse trabalho.

À empresa parceira, por disponibilizar os recursos e equipamentos que tornaram esse projeto exequível.

À Professora Ony Reasilvia de Almeida Oliveira Sichonany, pela sua colaboração com este trabalho como coorientadora.

À Professora Dr<sup>a</sup> Catize Brandelero, pelo apoio, amizade e valiosas correções e contribuições para este trabalho, nas bancas de defesa e de qualificação.

À Professora Iria Brucker Roggia e aos Professores José Renê Freitas Gassen e Ulisses Benedetti Baumhardt, pelas valiosas correções e contribuições na banca de defesa desse trabalho.

Ao Professor Dr. Sidinei Jose Lopes, pelas suas recomendações para a análise estatística dos resultados dos experimentos.

Ao Professor M. Sc. Hércules Nogueira Filho e ao Colégio Politécnico da UFSM, pela disponibilização do trator agrícola utilizado nos experimentos.

Ao Eng. Eletricista José Ayrton Borne Junior, pelas colaborações para o sistema de coleta de dados, pelo apoio e amizade construída pelo alegre convívio.

Ao Eng. Agrícola Hendrigo Alberto Torchelsen da Silveira (in memoriam), merecidamente Mestre em Engenharia Agrícola, pelo seu legado científico, que muito honra o LASERG e seus membros, e que viabilizou os métodos utilizados.

Aos colegas Pós-Graduandos Cristian Josue Franck, Dauto Pivetta Carpes, Mateus Potrich Bellé e Tiago Rodrigo Francetto, pela troca de experiências, convivência, amizade, além das críticas e sugestões para este trabalho.

Aos Acadêmicos bolsistas do LASERG, André Veit, Fernando Rossato, Guilherme Baldin, Lucas de Souza, Mariana Rodrigues, Marisa Brasil, Paulo Bedin, Rafael Becker e Wagner da Silva, pelo apoio na construção de componentes dos equipamentos, coletas e digitalização dos dados, pela amizade e alegre convivência.

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ACURÁCIA E TEMPOS DE RESPOSTA DE SEMEADORA DE MILHO À TAXA VARIÁVEL EM REGIMES ESTACIONÁRIO E TRANSITÓRIO DE ACIONAMENTO**

AUTOR: OTÁVIO DIAS DA COSTA MACHADO

ORIENTADOR: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 17 de julho de 2014.

Este trabalho desenvolveu rotinas para experimentos de desempenho relativos à acurácia, distribuição longitudinal de sementes e tempos de resposta de uma semeadora à Taxa Variável (TV). Um protótipo da máquina foi avaliado, operando na semeadura de milho com simulação de deslocamento. Os experimentos diferenciaram-se nos regimes estacionário e transitório, correspondendo à operação com densidades de semeadura homogêneas e com trocas de zonas dos mapas de prescrição, respectivamente. As avaliações foram denominadas diretas, com aferição da posição das sementes em esteira de avaliação, e indiretas, com monitoramento da rotação dos dosadores para posterior predição das variáveis. Dentre quatro experimentos, no primeiro o regime estacionário foi avaliado em função da acurácia e qualidade da distribuição longitudinal de sementes, por avaliação direta, com dosador pneumático. O segundo experimento manteve a avaliação de prescrições constantes, com avaliação indireta e com dosador de discos alveolados. Os demais experimentos passaram a avaliar o regime transitório, com avaliações indiretas e dosador pneumático. No terceiro foram aferidos os tempos de resposta e no quarto, a acurácia e distribuição de sementes. Os resultados demonstraram, para os experimentos: 1) A acurácia do protótipo excedeu o valor máximo recomendado de 3%, quando considerados todos os tratamentos aplicados. A distribuição de sementes teve redução da regularidade proporcional às alterações do acionamento da rotação, caracterizadas por oscilações durante determinadas combinações de tratamentos, envolvendo as velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup>. 2) A acurácia e a distribuição foram degradadas por oscilações, possivelmente com maior intensidade que no primeiro experimento. A avaliação indireta permitiu identificar deficiências do controle na etapa de acomodação, por monitorar a rotação. 3) Os tempos de acomodação ultrapassaram o valor máximo de um segundo na fase crescente, quando consideradas todas as combinações de tratamentos, mas as trocas mais rápidas nesta fase das transições ocorreram em 0,38 a 1,93 s. A fase decrescente apresentou transições na ordem de 0,23 a 0,43 s. 4) A redução da qualidade da distribuição de sementes durante o regime transitório foi expressiva, sempre quando a rotação demorava para acomodar-se. O desempenho do protótipo, de uma forma geral, não atendeu aos valores máximos recomendados. Entretanto, a verificação de determinadas condições em que operou com estabilidade e acurácia adequadas, bem como com transições rápidas, compatíveis com esses referenciais, demonstraram que o equipamento possui potencial para utilização mediante correções no projeto. Demais contribuições deste trabalho, dizem respeito aos experimentos preliminares de modelagem, capazes de identificar o potencial de qualidade da distribuição dos dosadores, bem como a introdução de novos métodos para avaliação de semeadoras à TV, ainda não normalizados.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão. Distribuição Longitudinal de Sementes. Qualidade de semeadura.



## **ABSTRACT**

Doctoral Thesis  
Post-Graduate Program in Agricultural Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **ACCURACY AND RESPONSE TIMES, OF VARIABLE RATE SEEDER, ON STATIONARY AND TRANSITORY RATES**

**AUTHOR: OTÁVIO DIAS DA COSTA MACHADO**

**ADVISOR: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO**

**Defense Place and Date: Santa Maria, July 17, 2014.**

This study developed routines to evaluate accuracy, longitudinal seed displacement and response times, applied to Variable Rate Technology (VRT) on seeder machines. A prototype was submitted to experiments evolving simulation, on laboratory. The experiments differed on stationary and transitory operations, with constant dosing, and along transitions of prescription maps, respectively. The evaluations were named direct, with seed placement measurement, and indirect, with rotation measurements and further variable prediction. Among four experiments, the first one focused in the stationary operation, measuring accuracy and quality of longitudinal seed displacement, using the direct evaluation method and pneumatic seed metering. In the second test, there were maintained the continuous prescription, with the indirect method and mechanical seed metering. The remaining experiments, was aimed to the transitory dosing, with indirect evaluations and pneumatic seed metering. In the third was evaluated response times, and in the fourth, the accuracy and quality of seed displacement. The results showing, by the experiments: 1) The prototype accuracy exceeds the maximum recommended value of 3%, when considering all the applied treatments. The regularity of seed displacement was proportionally affected by the influences of rotation disturbance, determined by oscillations when using specific combinations of experimental treatments and 8 and 10 km h<sup>-1</sup> speeds. 2) Accuracy and seed displacement was degraded by the oscillations, which had a higher level than the first evaluation. The indirect evaluation, measuring the rotation, was able to describe deficiencies of the control system on the accommodation phase. 3) Response time were higher than the one second maximum value on the crescent part of transitions, when compared all treatments, but the faster crescent rate changes, lasted from 0,38 to 1,93 s. When reducing rates, 0,23 to 0,43 s times was acquired. 4) The reduction on seed displacement quality during the transitory period was expressive, in the cases which had a delayed accommodation. The prototype performance, did not attended to the maximum tolerable values. However, the verification of determined operational conditions which stability and properly accuracy, as well as fast transitions, according to the referenced values, showed that the equipment is able to a project correction process. Others results of this study, respect to preliminary experiment to the modeling process, was the identification of metering devices potential, and introduction of new methods, still not yet normalized, to the variable rate seeding evaluation.

**Key-words:** Precision Agriculture. Seed longitudinal displacement. Sowing quality.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Evolução dos equipamentos à TV na Argentina de 1997 a 2010.....	32
Figura 2	– Ciclo da Agricultura de Precisão.....	35
Figura 3	– Área, produção e produtividade do milho no Brasil de 1984 a 2004....	37
Figura 4	– Curva de resposta típica a uma excitação do tipo degrau.....	45
Figura 5	– Curvas de resposta em malha aberta (superior) e fechada (inferior)...	47
Figura 6	– Diagrama elétrico e hidráulico de um sistema de controle usual para semeadoras à TV.....	48
Figura 7	– Bancada de ensaios de dosadores e esteira de avaliação de espaçamentos entre sementes.....	68
Figura 8	– Vista do reservatório e componentes do dosador de discos alveolados.....	69
Figura 9	– Vista lateral do dosador pneumático e do tubo condutor na BEDOSA.	70
Figura 10	– Sistema para simulação da navegação na cabine do trator agrícola...	71
Figura 11	– Mapa de prescrição para avaliações em regime estacionário com zonas de densidades 4, 5, 6, 7 e 8 sementes $m^{-1}$ .....	72
Figura 12	– Mapa de prescrição do regime transitório com zonas para transições 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes $m^{-1}$ .....	73
Figura 13	– Protótipo da semeadora à Taxa Variável.....	75
Figura 14	– Data-logger.....	76
Figura 15	– Encoder ótico utilizado nas avaliações indiretas.....	76
Figura 16	– Fluxograma do método da avaliação direta da acurácia e qualidade da distribuição de sementes em regime estacionário.....	90
Figura 17	– Fluxograma do método da avaliação indireta da acurácia e distribuição de sementes em regime estacionário.....	94
Figura 18	– Fluxograma do método da avaliação indireta dos tempos de resposta	96
Figura 19	– Fluxograma do método da avaliação indireta da acurácia e qualidade de distribuição de sementes em regime transitório.....	100
Figura 20	– Linhas de tendência e dispersão dos modelos de densidade de semeadura do dosador de discos alveolados.....	104
Figura 21	– Linhas de tendência e dispersão dos modelos de aceitáveis do dosador de discos alveolados nas velocidades 4 e 6 $km\ h^{-1}$ .....	107
Figura 22	– Linhas de tendência e dispersão dos modelos de aceitáveis do dosador de discos alveolados nas velocidades 8 e 10 $km\ h^{-1}$ .....	108
Figura 23	– Linhas de tendência e dispersão dos modelos de múltiplos do dosador de discos alveolados nas velocidades 4 e 6 $km\ h^{-1}$ .....	111
Figura 24	– Linhas de tendência e dispersão dos modelos de múltiplos do dosador de discos alveolados nas velocidades 8 e 10 $km\ h^{-1}$ .....	112
Figura 25	– Linhas de tendência e dispersão dos modelos de densidade de semeadura do dosador pneumático.....	113
Figura 26	– Linhas de tendência e dispersão dos modelos de aceitáveis do dosador pneumático nas velocidades 4 e 6 $km\ h^{-1}$ .....	116
Figura 27	– Linhas de tendência e dispersão dos modelos de aceitáveis do dosador pneumático nas velocidades 8 e 10 $km\ h^{-1}$ .....	117
Figura 28	– Linhas de tendência e dispersão dos modelos de múltiplos do dosador pneumático nas velocidades 4 e 6 $km\ h^{-1}$ .....	119

Figura 29 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de múltiplos do dosador pneumático nas velocidades 8 e 10 km h <sup>-1</sup> .....	120
Figura 30 – Linhas de tendência e dispersão da acurácia da avaliação direta em regime estacionário.....	125
Figura 31 – Equações lineares e dispersão das densidades experimentais em função das prescrições nas velocidades 4 e 6 km h <sup>-1</sup> .....	129
Figura 32 – Equações lineares e dispersão das densidades experimentais em função das prescrições nas velocidades 8 e 10 km h <sup>-1</sup> .....	130
Figura 33 – Comparação entre os aceitáveis, múltiplos e falhos dos tratamentos da avaliação direta do regime estacionário.....	134
Figura 34 – Linhas de tendência e dispersão da acurácia da avaliação indireta do regime estacionário.....	139
Figura 35 – Exemplos de rotações de acionamento da avaliação indireta do regime estacionário na velocidade 4 km h <sup>-1</sup> .....	140
Figura 36 – Exemplos de rotações de acionamento da avaliação indireta do regime estacionário na velocidade 6 km h <sup>-1</sup> .....	141
Figura 37 – Exemplos de rotações de acionamento da avaliação indireta do regime estacionário na velocidade 8 km h <sup>-1</sup> .....	142
Figura 38 – Exemplos de rotações de acionamento da avaliação indireta do regime estacionário na velocidade 10 km h <sup>-1</sup> .....	143
Figura 39 – Equações lineares e dispersão das densidades experimentais em função das prescrições da avaliação indireta do regime estacionário..	144
Figura 40 – Comparação entre os aceitáveis, múltiplos e falhos de cada tratamento da avaliação indireta do regime transitório.....	147
Figura 41 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T1 e T3 na velocidade 4 km h <sup>-1</sup> .	158
Figura 42 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T2 na velocidade 4 km h <sup>-1</sup> .....	159
Figura 43 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) transições T4, T5 e T6 na velocidade 4 km h <sup>-1</sup> .	160
Figura 44 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T1 e T3 na velocidade 6 km h <sup>-1</sup> .	161
Figura 45 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T2 na velocidade 6 km h <sup>-1</sup> .....	162
Figura 46 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) transições T4, T5 e T6 na velocidade 6 km h <sup>-1</sup> .	163
Figura 47 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T1 e T3 na velocidade 8 km h <sup>-1</sup> .	164
Figura 48 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T2 na velocidade 8 km h <sup>-1</sup> .....	165
Figura 49 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) transições T4, T5 e T6 na velocidade 8 km h <sup>-1</sup> .	166
Figura 50 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) transições T1 e T3 na velocidade 10 km h <sup>-1</sup> .....	167
Figura 51 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T2 na velocidade 10 km h <sup>-1</sup> .....	168
Figura 52 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) transições T4,T5 eT6 na velocidade 10 km h <sup>-1</sup> .	169



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Caracterização dos métodos dos experimentos de avaliação do protótipo.....	77
Tabela 2	– Calibrações do protótipo para operação com o dosador pneumático..	79
Tabela 3	– Rotações de referência para o dosador de discos alveolados.....	81
Tabela 4	– Rotações de referência para o dosador pneumático.....	82
Tabela 5	– Frequências dos inversores utilizadas na seleção das sementes.....	84
Tabela 6	– Frequências do inversor da esteira utilizadas na modelagem.....	85
Tabela 7	– Frequências do inversor do dosador de discos alveolados utilizadas na modelagem.....	85
Tabela 8	– Frequências do inversor do dosador pneumático utilizadas na modelagem.....	86
Tabela 9	– Codificação dos modelos de predição do dosador de discos alveolados.....	87
Tabela 10	– Codificação dos modelos de predição do dosador pneumático.....	88
Tabela 11	– Fatores, níveis e codificações da avaliação direta da acurácia e distribuição longitudinal de sementes em regime estacionário.....	91
Tabela 12	– Tratamentos da avaliação direta da acurácia e distribuição de sementes.....	92
Tabela 13	– Fatores, níveis e codificações da avaliação indireta da acurácia e distribuição longitudinal de sementes em regime estacionário.....	95
Tabela 14	– Tratamentos da avaliação indireta da acurácia e distribuição longitudinal de sementes.....	95
Tabela 15	– Fatores, níveis e codificações das avaliações indiretas do regime transitório.....	98
Tabela 16	– Diferenciação dos tratamentos nas fases crescente e decrescente...	98
Tabela 17	– Tratamentos da avaliação indireta do regime transitório.....	99
Tabela 18	– Dimensões da classificação do híbrido selecionada.....	103
Tabela 19	– Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de densidades de semeadura do dosador de discos alveolados.....	105
Tabela 20	– Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de aceitáveis do dosador de discos alveolados.....	106
Tabela 21	– Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de múltiplos do dosador de discos alveolados.....	110
Tabela 22	– Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de densidade de semeadura do dosador pneumático.....	114
Tabela 23	– Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de aceitáveis do dosador pneumático.....	115
Tabela 24	– Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de múltiplos do dosador pneumático.....	118
Tabela 25	– Síntese da análise estatística da avaliação direta da acurácia e qualidade da distribuição longitudinal de sementes.....	122
Tabela 26	– Acurácia da avaliação direta em regime estacionário.....	123
Tabela 27	– Teste de médias da acurácia da avaliação direta em regime estacionário.....	127

Tabela 28 – Variáveis complementares da avaliação direta em regime estacionário.....	131
Tabela 29 – Aceitáveis, múltiplos e falhos da avaliação direta em regime estacionário.....	133
Tabela 30 – Síntese da análise estatística da avaliação indireta da acurácia e qualidade da distribuição longitudinal de sementes.....	135
Tabela 31 – Rotação do dosador e acurácia da avaliação indireta em regime estacionário.....	137
Tabela 32 – Teste de médias da acurácia da avaliação indireta em regime estacionário.....	138
Tabela 33 – Aceitáveis, múltiplos e falhos da avaliação indireta em regime estacionário.....	146
Tabela 34 – Teste de médias dos aceitáveis da avaliação indireta em regime estacionário.....	148
Tabela 35 – Teste de médias dos múltiplos da avaliação indireta em regime estacionário.....	149
Tabela 36 – Teste de médias dos falhos da avaliação indireta em regime estacionário.....	150
Tabela 37 – Síntese da análise estatística da avaliação indireta dos tempos de resposta.....	151
Tabela 38 – Tempos de resposta da fase crescente do regime transitório.....	152
Tabela 39 – Teste de médias do tempo de transição da fase crescente.....	154
Tabela 40 – Tempos de resposta da fase decrescente do regime transitório.....	156
Tabela 41 – Teste de médias do tempo de transição da fase decrescente.....	157
Tabela 42 – Síntese da análise estatística da avaliação indireta da acurácia e qualidade da distribuição longitudinal de sementes.....	170
Tabela 43 – Rotação do dosador e acurácia da fase crescente do regime transitório.....	171
Tabela 44 – Rotação do dosador e acurácia da fase decrescente do regime transitório.....	173
Tabela 45 – Densidade de semeadura, aceitáveis, múltiplos e falhos da fase crescente do regime transitório.....	175
Tabela 46 – Teste de médias dos aceitáveis da fase crescente do regime transitório.....	176
Tabela 47 – Teste de médias dos falhos da fase crescente do regime transitório..	178
Tabela 48 – Densidade de semeadura, aceitáveis, múltiplos e falhos da fase decrescente do regime transitório.....	179
Tabela 49 – Teste de médias dos aceitáveis da fase decrescente do regime transitório.....	180
Tabela 50 – Teste de médias dos múltiplos da fase decrescente do regime transitório.....	181
Tabela 51 – Teste de médias dos falhos da fase decrescente do regime transitório.....	182

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Aceitáveis (%)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACU	Acurácia (%)
AENOR	<i>Asociación Española de Normalización y Certificación</i>
AP	Agricultura de Precisão
ASABE	<i>American Society of Agricultural and Biological Engineers</i>
ASAE	<i>American Society of Agricultural Engineers</i>
BAR	Bancada geradora de vácuo
BEDOSA	Bancada de ensaios de dosadores de sementes
C1 e C2	Calibrações padrão e otimizada
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CV	Coefficiente de variação
D1 a D5	Densidades de semeadura utilizadas nos experimentos em regime estacionário (4, 5, 6, 7 e 8 sementes m <sup>-1</sup> )
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
dp	Desvio padrão
DS	Densidade de semeadura (sementes m <sup>-1</sup> )
EA	Erro Absoluto (sementes m <sup>-1</sup> )
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESP	Espaçamento entre sementes (cm)
F	Falhos (%)
FAO	Food and Agriculture Organization of The United Nations
FREQ	Frequência configurada nos inversores
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ha	Hectare
ISA	<i>Iowa Soybean Association</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
M1 a M72	Códigos dos modelos dos dosadores
M	Múltiplos (%)
Mg	Megagrama (1.000 kg)
Mp	Máximo sobressinal
NMEA	<i>National Marine Electronics Association</i>
NPK	Formulação descrevendo percentuais de nitrogênio, fósforo e potássio
ROT	Rotação do dosador (rpm)
rpm	Rotações por minuto
RR	Rotação de referência (rpm)
T1 a T6	Trocas de dosagem utilizadas nos experimentos em regime transitório (4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0, 0-7,2-0 sementes m <sup>-1</sup> )
td	Tempo de atraso
TDP	Tomada de potência
tp	Tempo de pico
tr	Tempo de transição
ts	Tempo de acomodação
TS	Taxa de semeadura (sementes ha <sup>-1</sup> )

TV	Taxa Variável
UE	Unidade experimental
V1 a V4	Velocidades operacionais simuladas na esteira e com o sistema de navegação do protótipo (4, 6, 8 e 10 km h <sup>-1</sup> )
VRA	<i>Variable Rate Application</i>
VRT	<i>Variable Rate Technology</i>

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>27</b>
<b>1.1. Agricultura de Precisão e Taxa Variável.....</b>	<b>27</b>
1.1.1. Aspectos conceituais sobre Agricultura de Precisão e Taxa Variável	27
1.1.2. Desenvolvimento mundial da Agricultura de Precisão.....	29
1.1.3. Agricultura de Precisão na América do Sul.....	31
1.1.4. Ciclo da Taxa Variável e da Agricultura de Precisão.....	33
1.1.5. Potencial da Agricultura de Precisão na produção do milho.....	36
1.1.6. Recomendações para semeadura do milho à Taxa Variável.....	41
<b>1.2. Sistemas de controle para Taxa Variável.....</b>	<b>44</b>
1.2.1. Aspectos conceituais sobre sistemas de controle de máquinas agrícolas.....	44
1.2.2. Componentes de sistemas de controle para semeadura à Taxa Variável.....	48
<b>1.3. Desempenho de sistemas de controle para Taxa Variável.....</b>	<b>50</b>
1.3.1. Acurácia e tempos de resposta.....	50
<b>1.4. Distribuição longitudinal de sementes.....</b>	<b>57</b>
1.4.1. Aspectos conceituais sobre a distribuição longitudinal de sementes.	57
1.4.2. Qualidade da distribuição longitudinal de sementes.....	59
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>67</b>
<b>2.1. Local.....</b>	<b>67</b>
<b>2.2. Material.....</b>	<b>67</b>
2.2.1. Híbrido utilizado nas avaliações.....	67
2.2.2. Bancada de avaliação de dosadores de sementes.....	67
2.2.3. Dosador de sementes de discos alveolados.....	69
2.2.4. Dosador de sementes pneumático.....	70
2.2.5. Sistema para simulação da navegação.....	71
2.2.6. Trator agrícola de rodas.....	74
2.2.7. Protótipo da semeadora à Taxa Variável.....	74
2.2.8. Sistema eletrônico de aquisição de dados.....	76

<b>2.3.</b>	<b>Métodos.....</b>	<b>77</b>
2.3.1.	Preparação do protótipo e experimentos preliminares.....	78
2.3.1.1.	Calibrações do protótipo.....	78
2.3.1.2.	Aferição das rotações de referência.....	80
2.3.1.3.	Seleção da classificação da semente.....	82
2.3.1.4.	Modelagem dos dosadores de sementes.....	84
2.3.2.	Experimentos de avaliação do protótipo em regime estacionário.....	88
2.3.2.1.	Avaliação direta da acurácia e da distribuição longitudinal de sementes.....	88
2.3.2.2.	Avaliação indireta da acurácia e qualidade da distribuição de sementes.....	93
2.3.3.	Experimentos de avaliação do protótipo em regime transitório.....	96
2.3.3.1.	Avaliação indireta dos tempos de resposta.....	96
2.3.3.2.	Avaliação indireta da acurácia e qualidade de distribuição de sementes.....	99
2.3.4.	Análises estatísticas dos experimentos de avaliação do protótipo.....	101
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>103</b>
<b>3.1.</b>	<b>Experimentos preliminares.....</b>	<b>103</b>
3.1.1.	Seleção da classificação da semente.....	103
3.1.2.	Modelagem do dosador de discos alveolados.....	104
3.1.3.	Modelagem do dosador pneumático.....	113
<b>3.2.</b>	<b>Experimentos de avaliação do protótipo em regime estacionário.....</b>	<b>121</b>
3.2.1.	Avaliação direta da acurácia e da distribuição longitudinal de sementes.....	121
3.2.2.	Avaliação indireta da acurácia e da distribuição longitudinal de sementes.....	135
<b>3.3.</b>	<b>Experimentos de avaliação do protótipo em regime transitório..</b>	<b>150</b>
3.3.1.	Avaliação indireta dos tempos de resposta.....	150
3.3.2.	Avaliação indireta da acurácia e da distribuição longitudinal de sementes.....	170
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>185</b>
	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>189</b>
	<b>RECOMENDAÇÕES PARA O FABRICANTE.....</b>	<b>191</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>193</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>205</b>

## INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão (AP) moderna desenvolveu-se como um novo sistema de produção agrícola, com o advento do geo-referenciamento de informações sobre os fatores de produção. Segundo Molin (1997), em seus primórdios, o embasamento do sistema estava na análise da variabilidade espacial dos atributos, especialmente do solo. Essa análise permitia então a tomada de decisões para a aplicação dos insumos. Já nos últimos 20 anos, o estudo da variabilidade e das intervenções, segundo Andrade-Sanchez e Heun (2010), evoluiu como um novo paradigma, o denominado manejo localizado. Os autores o descreveram como aquele que utiliza intensamente energia e insumos, empregados nas dosagens adequadas, no tempo certo e no lugar exato.

Entretanto, nem os modernos sistemas de localização, nem os recursos computacionais que gerenciam o manejo localizado terão sucesso, se as máquinas para aplicação à Taxa Variável (TV) não executarem, no campo, as prescrições planejadas. Molin (1997) já ressaltava esta necessidade, pois afirmou que as intervenções deveriam ocorrer de forma localizada e com dosagens precisas. Atualmente, com base na expansão do mercado, em termos do número de equipamentos e tipos de operações agrícolas realizadas, as máquinas estão disseminando-se nas lavouras mais rapidamente que a evolução da pesquisa.

As semeadoras à TV<sup>1</sup> estão entres as mais recentes inovações do mercado brasileiro de máquinas agrícolas, estando ainda mais presentes em outros países. Estas máquinas destacam-se pela sua importância para a cultura do milho, pois a produtividade pode ser comprometida pela irregularidade da distribuição longitudinal de sementes, ou mesmo por déficits das populações ideais de plantas no campo. Como as máquinas estão derivando dos equipamentos convencionais, substituindo-se a relação de transmissão com acionamento por rodado motriz por um sistema de controle eletrônico e hidráulico, sofrem as mesmas condições restritivas para a qualidade da semeadura que suas antecessoras. Estas condições podem ser consideradas intrínsecas ao processo de dosagem, sendo normalmente associadas

---

<sup>1</sup>Sinonímia: Semeadora-adubadora em linha de precisão (BALASTREIRE, 2005). Semeadora em linha de precisão monogrão ou em grupos (MACHADO et al., 2005).

com velocidades e densidades de semeadura mais elevadas, em relação às médias recomendadas para a cultura.

Para verificar o desempenho das semeadoras à TV, visando avaliar se os equipamentos são capazes de cumprir as metas no campo, utiliza-se a acurácia. Ela demonstra o quanto a população, em média, afasta-se das prescrições, sendo calculada pelo erro porcentual entre a dosagem prescrita e a obtida no campo. A acurácia vem sendo estudada em regime estacionário, caracterizado por operação em prescrições constantes, em função de zonas homogêneas dos mapas de prescrição. Em um exemplo de uma pesquisa onde uma máquina foi utilizada com desempenho satisfatório na cultura do milho, foram aferidas acurácias médias de 0,37 e 2,92% em dois diferentes experimentos, cujos tratamentos consistiram em diferentes densidades de semeadura. Entretanto, em outros casos, ocorreram desempenhos inadequados, com acurácia acima do valor máximo recomendado de 3%. Em um destes referenciais, uma semeadora à TV operou com acurácia de até 34,75%, com erro absoluto negativo, ou seja, com déficit de população. Até o momento, havendo somente referenciais com avaliações de plantas no campo, suas metodologias inserem nos resultados uma soma de efeitos de fatores do ambiente e da máquina, que interferem na emergência e sobrevivência das plantas.

Complementares à acurácia, outras variáveis são necessárias para que o desempenho seja reconhecido, em especial para que o regime transitório seja efetivamente avaliado. Este regime ocorre quando o sistema de controle comanda uma transição de dosagem, decorrente da operação ao longo das intersecções das diferentes zonas de prescrição dos mapas. Nesses momentos, o desempenho deve ser considerado pelos tempos de resposta, em especial pelo tempo de acomodação, que é decorrente do atraso normal que os sistemas de controle apresentam, considerando-se uma transição completa de dose. Não existem referenciais para as semeadoras quanto aos tempos de resposta, sendo desconhecido o quanto a qualidade da semeadura pode ser degradada nesses trechos. Porém, estudos com outros equipamentos mostram problemas neste comportamento dinâmico, que decorreram em atrasos significativos e trechos com dosagem comprometida por demasiadas distâncias de transição.

Para completar o estudo do desempenho das semeadoras à TV, é necessário definir ainda a regularidade e a qualidade da distribuição longitudinal de sementes, pois podem ter impactos negativos durante os regimes estacionário e transitório. As



variáveis utilizadas são o coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes e as porcentagens de aceitáveis, falhos e múltiplos, somadas outras variáveis complementares e medidas de dispersão.

Dessa maneira, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a acurácia, os tempos de resposta e a qualidade da distribuição longitudinal de sementes de um protótipo de uma semeadora à TV. Quatro experimentos foram realizados, testando a operação simulada de semeadura do milho em regimes estacionário e transitório.

Os experimentos foram organizados segundo os seguintes objetivos específicos:

- Verificar os efeitos de velocidades de deslocamento, densidades de semeadura e calibrações, na acurácia e na qualidade de distribuição longitudinal de sementes, operando em regime estacionário e com dosador pneumático;
- Aferir os efeitos de velocidades de deslocamento e densidades de semeadura, na acurácia e na qualidade de distribuição, com o dosador de discos alveolados, em regime estacionário;
- Monitorar os tempos de resposta para o regime transitório, utilizando-se dosador pneumático, verificando os efeitos de velocidades, de calibrações e de diferentes transições de prescrição;
- Identificar os efeitos de velocidades de deslocamento, calibrações e transições de dosagem, na acurácia e na qualidade de distribuição, durante o regime transitório, com dosador pneumático.

Cada experimento, atendeu às respectivas hipóteses norteadoras:

- Se o nível de acurácia e a qualidade de distribuição de sementes, quanto aos espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos, são afetados pela calibração da semeadora à TV, pela velocidade de trabalho e pela densidade da zona de prescrição do mapa, então é possível identificar pelo teste de avaliação, as calibrações, velocidades e densidades que terão melhor desempenho, quando avaliados os espaçamentos entre sementes em esteira;
- Se a acurácia e a qualidade da distribuição, quanto aos aceitáveis, múltiplos e falhos, são afetados pela velocidade e densidade de

semeadura, então é possível identificar pelo teste de avaliação, as velocidades e densidades que terão melhor desempenho, quando obtidas as variáveis por avaliação indireta, a partir da rotação do dosador;

- Se os tempos de resposta são afetados pela calibração da máquina, pela velocidade e pelos níveis das transições entre as zonas de prescrição, então é possível identificar pelo teste de avaliação, as calibrações, velocidades e transições que terão melhor desempenho, quando obtidos os tempos a cada etapa da evolução da rotação entre as dosagens;
- Se a acurácia e a qualidade de distribuição são afetadas pela calibração, pela velocidade e pelas trocas de dosagem, então é possível identificar pelo teste de avaliação, as calibrações, velocidades e transições que terão melhor desempenho, quando obtidas as variáveis por modelos de predição, a partir da rotação do dosador.

Os experimentos diferenciaram-se nas avaliações diretas e indiretas. A avaliação direta foi utilizada no primeiro experimento, assim denominada por terem sido aferidas as próprias posições das sementes, sobre esteira de avaliação. Os demais experimentos utilizaram a avaliação indireta, que consistiu em monitorar a rotação dos dosadores, a partir da qual foram estimadas as variáveis da distribuição e os tempos de resposta, não necessitando verificação da posição das sementes.

O texto foi organizado em três partes principais, sendo no capítulo um definidos conceitos fundamentais, tais como AP e TV, bem como analisados os referenciais de desempenho das semeadoras inovadoras, de outros equipamentos equipados com sistemas de controle e os métodos utilizados.

No capítulo dois é descrito o material e métodos para os quatro experimentos de avaliação da máquina, bem os preparativos para o método de avaliação indireta e a calibração do protótipo. Os experimentos preliminares foram de seleção da classificação das sementes, aferição das rotações de referência e modelagem dos dosadores de sementes de discos alveolados e pneumático.

Em sequência, o capítulo três apresenta os resultados e discussão, seguido da conclusão, que expressa as respostas às hipóteses traçadas e contribuições do trabalho. Finalizando, foram descritas recomendações para trabalhos futuros, bem como para o fabricante do equipamento avaliado.

# 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 1.1. Agricultura de Precisão e Taxa Variável

### 1.1.1. Aspectos conceituais sobre Agricultura de Precisão e Taxa Variável

A prática da Agricultura de Precisão (AP) é na verdade anterior ao método hoje conhecido. Fraisse e Faoro (1998) afirmaram que mesmo antes da revolução industrial e do processo de mecanização da agricultura, os agricultores já eram capazes de reconhecer a variabilidade espacial de certas características físico-químicas e biológicas das áreas cultivadas, ou seja, eram capazes de relacionar uma informação importante ao manejo da lavoura a um ponto ou zona específica. Segundo Stafford (2000), na realidade europeia da agricultura, nos séculos passados, pelo pequeno tamanho das áreas agrícolas e pelas delimitações naturais das glebas, tais como cursos d'água ou tipos de solo, os agricultores podiam variar os tratamentos manualmente. Mediante o aumento das lavouras, a produção e a mecanização mais intensivas, não foi possível considerar as variações até que houvesse um desenvolvimento significativo das novas tecnologias.

A expansão dos sistemas *Global Navigation Satellite System* (GNSS) facilitou o geo-referenciamento de informações, e a AP se desenvolveu como um sistema de agricultura abastecido por um complexo acompanhamento de atributos do sistema de produção. O aumento da complexidade da técnica, tem ainda diversificado os atributos mapeados, impulsionada pela gestão informatizada dos mesmos, estando atualmente plenamente desenvolvidos os processos de coleta de dados e elaboração de mapas (FRAISSE; FAORO, 1998).

Dessa forma, segundo Stafford (2000), a AP tornou-se uma forma de os produtores modernos direcionarem a produção no sentido da racionalização, porque o uso dos insumos pode ser otimizado para reduzir custos e impactos ambientais; e porque os novos conceitos permitem funções de rastreabilidade, emergentes devido às exigências do mercado e da legislação.

A partir dessa fase, além dos atributos geo-referenciados caracterizarem a variabilidade espacial das lavouras, passou-se a avaliar a variabilidade temporal, que consiste na mudança destes fatores com o decorrer do desenvolvimento das culturas, e com as operações realizadas no campo. Isso aumentou ainda mais a complexidade, fazendo com que a AP moderna possa ser considerada mais como um sistema de produção agrícola baseado em uma grande evolução gerencial, do que uma mera ferramenta para produtividade. Ela não pode ser vista desta última forma pelos produtores, o que pode desacelerar sua taxa de adoção, mas sim deve representar aos mesmos um *gap* gerencial. Segundo Auernhammer (2001) a AP será mais reconhecida quando esses benefícios do aumento do registro, fluxo e controle de informação forem considerados uma das metas da adoção da técnica, assim como a redução do impacto ambiental.

A partir dessa nova perspectiva, surgiram os conceitos de zonas de manejo e manejo sítio-específico. Com a consolidação deste processo de identificação e tratamento das informações, passou a ser possível gerenciar áreas agrícolas em uma resolução muito maior que a abordagem tradicional para o manejo das lavouras, que considerava bases generalizadas em todo um talhão, gleba ou até mesmo para toda uma propriedade agrícola (FULTON et al., 1999).

Quanto às máquinas agrícolas, na AP desempenham funções de monitoramento das informações e intervenção. Inicialmente a técnica se destacou no registro da produtividade das lavouras, enquanto que as máquinas capazes de realizar variação da dosagem de insumos, sementes e outros, se desenvolveram mais recentemente. Atualmente a técnica que precede, gerencia e monitora essa intervenção recebe diferentes denominações, sendo bastante conhecida por sua sigla VRT – *Variable Rate Technology* (ANDRADE-SANCHEZ; HEUN, 2010), também sendo denominada VRA – *Variable Rate Application* (GRISSE, et al., 2011), além dos termos aplicação em dose variável e à Taxa Variável (TV). O termo TV (BERNARDI et al., 2004) é mais adequado para homogeneizar a terminologia, pois é mais coerente para referir-se às operações como a semeadura, não considerada propriamente uma aplicação de um insumo.

A TV compreende as técnicas que identificam, geo-referenciam, analisam, zoneiam e prescrevem intervenções em função de atributos mensuráveis da produção, bem como as máquinas que realizam as intervenções. Podem ser aplicados calcário, fertilizantes (macro e micronutrientes), defensivos agrícolas,

implantados cultivos à TV com sementes ou outros materiais propagativos, além de ser realizado o preparo do solo com profundidade variável, de acordo com a compactação. As máquinas são modificadas quanto ao acionamento de sua função principal, no caso da dosagem, sendo instalado um sistema eletrônico e mecânico e/ou hidráulico. Na semeadura em linha, esse sistema controla a taxa de descarga de insumos, para obter uma determinada população de plantas e dose de fertilizantes de acordo com o planejamento. Anteriormente à semeadura, o estudo dos atributos das lavouras para definição das prescrições, pode ser embasado em mapas do teor de nutrientes do solo, da disponibilidade hídrica, produtividade dos últimos ciclos agrícolas e outros (FULTON, 2009b; GRISSO et al., 2011).

#### 1.1.2. Desenvolvimento mundial da Agricultura de Precisão

As iniciativas que envolviam máquinas modificadas para o controle da dosagem, visando um aumento da acurácia das operações, marcam o início da tecnificação da agricultura norte-americana na década de 1970, que culminou na AP. Então utilizando agricultura tradicional, para atenuar variações indesejadas da dose durante pulverizações homogêneas, sistemas de controle e válvulas foram projetados para compensar as alterações da velocidade (SARAIVA et al., 2000). Um destes equipamentos, cujas válvulas de controle de vazão eram comandadas por um sistema elétrico-mecânico, foi desenvolvido por Gebhardt et al. (1974), sendo capaz de atenuar alterações com acurácia de 10% e coeficiente de variação de 25%. Sistema semelhante para controle da dosagem, porém que variava a concentração da calda, foi desenvolvido por Vidrine et al. (1975).

Esses equipamentos permaneceram latentes, até que os microcomputadores, sensores e sistema de posicionamento estivessem disponíveis e em custos acessíveis. Dessa forma, os sistemas de controle para TV evoluíram sensivelmente com a adoção do GNSS e da porta de comunicação serial RS-232, que passou a permitir a transferência de mapas de prescrição de computadores para os controladores. Somada à localização, ao mapeamento e à prescrição, a comunicação tornou possível implementar a TV moderna, mudando os rumos das fases posteriores da AP e permitindo sua expansão (SHEARER et al., 2002).

Segundo Fulton et al. (2001), atualmente na agricultura norte-americana, a AP é uma prática comum em muitas propriedades agrícolas.

Dados de estudos que haviam sido realizados entre 2000 e 2003, compilados por Griffin et al. (2004), demonstram que o início da AP mundial foi impulsionado pelos monitores de produtividade. Nos Estados Unidos, os monitores aplicados na produção de grãos surgiram em 1992, com expansão a partir de 1995, posteriormente aplicados para algodão em 1998, estes últimos mantendo-se incipientes até então. Comparando-se a distribuição mundial dos monitores de produtividade, a Alemanha era o país com a maior adoção, somando 524 unidades por milhão de hectares (ha), seguida dos Estados Unidos, com 494, Dinamarca com 247, Suécia com 119 e Reino Unido, que detinha 106 monitores por milhão de ha. O Brasil, na época, possuía apenas duas unidades por milhão de ha.

A área de cultivo de milho sob monitoramento de produtividade nos Estados Unidos, havia passado de 5 para 37% até 2001, enquanto as áreas de soja correspondiam a 28% da área cultivada e de trigo 8%. Quanto às demais técnicas, a TV na cultura do milho estava representada pela aplicação de fertilizantes e também pela variação da densidade de semeadura, utilizadas em 15 e 5% das áreas, respectivamente, sendo sua adoção superior à soja e ao algodão. Quanto aos prestadores de serviço, 67% disponibilizavam equipamentos para aplicações variáveis, mas menos de 10% ofereciam na época a semeadura deste tipo. Nos Estados Unidos, cabe destacar que o meio-oeste do país liderava a adoção da TV, com dados muito superiores às demais regiões somadas (GRIFFIN et al., 2004).

Segundo Fulton et al. (2010), além dos monitores de colheita, outra tecnologia que impulsionou a expansão inicial da AP foi a amostragem de solo em malha. Já quanto aos períodos históricos, o autor relata que de 1992 a 1997 surgiram os monitores de colheita, de 1997 a 2002 ocorreu a introdução da TV e dos pilotos automáticos, e de 2002 a 2007, do controle localizado de seções das máquinas.

A expansão da AP no sentido da TV prosseguiu expressiva, sendo que no mercado norte-americano, segundo Haag e Staggenborg (2006), irá tornar-se *standard* para as semeadoras em linha, bem como para a distribuição de fertilizantes. Os autores destacam que o rumo da tecnologia na semeadura do milho, passa pela otimização das prescrições das populações de plantas, propondo a instalação de testes de campo em faixas (*strip trial*), para que as decisões tomadas possam ser reavaliadas e melhoradas a cada ciclo agrícola.

Fulton et al. (2003) também haviam confirmado o aumento da popularidade da TV no mercado norte-americano, afirmando ainda que está bastante disseminada na produção de grãos, tendo em vista os potenciais que representa. Uma contribuição básica destacada para a cultura do milho é a economia em sementes, pois este insumo tem alcançado alto valor, pelo aumento da especialização dos híbridos. Segundo Reeg (2011), o preço de um saco de 80.000 sementes, custava o valor de R\$ 428,95<sup>2</sup>. Fulton et al. (2009a) afirmaram que se pode justificar a expansão da TV, também porque contribui para o aumento do potencial de rendimento na produção de grãos, adequando o manejo das culturas à variabilidade inerente das áreas agrícolas, que já era reconhecida.

### 1.1.3. Agricultura de Precisão na América do Sul

Na América do Sul, segundo a Red Agricultura de Precisión (2011), os países que lideram a adoção da AP são a Argentina e o Brasil. Algumas diferenças destacadas pela publicação entre os dois mercados, mostram que o Brasil se direciona para barras de luz e pilotos automáticos, mais necessários em áreas extensas de cultivo; além de um maior mercado de equipamentos para tratores, devido ao país comercializar 25.000 unidades anuais em relação aos 6.000 tratores comercializados na Argentina.

A AP na Argentina predomina na adoção do mapeamento do rendimento e de monitores para acompanhar a semeadura, cujo histórico data de 1997; e também de equipamentos para aplicação à TV, introduzidos na mesma época, que não tiveram participação expressiva no mercado até 2004. Atualmente os dados apontam a aquisição de 7.450 monitores de colheita, 12.560 monitores de semeadura e 12.298 barras de luzes, até 2010 (RED AGRICULTURA DE PRECISIÓN, 2011). As primeiras referências sobre a introdução da semeadura à TV na América do Sul datam de 1999, em pesquisas pioneiras na Argentina, com equipamento de origem norte-americana (BRAGACHINI et al., 2000).

Os dados apresentados pela Red Agricultura de Precisión (2011) sobre máquinas que realizam intervenção à TV, mostram que os primeiros equipamentos,

---

<sup>2</sup>Cotação dólar comercial de 29/12/2011, U\$=R\$ 1,8650.

em 1997 foram para controle de dosagem de semeadoras e pulverizadores, seguidos dos distribuidores com sensores óticos ativos para aplicação de nitrogênio, popularmente conhecida como TV de nitrogênio em tempo real, introduzidos em 1999, TV de líquidos em 2005 e corte de seção em 2009. A TV em semeadoras e distribuidores, a partir de 2005, passou a crescer 40 a 60% ao ano, sendo o mercado mais expressivo, com 1.804 unidades em 2010. Taxa de crescimento semelhante foi observada para o uso do corte de seção, somando 650 equipamentos, enquanto que a TV de líquidos, a uma taxa menor de crescimento, atingiu 600 unidades. Os sensores óticos ativos, apesar de inseridos há mais tempo no mercado, somaram apenas 27 unidades em 2010. Os dados sobre o mercado argentino de máquinas para TV encontram-se dispostos na figura 1.

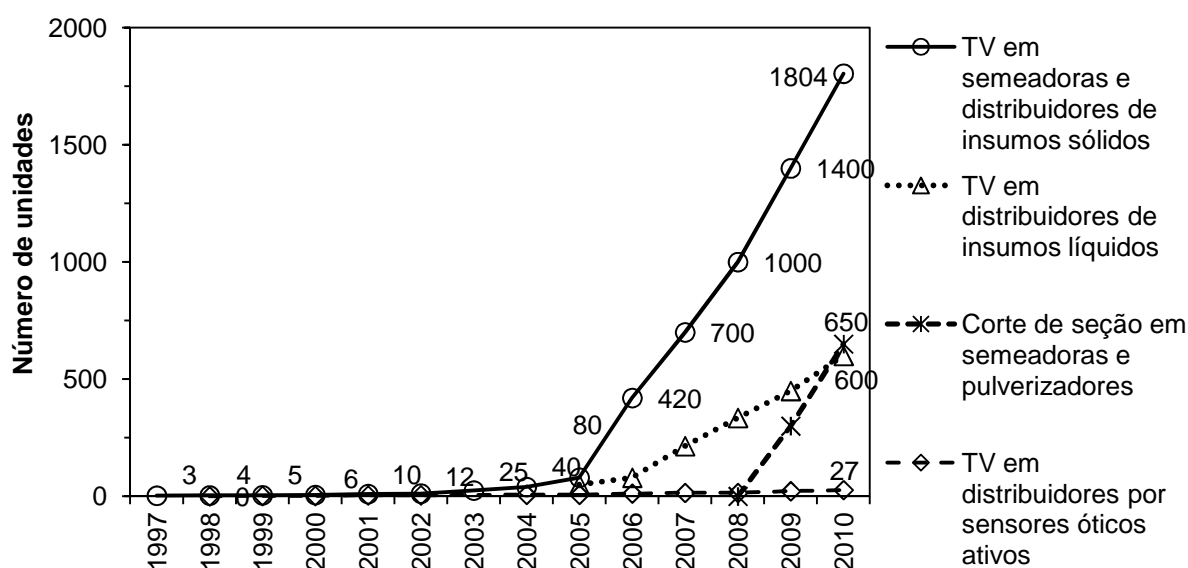


Figura 1- Evolução dos equipamentos à TV na Argentina de 1997 a 2010

Fonte: Adaptado de Red Agricultura de Precisión (2011).

O início do desenvolvimento da AP brasileira, também ocorreu com a introdução dos monitores de produtividade, no ano de 1995. As culturas pioneiras foram soja e milho, seguidos da migração da técnica para o café, laranja e cana-de-açúcar. Atualmente, o Brasil aplica a AP em amostragem de solo por malha, comumente com tamanho do *grid* 2 a 5 ha, aplicação à TV de calcário e fertilizantes,



piloto automático em tratores e colhedoras de cana. O calcário é o insumo mais importante dentre as aplicações à TV, devido às condições tropicais do país. Nas usinas de cana, um terço das áreas estão sendo amostradas por malha, e 40% já estão usando piloto automático. As últimas tecnologias que estão se desenvolvendo são a aplicação à TV de inseticidas e herbicidas, uso de sensores óticos ativos em cereais de inverno, milho e cana, e o sensoriamento por imagens de satélites, aviões e veículos aéreos não tripulados (vants). Entretanto, apesar da AP estar em promissor crescimento, seu uso em mapas de rendimento nas áreas de grãos tem crescido menos que o esperado, o que é atribuído à falta de domínio dos agricultores, consultores e revendedores, em como filtrar os dados dos monitores e formar mapas de colheita coerentes (MOLIN, 2012).

No Brasil, um dos projetos de pesquisa pioneiros foi montado em Sete Lagoas/MG, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, e os primeiros mapas de produtividade obtidos em 1999 a 2002 (BELMONTE, 2002). No Rio Grande do Sul, o projeto Aquarius iniciou suas atividades em 2000, hoje detendo um extenso banco de dados de análises de solo e rendimento das culturas, das áreas em que vem atuando desde então (AQUARIUS, 2012).

Segundo Amado et al. (2011), no Brasil, dentre os produtores que inseriram a AP em seus sistemas de produção, 75% aplicam corretivos e fertilizantes à TV, sendo apenas superada pela amostragem de solo em malha, que é realizada por mais de 98% destes agricultores. Diferentemente dos Estados Unidos, segundo os autores, a soja é a cultura brasileira com maior adoção da AP, presente em 85% das áreas cultivadas, seguida do trigo e do milho, nas quais somam aproximadamente 38% das áreas destas culturas.

#### 1.1.4. Ciclo da Taxa Variável e da Agricultura de Precisão

Segundo Saraiva et al. (2000), o sistema de AP ocorre com 4 tipos de tarefas distintas: coleta de dados, gerenciamento da informação, aplicação à TV e avaliação de resultados. A coleta de dados ocorre na colheita, e em todas as etapas onde atributos possam ser mensuráveis, principalmente com atributos do solo, utilizando-se identificação visual, análises químicas e físicas ou sistemas de mapeamento

integrados com sensores. Além do solo, pragas, plantas infestantes e outros atributos podem ser mapeados. O gerenciamento da informação diz respeito à preparação e filtragem de dados, correção de erros de posicionamento em alguns casos, seguida da análise e elaboração de mapas de prescrição em *softwares* específicos. Na etapa de intervenção à TV, as máquinas devem desempenhar em campo o planejamento detalhado da aplicação. A avaliação de resultados deverá estar presente em todas as operações do ciclo das culturas, permitindo o controle da qualidade dos processos executados.

Entretanto, é importante salientar que o processo de controle de qualidade da operação de semeadoras à TV ainda está indefinido, pois apesar de os controladores registrarem mapas de rastreabilidade, não são encontradas informações sobre a representatividade dos mesmos. Não está declarada atualmente a qualidade da aferição de dados, quando os mapas são gerados tanto por sensores que monitoram a rotação dos dosadores, quanto por sensores que aferem a passagem das sementes no tubo condutor.

O fluxo de informação na TV é descrito por Stafford (2000) por um fluxograma, com três processos convergentes para um bloco central e uma informação de saída, ou seja, um sistema com três entradas, um centro de processamento e uma saída. No centro estão as bases científicas da AP: as ciências da agronomia, expressivamente de suas subáreas manejo de culturas, solo e plantas; as três entradas são os dados coletados, as informações estratégicas armazenadas por um sistema de gerenciamento, e as de um sistema de decisão. A saída do sistema onde a informação se processa, é a prescrição variável. Como este ciclo racionaliza o processo gerencial agrícola, o autor cita que será o maior contraste entre a AP e o manejo convencional, pois a técnica irá evoluir o controle dos processos, e, devido a sua complexidade o sistema não pode desenvolver-se sem especialização gerencial.

Sendo que o ciclo da TV corresponde a um fluxo de informações, ele irá se inserir e se repetir em um ciclo maior que representa a totalidade do sistema de AP. Cruvinel e Torre-Neto (1999) apresentaram este ciclo de acordo com a figura 2. Destaca-se que três grupos de ações distintas são identificados durante as etapas do desenvolvimento das culturas, sendo coleta de dados, interpretação e aplicação, mas elas devem ocorrer em todas as fases dos cultivos agrícolas. Cabe destacar

que deve estar presente no ciclo, embora não informada pelos autores, a verificação dos resultados de cada intervenção.

Os fluxos de informação e suas aplicações ao longo do ciclo da AP reservam diferenças importantes, quando a TV utiliza mapas ou sensores para prescrição em tempo real. Segundo Saraiva et al. (2000), uma das vantagens do uso de mapas é o gerenciamento detalhado de uma gleba agrícola, pois permite diferentes simulações, testando modelos e hipóteses antes de ir para o campo. Grisso et al. (2011), afirmam que as informações que podem ser mapeadas são tipo, cor e estrutura do solo, rendimento das culturas anteriores, dados de interesse levantados no campo, dados obtidos por sensoriamento remoto, bem como quaisquer outros que possam ser geo-referenciados. As estratégias podem basear-se em apenas um mapa, ou em diversos mapas.

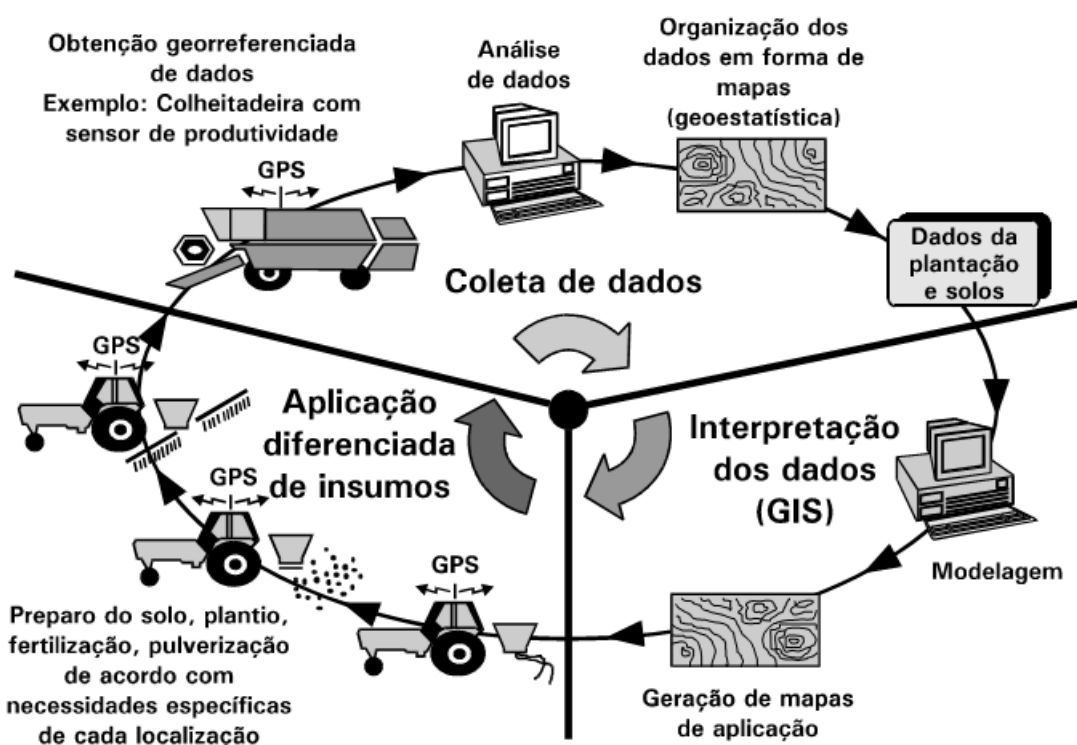


Figura 2 – Ciclo da Agricultura de Precisão

Fonte: Cruvinel e Torre-Neto (1999).

A TV em tempo real não necessita mapas de prescrição prévios, nem sequer exige um sistema de localização. A prescrição inicia pelos sensores, cuja leitura de dados é interpretada por um algoritmo, com sequências de cálculos para definir uma taxa de descarga durante o deslocamento da máquina. Estima-se que este tipo de equipamento deva ter uma qualidade superior em resposta, pelas infinitas possibilidades de variação de ponto a ponto de leitura de atributos, enquanto que os mapas somam pontos semelhantes e interpolam zonas. Os atributos aferidos podem ser do solo, da cultura ou de plantas indesejáveis (GRISSE et al. 2011).

Há ainda um terceiro tipo de intervenção, sem fluxo de sinais, mas sim entre a observação de um operador e seu comando no terminal para interface dos controladores. Não são utilizados dados de sensores ou de mapas, sendo que o equipamento mantém uma dosagem fixa, até que ocorra o comando para uma alteração, diretamente na interface do equipamento. É necessária habilidade suficiente para identificar o fator de mudança, julgá-lo, determinar a prescrição correspondente e alterar a dosagem proporcionalmente, bem como manter a qualidade desse controle ao longo de um turno de trabalho (GRISSE et al. 2011; FULTON, 2009a). Esses sistemas costumam operar na chamada malha aberta.

#### 1.1.5. Potencial da Agricultura de Precisão na produção do milho

O potencial da AP para o aumento da produtividade de grãos é expressivo, dando destaque para o milho, o qual possui uma média da produtividade nacional baixa e as possibilidades de avanço do sistema são maiores. O Brasil ocupa a oitava colocação na produtividade do milho dentre os principais países produtores, atingindo no ano de 2010 apenas 4,38 Mg ha<sup>-1</sup>, que representou 45% em relação ao país detentor da maior produtividade, Estados Unidos (FAO, 2012). A média de produtividade das lavouras brasileiras de milho, entre 2004 e 2012, tem se mantido entre 3,00 e 4,30 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2012).

Dados compilados por Mundstock e Silva (2005), demonstram que de 1984 a 2004, a área cultivada de milho no Brasil não se expandiu muito, embora a produtividade tenha aumentado, ainda não atingindo valores próximos dos potenciais que vêm sendo obtidos na pesquisa (Figura 3).

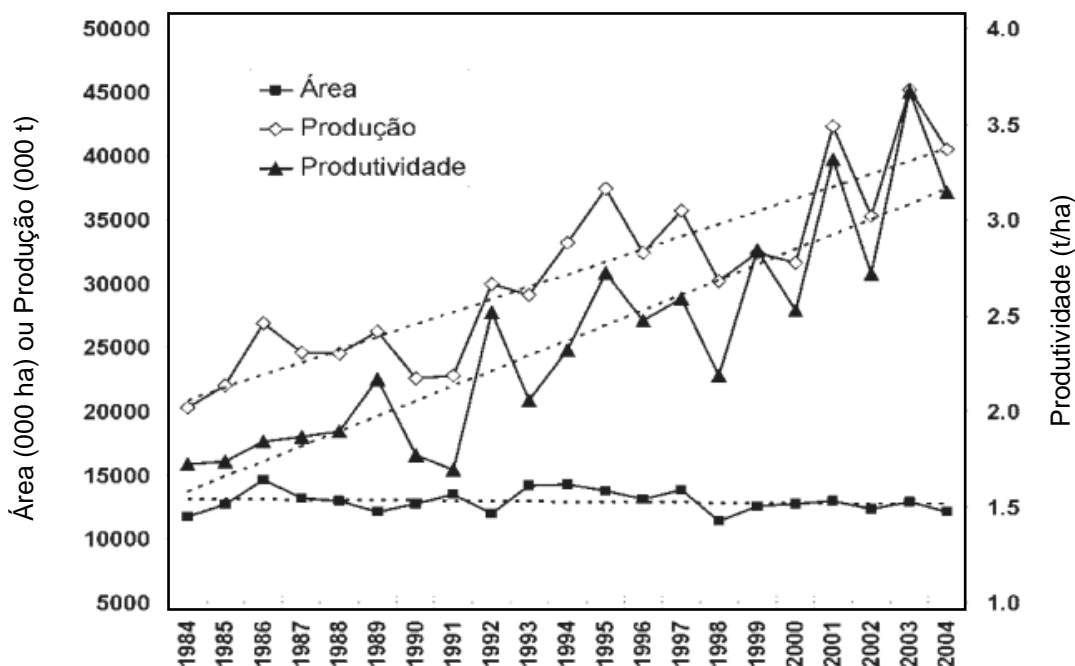


Figura 3 – Área, produção e produtividade do milho no Brasil de 1984 a 2004

Fonte: Mundstock e Silva (2005).

O incentivo na busca por soluções pode ser proporcionado pelo potencial de rendimento obtido por pesquisadores brasileiros, de  $12 \text{ Mg ha}^{-1}$  (UATE et al., 2012; VASQUEZ et al., 2012), e até  $19 \text{ Mg ha}^{-1}$  com dados simulados por modelos de produtividade (ASSIS et al., 2006). A produção total em 2011 foi de 56.018.000 Mg, com previsão de 8% de acréscimo para 2012 (CONAB, 2012). Se o Brasil pudesse estar equiparado aos Estados Unidos quanto à produtividade, teria produzido 25.208.100 Mg a mais.

Embora a evolução no rendimento das lavouras de milho possa ser facilitada pela AP, é necessário ter clareza, por parte de um produtor rural, na análise da falsa impressão que se pode ter, de que ao adotar o sistema isso irá melhorar o desempenho de suas lavouras. Resende (2012) destaca que a AP é uma ferramenta para bons produtores, não um substituto destes. Com isso, o autor denotou que são necessárias habilidades e competências suficientes para executar os processos e seu controle. Os potenciais da AP destacados pelo autor foram: uso racional dos insumos, menor impacto ambiental, adequação das zonas quanto à prescrição de

insumos, maior fluxo de informações e valorização do valor de mercado da propriedade agrícola.

Fulton (2009b) relata outros benefícios, aumentar a eficiência do insumo, aplicando somente onde é necessário, possivelmente reduzir o montante total aplicado, aumentar a eficiência operacional do equipamento no campo e aumentar a produtividade ao proporcionar a otimização das intervenções. Do ponto de vista ambiental, o autor comenta que a TV permite minimizar sobreaplicações e reduzir, ou evitar, aplicações em áreas protegidas. Quanto ao controle de unidades ou seções das máquinas, relatou que pode melhorar a eficiência e acurácia da aplicação, reduzir sobreposição, melhorar o manejo ambiental, reduzir fitotoxicidade, otimizar a eficiência do operador e reduzir a fadiga.

Entretanto, as metodologias utilizadas no trabalho de Ping et al. (2008), que avaliaram a viabilidade técnica e econômica da TV de sementes e de nitrogênio no milho, não permitiram um resultado tão expressivo em função da AP, comparativamente à agricultura tradicional. Os resultados foram variáveis ao longo de diferentes anos agrícolas, havendo resultados mais positivos em determinadas glebas e ciclos, para a produtividade e eficiência do uso do insumo. As razões para as conclusões são simples, as glebas sob agricultura convencional do experimento, foram manejadas segundo um protocolo de boas práticas de manejo, sendo um processo otimizado. Dessa maneira, mesmo havendo menores margens para a TV sobressair-se, a técnica prevalecia sobre o manejo tradicional quando ocorriam déficits hídricos. Mediante a preparação para essa condição climática, a prescrição da TV de sementes ajustava as populações para essa restrição. Os autores destacaram que as pesquisas deveriam ainda ser aprofundadas.

Os proventos da AP no Brasil têm exemplos de resultados mais promissores. Dados apresentados por Roloff e Focht (2004), retratam dados de projetos realizados no Paraná. Em duas propriedades em Piraí do Sul, foram obtidos aumentos de produtividade de 13% para milho e 14% para soja, adotando aplicação de calcário à TV. Em outro caso, no município de Carambeí, é destacada uma economia de R\$ 302,40 ha<sup>-1</sup> na produção de milho e soja, ao passar a aplicar calcário e cloreto de potássio à TV.

O reconhecimento dos atributos mapeáveis dos fatores de produção é essencial para obter-se resultados expressivos, e quanto maiores os contrastes, maiores os potenciais advindos de sua correção. Stoumbaugh et al. (2001)

afirmaram que a efetividade da AP, além de ser altamente dependente da variabilidade no campo, está totalmente vinculada com a habilidade do produtor em identificar e usar o melhor manejo para cada zona do campo. Méndez (2011) exemplifica esta reflexão, ao relatar que nos primórdios da AP Argentina, também se comentava qual seria a heterogeneidade das lavouras e os resultados que poderiam ser esperados. Naquele país, os dados históricos mostraram crescimento da técnica.

O potencial da AP na gestão rural direcionada a critérios ambientais encontra também fortes justificativas, pois esses benefícios podem ser maiores que os financeiros. As vantagens ambientais estão sendo irrefutáveis na defesa da AP, em um grupo de projetos para redução da lixiviação de nitratos na Flórida. O estado é o segundo produtor mundial de *citrus*, e, devido ao alto nível de adubação nitrogenada e o solo facilmente lixiviável, métodos para evitar a contaminação têm sido adotados, incluindo-se as técnicas de boas práticas de manejo da cultura e a distribuição à TV, com a tecnologia denominada árvore individualizada (*single tree*). As pesquisas passaram por etapas onde as máquinas com sistemas de controle existentes no mercado foram testadas e melhoradas. Até então, as limitações se davam pela lentidão na resposta. Após melhorias, as máquinas foram capazes de realizar uma troca total da dosagem em um segundo, o que atendeu aos espaçamentos da cultura e a velocidade da operação. O potencial de economia de fertilizante por esta técnica é da ordem de 38%, e outros benefícios que estão sendo obtidos incluem a redução da lixiviação de nitratos e a melhoria da qualidade dos produtos (MILLER et al., 2003; MILLER et al., 2004; ZAMAN et al., 2005; SCHUMANN et al., 2006a; SCHUMANN et al. 2006b; CUGATI et al., 2007).

Para o investimento na AP, pode ser esperado retorno econômico, ao exemplo de uma das pesquisas da Flórida, na qual Schumann et al. (2005) estimaram que um distribuidor para TV de fertilizantes, custando R\$ 67.628<sup>3</sup>, é capaz de promover uma economia de fertilizantes na ordem de R\$ 121,01 ha<sup>-1</sup>, o que resultaria no retorno do investimento ao 559<sup>o</sup> ha aplicado.

Entretanto, apesar do potencial da técnica estar relacionado ao aumento do domínio sobre a informação e das prescrições, Fulton et al. (2003) alertam para os riscos das limitações e erros ocasionados pelas máquinas agrícolas, pois descrevem estes erros como geralmente desconhecidos. Os autores concluíram que, na teoria,

---

<sup>3</sup>Cotação dólar comercial de 30/12/2008, U\$=R\$ 2,3320.

a tecnologia promove benefícios baseados no cumprimento pleno das dosagens, ou seja, supõe-se que os equipamentos executem plenamente as prescrições.

Para atingir o potencial da AP, devem ser vencidas restrições citadas por Stafford (2000), das dificuldades de manejar um conjunto extenso de dados e aplicar um sistema de controle e decisão sobre os mesmos, mas, sobretudo, e o mais importante para este projeto, declarou que não poderão haver restrições ao nível de desempenho exigido das máquinas, de acordo com cada operação agrícola. Na época da publicação de seu trabalho, o autor afirmou que seria necessário o desenvolvimento de tecnologias de aplicação mais precisas e confiáveis.

Quanto ao futuro, claramente o foco da pesquisa, agricultores e fabricantes irá recair sobre o desempenho das máquinas. Com a expansão das empresas fornecedoras de equipamentos para AP e para TV, o produtor necessitará ter mais conhecimentos sobre os equipamentos, o que deverá orientar sua compra e a utilização dos equipamentos sob pena de ter comprometimento dos resultados. Segundo Shearer et al. (2002), no mercado norte-americano, podem ocorrer maiores erros nas operações quando os produtores adaptam componentes de diferentes fornecedores para a montagem de uma máquina à TV, devido ao menor domínio sobre a compatibilidade e ajustes necessários. Os autores destacaram que, na época de sua publicação, ainda era necessário os próprios fabricantes conhecerem o desempenho de seus equipamentos. Ademais que seus produtos já estivessem no mercado, as empresas ainda não estavam especializadas em avaliações de desempenho e não dominavam as informações necessárias. Essas condições continuam atualmente, e são acompanhadas da inexistência de normas e procedimentos padronizados para ensaio e avaliação.

No caso das semeadoras, as tendências do mercado incluem forte potencial para disseminação da tecnologia de corte de semeadura, por linha ou seção da máquina, que contribui para a redução dos custos de sementes e de insumos, além de reduzir a competição nas áreas onde ocorreria sobreposição de semeadura (GRISSE et al., 2011; MÉNDEZ, 2011). No Brasil, tecnologias semelhantes ainda são mais utilizadas em pulverização, para o corte de seção e mais atualmente de bicos individuais. Segundo Grisso et al. (2011) no mercado norte-americano, o corte de seção para pulverizadores tem forte justificativa em sistemas com adoção de boas práticas de manejo, com cordões vegetados e zonas protegidas, pois possibilita que essas áreas sejam mapeadas e preservadas.



#### 1.1.6. Recomendações para semeadura do milho à Taxa Variável

Se o uso das máquinas, especialmente na semeadura à TV, exige habilidades e competências, um processo racional deve ser adotado para verificar as condições técnicas que o produtor dispõe, bem como em quais deverá evoluir. Após isso, deverão ser definidos parâmetros de população, espaçamento da cultura e devem ser planejadas as ações de monitoramento e também testes de campo.

Segundo Stoumbaugh et al. (2001), "a chave do sucesso da AP está na adoção e uso prudente da tecnologia". Os autores apresentam recomendações para a adoção racional da técnica, onde as primeiras etapas propostas avaliam o potencial do agricultor e da propriedade, para que estejam aptos à inserção da nova tecnologia. As primeiras questões que um agricultor deverá atender, dizem respeito às características gerenciais que devem ser incorporadas anteriormente: possuir um sistema de manejo de dados de produtividade e dados financeiros, uma boa base para computação e internet, um sistema de amostragem de solo em andamento, já utilizar mapas de solo e topografia e possuir dados de vistoria das lavouras de forma sistematizada. Não foram abordadas quaisquer avaliações das máquinas e de seu desempenho.

É interessante a reflexão que remete essa análise quando se trata dos agricultores brasileiros, pois pode-se supor que muitos deles nem atenderiam estas questões colocadas como primeiro passo, para depois suscitar a adoção da AP. Isso pode ser comprovado pelas afirmativas de Bullock et al. (1998), de que as dificuldades técnicas dos agricultores e a falta de informações para embasar a TV de sementes, fazem com que eles não sejam incentivados a adotá-la. Como o mercado norte-americano está à frente do brasileiro, supõe-se que essas restrições ocorram com mais intensidade nacionalmente. Paszkiewicz e Butzen (2007) demonstram que as semeadoras à TV, em um levantamento realizado com produtores do cinturão do milho norte-americano, estão presentes em um terço dos mesmos, mas apenas 20% estão usando plenamente a tecnologia, sendo uma das deficiências o ajuste da população, que apresentou correlação positiva com potenciais de rendimento.

O prosseguimento para a adoção racional da AP seguiria avaliando o sistema agrícola e a definição de metas. Após isso, deverá o agricultor planejar quais componentes irá adquirir. Pode-se recomendar plenamente a aquisição de

monitores de rendimento como passo inicial, enquanto que para outros equipamentos poderá ser sugerida a prestação de serviços, como fertilização à TV. Sugere-se que as intervenções, quando contratadas pelo produtor, iniciem em pequenas áreas e se expandam com os primeiros resultados comprovados (STOUMBAUGH et al., 2001).

Após as etapas planejadas para a adoção da AP serem cumpridas, o produtor deverá saber quais mapas irá levar em conta para as prescrições de densidade de semeadura. Fulton et al. (2010) obteve as zonas de prescrição para milho usando diversos atributos do solo, eletrocondutividade e dados de análise de fertilidade. Ping et al. (2008) utilizaram a eletrocondutividade para definir as densidades de semeadura de milho de forma eficaz.

Para a definição das prescrições na implantação do milho à TV, a decisão sobre a densidade de semeadura e o espaçamento a ser utilizado são primordiais para o sucesso do cultivo. Segundo Cruz et al. (2011), pequenas variações na densidade têm grande impacto no rendimento de grãos, pois o milho é a gramínea mais sensível a essas variações, devendo sua implantação utilizar populações de 40.000 a 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Os autores destacam a tendência de uso de maiores populações, limitadas pelo potencial de cada gleba, pois de uma forma geral irá elevar o rendimento de grãos. Discorrem ainda sobre o espaçamento entre linhas, caracterizando espaçamentos convencionais de 0,80 a 0,90 m, que podem ser considerados adaptáveis a um grande número de lavouras; e espaçamentos reduzidos de 0,45 a 0,50 m, considerados inovadores, para os quais os produtores devem ter maior domínio na adequação da população aos fatores de produção, sendo adequadas para lavouras mais tecnificadas.

Segundo Paszkiewicz e Butzen (2007), no mercado norte-americano nos últimos 10 anos, as áreas com altas populações de milho aumentaram entre 50 e 80%, o que demonstra ter havido um acréscimo em relação aos dados dos anos de 1978 a 1993, compilados por Nielsen (1994), que apontavam as densidades de 69.000 a 80.000 sementes ha<sup>-1</sup> e rendimentos de 7,55 até 11,00 Mg ha<sup>-1</sup>. Cabe salientar a necessidade de correção da prescrição em função de perdas de emergência, onde o autor preconiza até 7%, enquanto que também encontra-se a recomendação de 5% por Pioneer (2009).

No Brasil, Marchão et al. (2005) realizaram experimento com espaçamento entre reduzido de 0,45 m e populações de 40.000 a 97.000 sementes ha<sup>-1</sup>. As

respostas destacadas do experimento, são de que os híbridos interagem ativamente com as populações, determinando que haja adequações individualizadas para cada um. As maiores produtividades, que chegaram a 11,00 Mg ha<sup>-1</sup>, foram obtidas com populações maiores que 70.000 sementes ha<sup>-1</sup>.

Sangoi et al. (2005) avaliaram populações de milho que variaram desde 25.000 a 125.000 plantas ha<sup>-1</sup>, obtendo aumento de rendimento com o aumento da população, e observaram diferenças entre a população ótima para dois híbridos, um simples e um duplo, de 103.132 e 110.362 plantas ha<sup>-1</sup>. Os autores descreveram que o híbrido simples foi mais responsivo ao aumento da população, atingindo rendimento superior a 11,00 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo que não houve restrições climáticas e de fertilidade no experimento.

As recomendações finais que devem ser consideradas são de que o agricultor tenha um plano gerencial já definido como base para a AP, o qual será evoluído com as ferramentas que a técnica proporciona para medir e tomar novas decisões. O agricultor deve inserir na propriedade experimentos que possam melhorar as decisões a cada ciclo agrícola, com destaque para as *strip trials*, que consistem em algumas faixas experimentais, que são preparadas diretamente no mapa de prescrição da semeadura à TV, e por isso facilmente controladas, desde a semeadura até a colheita. Sem a AP, em agricultura tradicional seria difícil implementar um processo de testes semelhante (BULLOCK et al., 1998).

Exemplo da utilização desses conceitos de experimentos em faixas, consta em Hörbe et al. (2013). Os autores semearam milho à TV, para zonas definidas pelo método agricultura por ambientes. Os tratamentos visaram testar as populações mais adequadas, utilizando-se cinco densidades, de 50.000 a 90.000 sementes ha<sup>-1</sup> ao longo de cada uma delas. Os resultados diferiram nas denominadas zonas de baixo, médio e alto potenciais de rendimento, cujas populações otimizadas foram 46.000 a 50.000; 64.000 a 70.000 e 80.000 a 90.000 sementes ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Embora possa ser reconhecido um método racional para implantar a TV na semeadura do milho, e que esse método seja essencial para o sucesso, pouca atenção tem sido dada nestas publicações, sobre recomendações para o reconhecimento do desempenho das máquinas, tais como verificar sua capacidade de cumprir um mapa de prescrição, sua acurácia e os tempos de resposta. São encontradas no mercado de prestação de serviço, por exemplo, inúmeras empresas

disponibilizando máquinas para aplicação à TV, mas poucas trabalhando no sentido de amparar gerencialmente o sistema. Também pode-se esperar que os agricultores não tenham tido essa reflexão, e que essa demanda de serviços de apoio esteja latente, mas com alto potencial.

## **1.2. Sistemas de controle para Taxa Variável**

### **1.2.1. Aspectos conceituais sobre sistemas de controle de máquinas agrícolas**

Sistemas de controle para TV são responsáveis pelo acionamento dos mecanismos dosadores e componentes ativos de máquinas, para que atendam as prescrições correspondentes, sejam elas por mapas, em tempo real ou com intervenção do operador. O controle irá ocorrer em duas fases, sem ou com mudança de prescrição. As máquinas irão atuar no chamado regime estacionário quando estão deslocando-se em uma zona homogênea, enquanto que o regime transitório irá ocorrer ao longo de uma mudança de prescrição ou de velocidade de trabalho ou de comando de dosagem. O regime transitório pode ocorrer em duas fases, crescente e decrescente, correspondente ao tipo de transição que o sistema estará comandando. Uma transição de dosagem é representada normalmente por uma curva senoidal, que mantém uma tendência de estabilização com o tempo, podendo ocorrer variações rápidas da dosagem em forma de oscilações abruptas (picos e vales), de acordo com a estabilidade do sistema (FULTON et al., 1999; UMEZU, 2003).

Um exemplo de fenômeno de resposta encontra-se na figura 4. A mudança de dose, representada pela alteração do sinal de comando, passa de uma taxa qualquer representada pelo algarismo zero, na origem do gráfico, para dosagem de valor 1. A resposta não acompanha este degrau, mas sim, sofre efeitos do atraso natural dos sistemas de controle. Após um crescimento inicial lento, a troca passa a ser mais rápida, com maior inflexão da curva, até acomodar-se próximo da rotação final, normalmente ultrapassando-a antes da oscilação (OGATA, 2011).

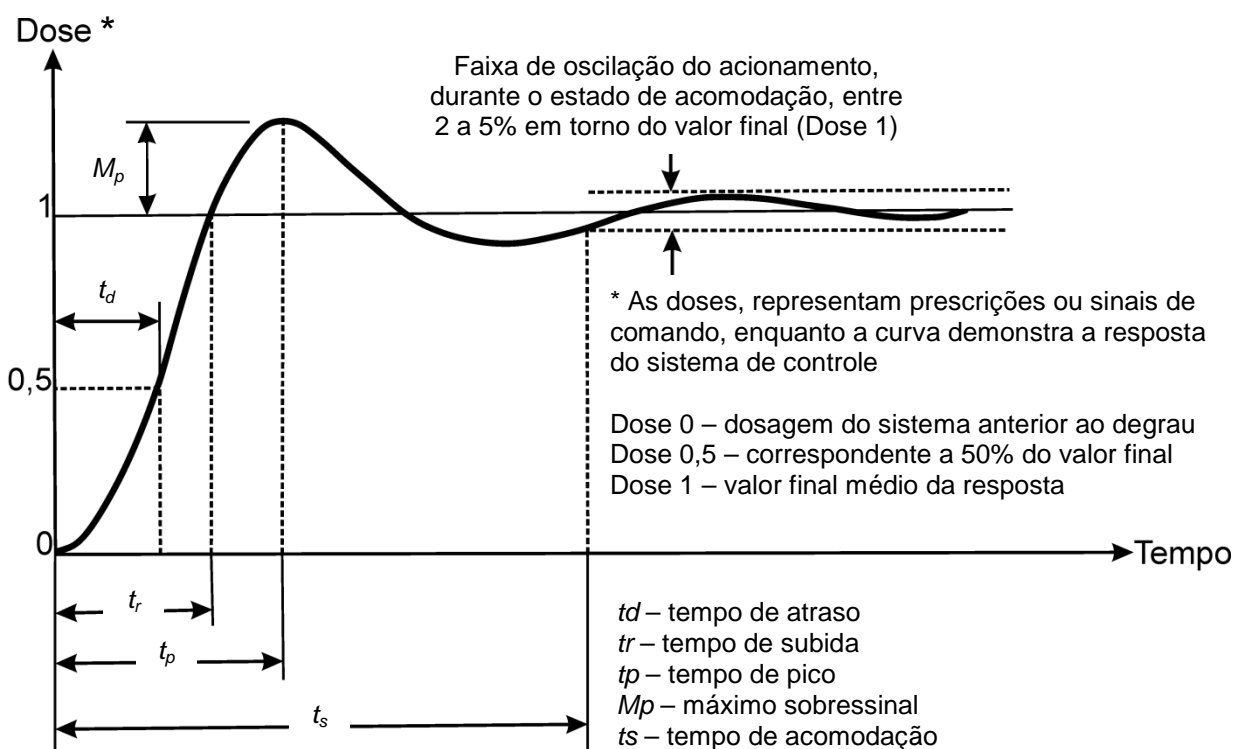


Figura 4 – Curva de resposta típica a uma excitação do tipo degrau

Fonte: Adaptado de Ogata (2011).

A primeira variável do fenômeno demonstrado na figura 4 é aferida quando a resposta atinge metade do valor final pela primeira vez, denominada tempo de atraso (*delay time*,  $t_d$ ). Após esta avaliação, o sistema irá atingir o denominado tempo de subida (*rise time*,  $t_r$ ), caracterizado pela mudança do sistema de 10 para 90% do valor final. O tempo de subida também pode ser avaliado nos intervalos de 5 a 95% ou de zero a 100% do valor final (OGATA, 2011).

Após o sistema atingir a rotação meta, ocorre um ponto de rotação acima da mesma, no qual é aferido o tempo de pico (*peak time*,  $t_p$ ). Neste ponto, além do tempo, é avaliado o máximo sobressinal (*maximum overshoot*,  $M_p$ ), que é o máximo valor porcentual de pico acima da meta, e indica diretamente a estabilidade relativa do sistema. A última variável componente de um fenômeno de resposta é caracterizada quando o sistema atinge valores próximos ao valor final, o tempo de acomodação (*setting time*,  $t_s$ ), aferido quando o acionamento estabiliza-se em uma faixa delimitada em 2 a 5% em torno da média (OGATA, 2011).

Os sistemas de controle podem possuir malha aberta ou fechada, de acordo com a arquitetura dos componentes. Na malha aberta há uma via de fluxo de sinais única, aonde o comando chega até o acionamento do dosador, cessando o ciclo. Já o princípio fundamental da malha fechada, é monitorar o acionamento e possuir um sinal de retorno. É gerado um valor do erro atuante, assim denominado porque o sistema calcula uma compensação no acionamento, complementar ao erro, visando uma aproximação maior da prescrição (UMEZU, 2003).

No sistema em malha aberta, um sinal de referência representando a magnitude da dosagem é identificado pelo controlador, pelo qual o sistema define um sinal de comando, que é enviado do controlador ao atuador. Devido ao sistema não identificar os resultados, pois só há uma leitura de entrada para a definição do sinal de comando, o nível de acurácia dependerá sobremaneira da calibração anteriormente realizada na máquina. Isso significa que, mesmo com doses que desviem significativamente da meta, os sistemas em malha aberta não identificam estes erros. As entradas de referência, de acordo com a malha e operação agrícola, podem ser leituras de prescrição de um mapa, dosagens calculadas em tempo real por um algoritmo, com uso de sensores óticos ativos, ou um valor configurado na interface do controlador (GRISSE et al., 2011).

Um exemplo comparativo de estudo de desempenho entre as duas malhas foi demonstrado na figura 5, de um sistema de controle para dosagem de fertilizantes em linha, submetido ao método de degraus múltiplos, realizado por Umezu (2003). Os gráficos ilustram o comportamento definido por Ogata (2011), para a transição provocada pelo regime transitório. Na malha aberta, os desvios da rotação obtida, representada pela linha contínua, possuem um padrão, em relação à rotação desejada. Essa divergência é atribuída à calibração do equipamento, repetindo os desvios ao longo dos diferentes degraus. Pode-se ainda destacar que a transição é mais lenta em relação à malha fechada, além de supor que as ligeiras variações da malha aberta, podem ser decorrentes do próprio sistema, como por exemplo, provocadas por variação da pressão hidráulica.

Na malha fechada, no gráfico inferior, as transições são mais rápidas, e a rotação obtida aproxima-se mais da linha pontilhada. As oscilações demonstram a ação do sinal atuante do erro, entretanto, para a condição apresentada, ocorreram por tempo excessivo. São observados comandos sequenciais da alteração desse sinal, que caracterizam a sucessão de picos e vales das oscilações observadas, pois

as correções são em sentidos opostos. Devido à falta de estabilidade, o controle pelo método proporcional, integral e derivativo utilizado pelo autor, foi submetido a um processo que denominou ajuste fino, no qual parâmetros configuráveis são alterados. Por esse ajuste, verificou-se posteriormente no trabalho, aumento da estabilidade e da rapidez do sistema (UMEZU, 2003).

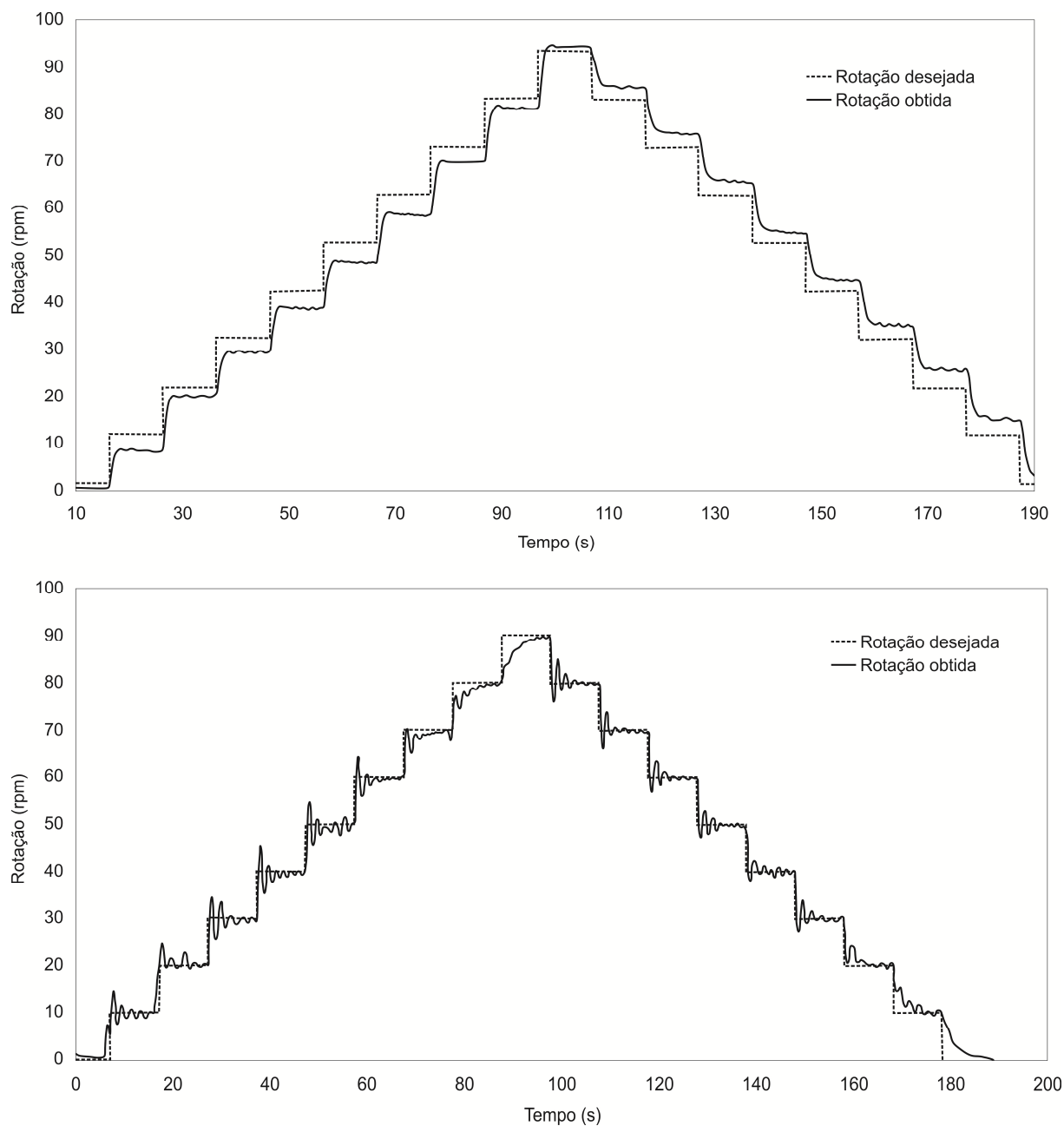


Figura 5 – Curvas de resposta em malha aberta (superior) e fechada (inferior)

Fonte: Adaptado de Umezu (2003).

### 1.2.2. Componentes de sistemas de controle para semeadura à Taxa Variável

Os sistemas de controle são constituídos de diversos componentes, sendo apresentado na figura 6 um modelo generalista, com base nos pacotes que estão sendo montados nas semeadoras. Conjuntos semelhantes estão sendo utilizados para a conversão de máquinas com acionamento pelo rodado motriz, bem como as que estão sendo lançadas por seus fabricantes já com os sistemas de controle. O elemento principal do sistema é um módulo do controlador que contém o terminal para a interface com o usuário, pois centraliza diversas funções. Possui tela para verificação visual, botões de comando e conexões para cabos e portas de comunicação. Suas funções são fornecer informações para navegação e de parâmetros da operação, acessar a configuração e calibração, permitir a inserção de mapas de semeadura e fertilização, além da descarga de dados de trabalhos realizados. A interface é conectada ao restante do sistema de controle e a um sistema GNSS e sua antena. Normalmente, o sistema de localização está incluso na interface, mas poderá haver um terminal específico à parte, com uma segunda interface para o mesmo (BRAGACHINI et al., 2000; SHEARER et al., 2002).

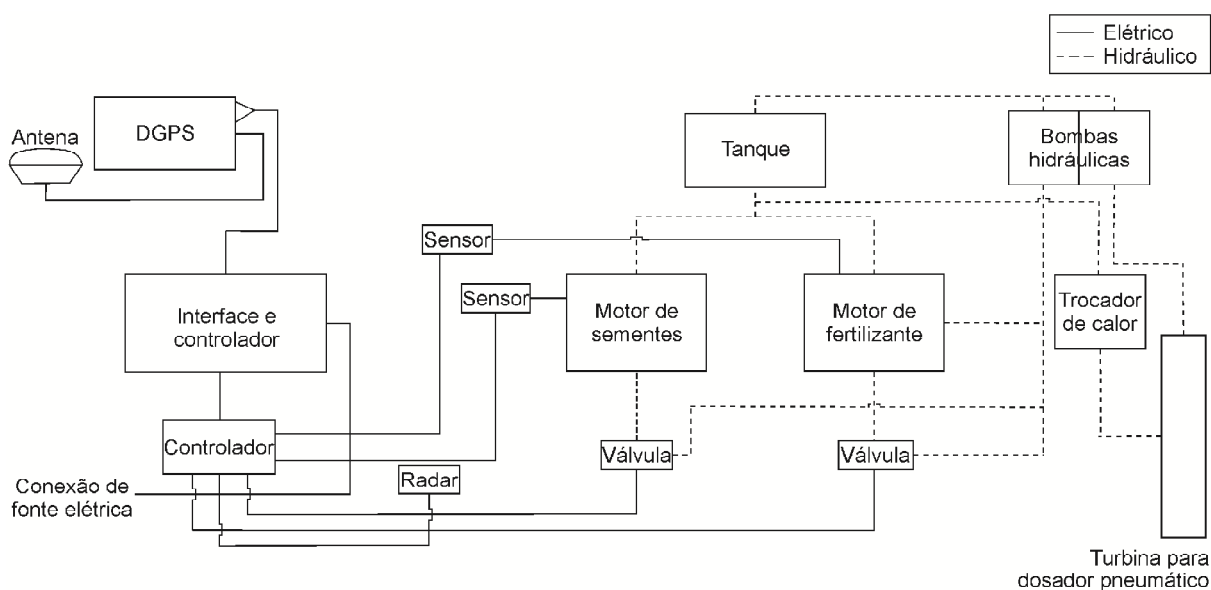


Figura 6 – Diagrama elétrico e hidráulico de um sistema de controle usual para semeadoras à TV



Este sistema de controle também monitora a velocidade de trabalho, podendo ser por radar, sensor para aferição da rotação no rodado da máquina, ou mesmo poderá ser informado pelo sistema de localização. Esses controladores têm utilizado o mesmo terminal da interface para o *hardware* de localização, não exigindo um terminal extra no posto de operação do trator agrícola. Para o controle da dosagem, são utilizadas válvulas hidráulicas proporcionais que regulam o fluxo para motores hidráulicos, que acionam os atuadores dosadores de sementes e de fertilizantes. Sendo um sistema em malha fechada, possui sensores para geração do sinal atuante do erro para cada motor (BRAGACHINI et al., 2000; SHEARER et al., 2002).

A potência hidráulica é gerada por uma ou duas bombas, com acoplamento na tomada de potência. No exemplo representado na figura 6, que utiliza dosadores pneumáticos, há uma turbina geradora de vácuo com uma bomba independente, mas existem casos apenas uma. O sistema hidráulico da máquina possui ainda um reservatório e um trocador de calor. O trator fornece alimentação elétrica e comanda a posição da máquina, para trabalho ou manobras, pelo sistema de controle remoto. A potência, alternativamente pode ser fornecida diretamente pelo sistema hidráulico do trator, o que pode reduzir custos, mas neste caso o mesmo deverá possuir vazão suficiente, sob pena de comprometer a operação (BRAGACHINI et al., 2000; SHEARER et al., 2002).

Os sistemas de controle podem possuir componentes que não são montados junto da interface, principalmente devido às tendências de montagem descentralizadas, onde parte do conjunto é multiuso. Nestes exemplos, um módulo de controle da dosagem, específico de cada máquina, é necessário, enquanto o sistema de navegação é utilizado por diversas máquinas. Para as semeadoras, normalmente são utilizados motores hidráulicos para comandar a dosagem, mas podem ser montados motores elétricos. O módulo da dosagem é responsável pela emissão de sinais para as válvulas hidráulicas proporcionais, que regulam a rotação dos motores (SHEARER et al., 2002).

As semeadoras em linha de precisão utilizam dosadores de diferentes tipos, quaisquer dos mesmos aplicáveis em sistemas de controle à TV. Balastreire (2005) afirma que as semeadoras em linha são constituídas principalmente de mecanismos

do tipo discos alveolados<sup>4</sup> ou do tipo pneumático<sup>5</sup>. Os mesmos têm a função de dosar as sementes a uma taxa pré-determinada e, segundo Murray et al. (2006), devem ser capazes de proporcionar espaçamentos uniformes, pois as culturas apresentam uma resposta de rendimento em função da uniformidade de distribuição de sementes ao longo da linha. Conforme Machado et al. (2005), o parâmetro que define a precisão do mecanismo dosador de sementes, é a regularidade da distribuição longitudinal de sementes.

Segundo Grisso et al. (2011) as semeadoras podem realizar a TV em tempo real, utilizando parâmetros de solo: textura, condutividade elétrica ou matéria orgânica, que são monitorados para alteração da dosagem, o que concorda com as descrições de Saraiva et al. (2000). Entretanto, não foram encontradas pesquisas significativas com estes recursos.

### **1.3. Desempenho de sistemas de controle para Taxa Variável**

#### **1.3.1. Acurácia e tempos de resposta**

Para o reconhecimento do desempenho dos sistemas de controle, primeiramente, é necessário identificar quais procedimentos podem ser adotados nas avaliações, para depois reconhecer as variáveis e seu potencial. Por não existir normas específicas para ensaio de máquinas à TV, Shearer et al. (2002) elaboraram considerações para uma futura norma para avaliação de controladores, com foco na distribuição de insumos à lanço. Os autores destacaram que novas rotinas deverão ser adaptadas às metodologias existentes, baseando-se nas normas da *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE), ASAE S341.2: Procedimentos para medição da uniformidade de distribuição e calibração de distribuidores a lanço; ASAE EP371.1: Procedimento para calibração de aplicadores granulares; e ASAE EP367.2: Guia para preparação de calibração de pulverizadores. As normas são

---

<sup>4</sup>Sinonímia: Discos alveolares (MIALHE, 2012), disco horizontal (MACHADO et al., 2005), disco alveolado horizontal (DIAS et al., 2009), disco perfurado horizontal (COELHO, 1996).

<sup>5</sup>Sinonímia: Dosadores de mecanismo apanhador com auxílio pneumático (MIALHE, 2012), disco vertical pneumático com pressão negativa, ou "vácuo" (COELHO, 1996).

aplicadas, originalmente, para avaliar máquinas que operam somente em taxas constantes.

Para os distribuidores, Shearer et al. (2002) mantiveram uma matriz de coletores em duas dimensões, preconizada por Fulton et al. (2001), o que visava aferir o comportamento da distribuição transversal, durante as trocas de dosagem, cujos comandos ocorriam sobre a área de avaliação, ao longo do deslocamento do distribuidor. Essas metodologias com avaliação direta, foram posteriormente aplicadas por Fulton et al. (2003) e Fulton et al. (2005).

A metodologia de avaliação de distribuidores pela coleta de insumos, não leva em consideração os sinais de comando emitidos pelo controlador, ou mesmo não obtém o comportamento da resposta da rotação das esteiras ou da abertura longitudinal da comporta do sistema dosador. Somente é aferido o resultado global, diretamente pela coleta de insumos. A mesma descrição se aplica aos levantamentos realizados por Fulton et al. (2007), Reeg (2011) e Hörbe et al. (2013), para semeadoras em linha à TV, nos quais foram aferidas populações de plantas no campo. As metodologias diretas, sem monitoramento de variáveis tais como rotação dos dosadores, medem o desempenho de um resultado que é dependente de um conjunto de elementos. Populações de campo são afetadas por uma combinação de fatores do ambiente, de manejo da cultura e dos insumos, somadas as deficiências na dosagem que podem ser geradas pelos sistemas de controle. Além disso, com esse tipo de metodologia, não é possível dissociar o fenômeno de resposta quanto às influências da latência do fluxo dos insumos, desde o reservatório das máquinas até o solo, dos componentes eletrônicos, mecânicos, hidráulicos ou do *software*.

O trabalho de Shearer et al. (2002) complementa outros aspectos para as avaliações, pois eles recomendam que à norma ASAE S341.2 também deva ser adicionado um procedimento para avaliação do tempo de atraso no fluxo do material, no equipamento e até o solo, para fins de determinação de tempos de adiantamento. Os autores determinaram também que, durante os testes, o abastecimento de insumos deve ser representativo da operação de campo, de forma que os dosadores exijam seu torque normal de acionamento; que os sensores, utilizados para aquisição de dados devem garantir exatidão adequada dos valores coletados nas avaliações, e que as configurações e os componentes do controlador devem ser especificados. Quanto ao roteiro pelo qual os testes devem ser conduzidos, afirmaram que devem ser realizadas trocas de dosagem e frequências

correspondentes à utilização dos equipamentos no campo. Para isso, estabeleceram uma sequência de degraus correspondente às combinações entre as doses de 0, 50, 75 e 90% das doses máximas dos insumos, para as transições.

Atualmente, o processo de normalização dos ensaios de controladores para distribuidores de insumos está em *status* de mudança, pois, segundo ASABE (2012), dentre os projetos que estão tramitando, no grupo PM-54: Agricultura de Precisão, há o projeto de norma X573: Procedimentos para avaliação de acurácia de aplicação à TV de materiais granulares.

Para desenvolver um protocolo de testes para máquinas à TV, é possível ainda considerar da norma ASAE S341.3 (ASABE, 2004), o preenchimento do reservatório de fertilizantes granulares em 40 a 50% da capacidade e, caso não utilizados no prazo de 4h, deve ser esvaziado e abastecido novamente. As rotações de acionamento devem ser correspondentes às dosagens especificadas pelo fabricante, assim como a velocidade escolhida para o teste, esta devendo ser mantida homogênea.

As avaliações para obtenção das variáveis de desempenho das máquinas à TV podem ser denominadas diretas, quando a própria variável é aferida, ou indiretas, quando os valores são obtidos a partir do comportamento de uma variável mensurável, cuja relação com a variável resposta possa ser estabelecida. As variáveis podem ser de dois tipos, o primeiro representando o erro quantitativo das intervenções à TV, correspondente ao desvio da dose média obtida na operação em relação à meta, é denominado acurácia, sendo normalmente aplicável ao regime estacionário de acionamento. O segundo tipo de variáveis descreve como a dose comporta-se ao longo de um tempo determinado, descritas por Ogata (2011), e de uma forma generalista são denominados tempos de resposta.

A acurácia é verificada por avaliações diretas, com a coleta do insumo, no caso dos distribuidores, aferição da distribuição dos propágulos vegetativos ou de plantas emergidas, no caso das máquinas para implantação de culturas. A aferição de sementes é interessante do ponto de vista que isola as influências do ambiente e de outros fatores na emergência das plantas, sendo mais usual em laboratório. Pela avaliação indireta, a acurácia é verificada a partir de uma variável mais facilmente mensurável, no caso das semeadoras, da rotação de um dosador. Nesse caso, é necessária a correlação com um valor de uma rotação de referência, e correspondente a uma determinada prescrição e condição operacional. Segundo

Shearer et al. (2002), a acurácia é a diferença porcentual entre a prescrição que o controlador lê na zona do mapa, ou determina pelo cálculo do seu algoritmo para sistemas em tempo real, denominada taxa ou dose pretendida ou prescrita, e a taxa de descarga real obtida em cada ponto no campo, ou no caso dos experimentos, denominada experimental. A acurácia é analisada em conjunto com as medidas que qualificam o sentido do erro, denominado erro absoluto, que corresponde à diferença entre as doses prescrita e experimental, além das medidas de dispersão entre as unidades experimentais.

Para aprofundar a discussão do comportamento de uma máquina ao longo de diferentes dosagens nos experimentos, outro importante recurso é um gráfico das taxas de aplicação prescrita e experimental, associado a uma equação linear. O gráfico considera as prescrições como variáveis independentes, e as respectivas densidades de semeadura experimentais representam as variáveis dependentes. Uma linha de referência, chamada de linha 1:1 também é demonstrada nesse gráfico, que indica a operação ideal da máquina, associada com a reta linear que correlaciona as aferições. Assim, a proximidade que ocorre entre a reta linear e a 1:1 indica a acurácia. Além disso, o parâmetro relativo à inclinação da equação determina o quanto a máquina tende a aplicar mais ou menos em doses altas ou baixas, e o coeficiente de determinação explica a estabilidade e decorrente dispersão dos pontos em relação à linear (SCHUMANN et al., 2006a; CERRI, 2001).

Segundo Shearer et al. (2002), a acurácia das máquinas pode ser comprometida no desenvolvimento dos sistemas de controle, devido à qualidade do projeto e dos componentes, bem como na montagem realizada. Os autores afirmaram que os erros relativos à acurácia são significativos, tanto para aplicação de sólidos quanto de líquidos; que têm impacto final na renda dos produtores, e que esses erros são desconhecidos pelos usuários, podendo ainda ser gerados pelo operador, durante a calibração e uso da máquina. Os autores comentaram ainda que a qualidade das respostas das máquinas pode ser desconhecida, além dos fabricantes, pela assistência técnica e revendedores.

A terminologia referente à acurácia também apresenta aspectos importantes que devem ser destacados. Segundo Monico et al. (2009), a acurácia é a exatidão de uma operação, representada pela habilidade de uma medida em aproximar-se do valor atual ou de referência. Ela pode ser confundida com o conceito de precisão, que é a regularidade no atendimento de uma medida. Na precisão são considerados

efeitos aleatórios que interferem na regularidade, enquanto que na acurácia, além dos efeitos aleatórios, são considerados efeitos sistemáticos. Dessa forma a precisão está contida no conceito de acurácia, pois ela leva em conta a tendência e a precisão.

Os experimentos em que foram utilizadas as semeadoras à TV, que podem ser verificados nos referenciais disponíveis, têm utilizado os métodos de avaliação direta, com aferição da população de plantas. Um exemplo, segundo um projeto de avaliação de lavouras de algodão mantido pela Universidade de Auburn, Alabama, Estados Unidos, apresenta acurácia expressiva, com erro absoluto negativo, ou seja, ocorrem populações menores que as metas. Isso foi atribuído à calibração, configuração do controlador, germinação e emergência das sementes. A acurácia foi de 4,99 a 34,75%, havendo maior redução de estande nas maiores populações (FULTON et al., 2007).

Em 2010, dados de 47 aferições de populações de milho de lavouras implantadas com equipamentos de produtores rurais norte-americanos, apresentados por Reeg (2011), demonstraram que em quase metade das mesmas, a acurácia excede o valor máximo de 3%, estipulado por Cerri (2001) para a validação de máquinas à TV. Segundo os dados apresentados, em 56% das áreas foram aferidas acurácias próximas de 3%, o que não excederia o valor máximo especificado, tomando-se como referência a população de 83.519 plantas ha<sup>-1</sup>. Entretanto, 25% das áreas possuíam acurácia entre 3 e 6%, enquanto que em 19% das áreas, os erros na semeadura atingiram acurácias de mais de 6%.

A acurácia observada em Hörbe et al. (2013), de uma semeadora à TV na implantação de milho, foi de 0,37 a 2,92 e de 7,08 a 12,38%, em dois experimentos. No segundo caso, segundo os autores, a emergência de plantas foi prejudicada por ocorrência de chuvas de grande intensidade, afetando a população final de plantas.

Já o método por avaliação indireta da acurácia pode ser exemplificado pelo experimento realizado por Cerri (2001), para a avaliação de um sistema de controle para aplicação de calcário à lanço. Na fase final de desenvolvimento, o autor testou o sistema somente com a aferição da abertura da comporta, enquanto o equipamento transitava pelas áreas de prescrição do mapa. Para o autor, a medição indireta facilitou o desenvolvimento do produto. A máquina foi ainda submetida à avaliação direta no campo, como forma de validação operacional do equipamento, com coleta de insumo. Os resultados apontaram que o equipamento operava em

limite adequado, pela avaliação do autor, ao analisar valores médios de três doses, com acurácia de 1,39, 2,92 e 3%. Entretanto, analisando-se os valores das repetições, ocorreram acurácias desde 0,69 a 9,00%.

Além da magnitude da acurácia, uma avaliação do desempenho de uma máquina à TV deve demonstrar a variabilidade da dosagem, que representa a estabilidade do sistema. Entretanto, a maioria dos autores que vêm realizando avaliações de máquinas à TV, não considera esta informação em seus trabalhos. Em alguns casos, como em Molin e Menegatti (2003), não foram utilizadas repetições do procedimento, sendo realizada coleta de insumos por uma faixa de aplicação única, ao longo de duas linhas laterais de coletores.

Entretanto, análises da variabilidade da dosagem podem ser encontradas no trabalho de Fulton et al. (2003), onde foram testados três distribuidores de insumos à TV. A primeira consideração importante a ser realizada a partir deste trabalho é que consideraram como limite adequado para o coeficiente de variação da taxa de dosagem, o valor máximo de 20%. Dentre os equipamentos testados, em dosagem correspondente ao regime estacionário, apenas um dos equipamentos esteve fora deste limite, atingindo 27,40%, enquanto que a média dos coeficientes de variação atingiu 13,40% e o valor mínimo foi correspondente a 5,80%.

Embora a acurácia demonstre o erro global de uma máquina à TV, pouco representa da qualidade da troca de dosagem, onde o foco passa a ser o fenômeno de resposta no regime transitório. Suas variáveis são relacionadas com os tempos para os eventos do fenômeno de resposta, representando a rapidez e a estabilidade com que uma mudança de dose ocorre no campo.

Para os tempos de atraso e de subida, diferem os valores percentuais das transições considerados nas avaliações, para os tempos de atraso e transição. Na metodologia desenvolvida por Fulton et al. (2001), utilizada por Fulton et al. (2005) e Schumann et al. (2006a), o tempo de atraso foi aferido quando o sinal atingiu 10% da mudança de comando e o tempo de subida, denominado de tempo de transição, foi medido até o comando atingir 90% da troca. Os autores utilizaram uma denominação diferenciada na avaliação, utilizando a descrição tempo de resposta para representar o somatório do tempo de atraso e tempo de transição. Em outros experimentos, como Molin e Menegatti (2003), Cerri (2001) e Serrano et al. (2007), o tempo de resposta também foi considerado para definir o somatório do tempo de atraso e subida, entretanto, foram utilizados os referenciais de zero e 100% da

dosagem. É importante a ressalva de que, para os experimentos considerados, somente infere-se sobre a transição, não obtendo-se avaliação da acomodação, que pode comprometer o desempenho.

Os tempos de acomodação podem ser exemplificados pelos estudos que vêm sendo desenvolvidos para pulverizadores, sendo representados também pela terminologia tempo de resposta, pelos autores. Segundo Antuniassi et al. (2002), sistemas experimentais são capazes de compensar alterações em tempo inferior a um segundo, mas os sistemas comerciais disponíveis atualmente apresentam tempo de acomodação geralmente superior. O equipamento comercial de injeção de defensivos testado com mudanças de velocidade de deslocamento, apresentou tempos de acomodação médios entre 6 e 20 s. Gadanha Junior et al. (2001), apresentaram resultados de tempo de acomodação aferidos durante a avaliação de três controladores de fluxo avaliados em bancada, obtendo valores entre 1,10 e 14,66 s. Os equipamentos, segundo os autores, possuíam dificuldade em atingir uma dose planejada, e em mantê-la durante a operação, o que era agravado com as mudanças de velocidade.

A variabilidade dos tempos de resposta podem ser observada no experimento de Gadanha Junior et al. (2001), que apresentou valores de 17,00 a 69,00% para o coeficiente de variação. Já no trabalho de Miller et al. (2004), verifica-se que podem ocorrer ainda maiores valores, sendo atingido até 102,90%, para tempos de atraso na fase crescente, e 95,40%, na fase decrescente.

Os experimentos em bancada, mantendo os recursos de navegação e controle de velocidade que são executados no campo, são realizados por meio de simulação, conforme Gadanha Junior et al. (2001). A simulação é realizada com aplicativos, como o desenvolvido por Paz et al. (1997), para utilização no desenvolvimento de monitores para semeadura. O objetivo era propiciar um trabalho semelhante ao realizado no campo, antes do final do projeto. O programa desenvolvido é capaz de gerar os mesmos dados que um *Global Positioning System* (GPS) em movimento, possui comandos de direção e velocidade, visualização da movimentação em mapa, introduz erros aleatórios, possui interface semelhante a um GPS comum e utiliza o protocolo NMEA - 0183<sup>6</sup> para comunicação, com a porta serial de computadores.

---

<sup>6</sup>Protocolo de transferência de dados de uso na navegação terrestre e marítima, desenvolvido pela *National Marine Electronics Association* (NMEA) para normalizar a comunicação entre dispositivos.



## 1.4. Distribuição longitudinal de sementes

### 1.4.1. Aspectos conceituais sobre a distribuição longitudinal de sementes

Para a distribuição das sementes, a acurácia trata da relação das dosagens pretendida e obtida, enquanto que a qualidade da distribuição longitudinal é medida pelos espaçamentos entre sementes e sua regularidade. De acordo com o projeto de norma para avaliação de semeadora de precisão em laboratório, desenvolvido pela ABNT (1994), a regularidade da distribuição longitudinal de sementes deve ser avaliada pelas classes de frequência dos espaçamentos, de acordo com sua adequação ao espaçamento ideal planejado (espaçamento de referência), em porcentagens de aceitáveis, múltiplos e falhos. A norma editada pela AENOR, identificada por UNE 68-081-88 (1988), equivalente à norma da *International Organization for Standardization - ISO, 7256/1* (1984), apresenta métodos de ensaio para semeadoras de precisão, somando em relação à norma da ABNT, as definições do espaçamento médio entre as sementes e a precisão da distribuição longitudinal. Cabe salientar que estas normas dedicam-se às máquinas com acionamento convencional, pelo rodado motriz, que é constante e proporcional à velocidade. Destaca-se que semeadoras de precisão são aquelas capazes de singularizar as sementes, utilizadas em culturas como milho, soja, girassol, algodão e feijão, dentre outras.

Como inexitem normas para ensaiar a distribuição de sementes por máquinas com sistemas de controle, a normalização para acionamento convencional, colabora com importantes informações a serem consideradas. Dessa forma, uma semeadora à TV, além de ser avaliada quanto à distribuição de sementes com as variáveis da ABNT (1994) e AENOR (1988), poderia também ter determinada a acurácia, descrita por Shearer et al. (2002).

Diversas orientações para testes com semeadoras à TV poderão ser embasadas nos procedimentos descritos nas normas. A ABNT (1994) determina que após a medição dos espaçamentos entre sementes, a classificação ocorra a partir do valor agrônômico do espaçamento entre sementes planejado, denominado espaçamento de referência ( $X_{ref}$ ), sendo espaçamentos aceitáveis aqueles

correspondentes de 0,5 a 1,5 vezes o  $X_{ref}$  e os múltiplos e falhos, quando extrapolam esses valores, abaixo e acima destes limites. Também são calculadas as medidas de dispersão para cada classe, sendo utilizados o desvio padrão e o coeficiente de variação. A AENOR (1988) mantém esses limites e classes de espaçamentos, somando aos mesmos a precisão, que é uma medida de dispersão dos espaçamentos entre sementes da classe aceitáveis.

Os espaçamentos aceitáveis, falhos, múltiplos e precisão apresentam medidas que podem ser facilmente interpretadas. Entretanto, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes devem ser melhor esclarecidos, pois apesar de, em uma primeira vista não serem tão significativos da qualidade da distribuição, como os primeiros, reservam importantes informações. Segundo Kachmann e Smith (1995), o desvio padrão sofre influências mais fortes de espaçamentos grandes, pois é uma medida que envolve a raiz quadrada do desvio em relação à média. Como exemplo, ao analisar o desempenho de uma semeadora, os autores identificaram desvio padrão de 11,8 cm entre sementes, a uma velocidade de  $3,2 \text{ km h}^{-1}$ , o que determinou limites de 6 a 29,6 cm em torno da média. Isto representa mais a amplitude do intervalo, do que a variação em torno do pico de distribuição que ocorre na média, caso a distribuição fosse normal.

Quanto à média dos espaçamentos, Kachmann e Smith (1995) recomendam cuidado nas análises, pois mais do que a capacidade da máquina, representam a habilidade dos operadores em calibrá-la. Além dos usuários, o número de relações de engrenagens que a máquina possui, pode comprometer a acurácia, em termos de oferecer poucas opções de regulagens de engrenagens, com pouca proximidade das relações com a meta pretendida.

De acordo com os comentários anteriores, pode-se afirmar que as máquinas para a semeadura à TV surgem com um potencial sobre suas antecessoras, pois os sistemas de controle eletro-hidráulicos podem oferecer inúmeras aberturas das válvulas, o que equivale a mais possibilidades de relações do que as máquinas convencionais. Em contrapartida, enquanto nas convencionais a roda de terra aciona proporcionalmente os dosadores, de acordo com as mudanças de velocidade no campo, essa pode ser uma desvantagem da máquina com sistema de controle. Será necessária muita qualidade para que muitas rotações sejam aplicadas, somente para atender as mudanças de velocidades das semeadoras no campo.

Ainda com relação à norma da ABNT (1994), os ensaios podem ser obrigatórios ou facultativos, estacionários ou com deslocamento da máquina ou da unidade de semeadura, devendo ser observado tempo de estabilização de 15 s para teste estático, e distância de estabilização de 10 m para teste dinâmico.

As indicações de Coelho (1996) para ensaios de semeadoras concordam com as normas citadas na realização de testes em laboratório, com bancada, ou em campo; entretanto este último visando a expressão de parâmetros comportamentais dos sulcadores e recobridores, e não da distribuição de sementes. O autor destacou que bancadas poderão receber a instalação da semeadora completa ou de uma unidade de semeadura, e devem ser equipadas com motores elétricos, para obter-se diversas velocidades tangenciais simuladas. Deverá haver uma esteira, recoberta com graxa ou tecido adesivo para a fixação das sementes, no exato local de sua deposição, também permitindo a simulação das velocidades de trabalho.

Ressalta-se que a obrigatoriedade de ensaios abordados por Coelho (1996), ABNT (1994) E AENOR (1988), é vinculada aos casos de homologação de máquinas para semeadura em linha, não exigidos atualmente no Brasil. Por isso os experimentos de distribuição de sementes, em geral, levam em consideração as normas, mas não executam os protocolos completos dos mesmos.

#### 1.4.2. Qualidade da distribuição longitudinal de sementes

A posição que cada semente ocupa no campo é importante, pois segundo Ortiz-Cañavate (2003), a exatidão superficial da área disponível para as plantas de milho, dentre outras culturas, é exigida para uma produtividade ótima. Corroborando a afirmativa, Vieira Junior et al. (2006) comentaram que a qualidade da distribuição de sementes, somada à acurácia da população, são fundamentais para o rendimento, ou seja, importam a posição e a quantidade de plantas. Os autores justificam que a distribuição de plantas normais, possui coeficiente de determinação significativo com a produtividade e que a presença de plantas dominadas, originadas pela irregularidade da distribuição, compromete o rendimento. Afirmaram ainda que um limite adequado para a variabilidade dos espaçamentos entre sementes, em termos do coeficiente de variação seria de 20%, descartando-se as plantas

dominadas, originadas de espaçamentos múltiplos, e que não expressaram seu potencial de produção.

Após destacar a importância da distribuição longitudinal de sementes para a produtividade do milho, é importante entender a relação da regularidade da semeadura com os dosadores. Por isso uma qualificação para o desempenho das semeadoras de precisão, a partir da porcentagem de espaçamentos aceitáveis, foi proposta por Tourino e Klingensteiner (1983). A qualificação de desempenho ótimo é obtida com 90 a 100% de espaçamentos aceitáveis, bom de 75 a 90%, regular de 50 a 75% e insatisfatório abaixo de 50%.

De acordo com Coelho (1996), os níveis mínimos de desempenho esperados para espaçamentos aceitáveis são de 60% para dosadores de sementes de discos alveolados, somando isso à afirmativa de que os mesmos devem proporcionar coeficiente de variação entre os espaçamentos de até 50%. Já para dosadores pneumáticos, preconizou mais de 90% de espaçamentos aceitáveis e coeficiente de variação entre as plantas de até 30%. O autor na época suscitou que os dosadores pneumáticos iriam aumentar sua expressão no mercado, brevemente somando 60% de participação. Sua justificativa era de que isso ocorreria em função de os sistemas agrícolas passarem a exigir semeadoras mais eficientes, e mais evoluídas tecnologicamente, e do potencial do dosador pneumático, cuja expectativa era de ser superior a outros tipos.

Os mecanismos dosadores, segundo Dias et al. (2009), são os componentes mais importantes das semeadoras. Entre os mesmos, é necessário dissociar o potencial de cada um, sobretudo porque podem ser encontrados contrastes às afirmativas de Coelho (1996) sobre a superioridade dos dosadores pneumáticos. As condições em que este prevalece, podem ou não ocorrer, ou seja, em uma parte dos experimentos essa diferença não é identificada. Apesar disso, uma vantagem confirmada dos dosadores pneumáticos é de poderem operar praticamente sem danos mecânicos às sementes, segundo Balastreire (2005).

Pesquisas demonstram que o dosador de discos alveolados vem dominando o mercado, por motivos como o referido por Rocha et al. (1992), de menor custo. Mantovani et al. (1992) realizaram experimento onde semeadoras com dosadores pneumáticos e de discos alveolados apresentaram qualidade de distribuição semelhante, o que contrasta com as afirmativas de Coelho (1996) e justifica que os reais impactos de cada dosador, deva ainda ser aprofundado.

A predominância dos dosadores de discos alveolados foi corroborada por Santos e Weirich Neto (1999), que ao avaliar 36 semeadoras, de 22 propriedades rurais na região de Guarapuava, Paraná, verificaram que 58,33% possuíam este tipo de mecanismo, enquanto que 19,44% eram equipadas com dosadores pneumáticos e 22,22% com dedos prensos. As máquinas possuíam ano de fabricação entre 1980 e 1998. Atualmente as tendências preconizadas por Coelho (1996) não se concretizaram, pois Francetto et al. (2012) comprovam a continuidade da predominância do dosador de discos alveolados, ao verificar que dentre 558 modelos do mercado brasileiro de semeadoras, 79,57% utilizam o mesmo.

Reis e Alonço (2001), ao realizarem levantamento de diversas pesquisas sobre dosadores, verificaram que os de discos alveolados tiveram médias de aceitáveis de 56,70%, múltiplos de 22,50% e falhos 18,70%, desempenho inferior aos pneumáticos que apresentaram 81,10; 7,00 e 6,00%, respectivamente. Os coeficientes de variação médios dos espaçamentos entre sementes foram de 55,50% para discos alveolados e 32,60% para pneumáticos. Em uma primeira análise, os dados médios são representativos dos níveis de desempenho preconizados por Coelho (1996). Entretanto, ao analisar os valores máximos obtidos para os aceitáveis, os dosadores de discos alveolados atingiram 88,70%, relativamente próximo dos 96,40% obtido pelos pneumáticos, o que permitiu aos autores concluir que, quando otimizados, os dosadores de discos alveolados podem assemelhar-se aos pneumáticos.

Em contrapartida, segundo os dados de Reis e Alonço (2001), uma análise dos desempenhos mínimos encontrados, demonstrou que os discos alveolados têm a tendência de operar com mais falhos e múltiplos. Os autores justificam como razões possíveis a inadequação entre sementes e alvéolos, deficiências nos componentes para exclusão da semente do alvéolo, e uso de velocidades tangenciais do disco superiores ao que seria adequado.

Dentre os fatores que interferem no desempenho dos dosadores, um dos principais é a velocidade de trabalho dos conjuntos mecanizados. Segundo Delafosse (1986), o milho é uma cultura que sofre influência da velocidade de semeadura na distribuição longitudinal de sementes. Dessa forma, a velocidade é inversamente proporcional à porcentagem de espaçamentos aceitáveis, além de diretamente proporcional aos múltiplos e falhos.

Mahl et al. (2004) ao avaliarem dosadores de discos alveolados na semeadura de milho, verificaram que velocidades de 4,4 a 6,1 e 8,1 km h<sup>-1</sup> propiciaram espaçamentos aceitáveis de 88,39, 88,56 e 81,70%, reduzindo-se significativamente para a maior velocidade testada. Entretanto, Jasper et al. (2009) demonstram que dosadores de discos alveolados podem operar próximo a 90% de espaçamentos aceitáveis em velocidades baixas, e Jasper et al. (2006) obtiveram até 97,80% de aceitáveis nas mesmas condições. Uma síntese destes autores permite inferir que o potencial de desempenho dos dosadores de discos alveolados, quanto aos espaçamentos aceitáveis em velocidades baixas, está acima da média e mais próxima dos valores máximos encontrados por Reis e Alonço (2001), bem como acima dos valores mínimos recomendados por Coelho (1996).

Além dos efeitos da velocidade de trabalho, o aumento das densidades de semeadura pode deteriorar o desempenho do dosador de discos alveolados, pois a combinação desses fatores aumenta a velocidade tangencial do mecanismo dosador. Segundo Machado et al. (2012), ocorre efeito significativo do aumento de população quando variaram em cinco níveis de 50 a 120.000 sementes ha<sup>-1</sup>, para velocidade de trabalho de 6 km h<sup>-1</sup>. Dentre as populações testadas, aqueles entre 50.000 a 70.000 sementes ha<sup>-1</sup>, equivalentes a velocidades tangenciais do disco de 0,13 a 0,18 m s<sup>-1</sup>, mantiveram-se na melhor faixa de desempenho, sem diferença significativa, para as quais obteve-se na ordem de 95 a 96% de espaçamentos aceitáveis. Na dosagem máxima, 120.000 sementes ha<sup>-1</sup>, os aceitáveis foram reduzidos para 80,30%. O mesmo exemplar do dosador de discos alveolados, testado por Montemezzo Junior et al. (2011), sofreu efeito semelhante com aumento semelhante das populações de aproximadamente 46 a 72.000 sementes ha<sup>-1</sup>, operando entre 98,00 e 89,50% de aceitáveis, com velocidade de 5 km h<sup>-1</sup>.

Tendo em vista que a velocidade de trabalho e a população de plantas interagem resultando na velocidade tangencial, existe um limite da mesma para dosador de discos alveolados recomendado pela FAO de 0,29 m s<sup>-1</sup> e pela ASAE de 0,315 m s<sup>-1</sup> (DELAFOSSÉ, 1986).

Silva et al. (2000) ao testarem um dosador de discos alveolados com densidade de 5,9 sementes m<sup>-1</sup>, equivalente a 65.555 sementes ha<sup>-1</sup>, verificaram 91,70% de aceitáveis em 3 km h<sup>-1</sup>, decrescendo significativamente para velocidades superiores, até 9 e 11,2 km h<sup>-1</sup>, onde o desempenho da máquina foi considerado irregular, com 50,90 e 46,70% de aceitáveis. Além disso, as avaliações

verificaram que a densidade de sementes e a produtividade foram superiores para as velocidades de 3 e 6 km h<sup>-1</sup>. Estes dados sofrem redução de qualidade de desempenho semelhante às verificações de Pacheco et al. (1996), pois os autores obtiveram com o mesmo dosador, 83,67% de aceitáveis em 5 km h<sup>-1</sup>, reduzindo-se até 43,22% em 9,3 km h<sup>-1</sup>. Contrastando com os dados anteriores, onde os dosadores de discos alveolados têm potencial de desempenho ótimo, os experimentos de Silva et al. (2000) e Pacheco et al. (1996) comprovam que influências na operação, tal como o aumento da velocidade, podem comprometer o desempenho de uma semeadora chegando até mesmo em nível insatisfatório.

Santos et al. (2008) não identificaram redução da qualidade de distribuição por uma semeadora com dosador de discos alveolados em relação a duas máquinas com dosador pneumático, com discos duplos e hastes para abertura do sulco e deposição do fertilizante. A semeadora com discos alveolados apresentou aceitáveis decrescendo de 84,70 a 78,70%, em velocidades de 5 a 8 km h<sup>-1</sup> e população de 85.714 sementes ha<sup>-1</sup>. As semeadoras pneumáticas apresentaram de 68,70 a 50,30% e de 82,00 a 71,30% de aceitáveis, para mecanismo disco duplo e haste, respectivamente, com a mesma população. A avaliação direta do experimento, com levantamento de plantas no campo, demonstrou que as opções de diferentes mecanismos de abertura do sulco foram significativas, mas o método não permite dissociar o quanto destes efeitos está associado às deficiências dos dosadores de sementes.

Mello et al. (2007) comprovaram efeito significativo da velocidade na redução da produtividade de um híbrido simples. Os autores também verificaram que os espaçamentos aceitáveis, com uma variação de 5,4 a 6,8 e 9,8 km h<sup>-1</sup> reduziram-se significativamente na maior velocidade, apresentando valores de 77,00 para 75,00 e 57,00%, utilizando dosadores pneumáticos.

Mahl et al. (2008) confirmaram os efeitos esperados da velocidade na distribuição do milho, entretanto sendo diferenciados para dosadores de discos alveolados e pneumáticos. Os autores verificaram em suas pesquisas que o aumento na velocidade de trabalho de 4,40 para 8,00 e 9,80 km h<sup>-1</sup>, para ambos os dosadores, reduziu os espaçamentos aceitáveis de 75,37 para 59,21 e 57,52%, havendo efeito significativo para as duas maiores velocidades. Os dosadores pneumáticos obtiveram média de 70,33% de espaçamentos aceitáveis, em contraste

com 57,74% para dosador de discos alveolados, e 18,17% de falhos em relação a 30,25%. Mello et al. (2001), ao realizarem comparação semelhante, obtiveram 85,37 e 77,37% de aceitáveis para dosadores pneumáticos e de discos alveolados, respectivamente. A superioridade do dosador pneumático na dosagem do milho também pode ser encontrada em Silveira et al. (2005) e Melo et al. (2013). Já Tourino et al. (2009) comprovaram, na cultura do soja, superioridade de dosadores pneumáticos, pois proporcionaram maior regularidade na distribuição e maior produtividade.

Estima-se que as variações citadas no desempenho de dosadores de discos alveolados, estejam relacionadas com a seleção do espaço livre entre as sementes e os alvéolos, corroborando as afirmativas declaradas por Reis e Alonço (2001). Segundo Jasper et al. (2009) o mercado disponibiliza aproximadamente 180 opções de discos para dosadores de discos alveolados, com alvéolos dos formatos redondo e oblongo. Mialhe (2012) descreve que o formato redondo é menos eficiente, devido às sementes apresentarem raramente o formato esférico, somando que, quanto mais se afastam desse formato, mais reduzida será a exatidão da distribuição e aumentará a danificação das mesmas. Já os alvéolos oblongos, adiciona, foram desenvolvidos posteriormente, para reduzir os efeitos citados para sementes que diferenciam-se do formato arredondado.

Peche Filho et al. (2009), cujos dados são correspondentes aos apresentados por Peche Filho et al. (2012), ao testar os ajustes entre 3 dimensões de sementes de um híbrido e 4 discos alveolados, identificaram um comportamento médio para o coeficiente de variação de 54,98%, ligeiramente acima do limite recomendado por Coelho (1996). Entretanto o efeito das combinações entre sementes e discos, pode ser comprovado pelo valor mínimo do coeficiente de variação ter sido de 36,80 e o máximo de 74,60, isso considerando que o processo de semeadura simulado em bancada para todos os casos, manteve uma velocidade de  $5 \text{ km h}^{-1}$  e densidade de 6 sementes  $\text{m}^{-1}$ . Esses dados comprovam os efeitos da seleção inadequada de discos alveolados, sendo possível verificar erros expressivos na dosagem. Na melhor condição, a operação apresentou acurácia 0,40%. Entretanto, o maior erro no sentido negativo atingiu acurácia 37,58%, enquanto que no sentido positivo, foram dosadas até 93,80% mais sementes. Para a acurácia média, 23,53%, ocorreria um acréscimo desnecessário de 9.473,40, para a população meta de 75.000 sementes  $\text{ha}^{-1}$ . Os autores justificam ainda, que a seleção dos discos poderá



comprometer a produtividade, pela distribuição irregular ou pela falta de estande de plantas, quando ocorre acurácia negativa; ou aumento do custo de sementes, acamamento de plantas na lavoura e dificuldades na colheita, por espigas pequenas e mais elevadas, quando ocorrem acréscimos expressivos na densidade de semeadura. Quanto aos aceitáveis, nas condições testadas apresentaram média 69,50%, enquanto o tratamento com menor valor apresentou 47,80% e o com o maior valor de aceitáveis 85,80%.

Existem poucos dados de avaliações com semeadoras de precisão à TV para embasar a predominância de desempenho entre os dosadores. Hörbe et al. (2013), não definiu qual dosador foi utilizado, mas, para velocidade de trabalho de  $5 \text{ km h}^{-1}$ , obteve espaçamentos aceitáveis na ordem de 94,14 a 89,16%, com o aumento da população, em cinco níveis testados, de 50 para 90.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

Os dados de distribuição de sementes tem ainda outra aplicação importante, que é na modelagem, para uso ou avaliação de sistemas de controle, tendo exemplos do procedimento com dosadores de fertilizantes. Garcia et al. (2006) desenvolveu a modelagem de um dosador helicoidal, posteriormente implantado em um sistema à TV (GARCIA, 2007). Como o modelo visava prever a vazão global do dosador, não considerou o efeito de golfeamento natural do helicóide, sendo realizadas coletas cumulativas de fertilizante. Posteriormente, no trabalho desenvolvido por Garcia et al. (2012), os autores modelaram este efeito, sendo capaz de prever, além da dosagem cumulativa, as oscilações entre picos e vales de dosagem dos dosadores helicoidais. Considerando-se a complexidade desses modelos, considera-se que essa área está mais aprofundada nos dosadores de fertilizantes do que no de sementes.

Entretanto, embora não voltados especificamente para a modelagem, alguns experimentos ajustaram curvas cujas equações, que se assemelham aos modelos, para porcentagens de espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos. Dias et al. (2009) utilizaram as curvas ajustadas para descrever o comportamento das variáveis, pelos dados das quais pode-se verificar que ocorreu correlação efetiva entre as densidades, variáveis independentes, e porcentagens de cada variável. Isso pode ser verificado pelos coeficientes de determinação de 81,00 até 98,00%, para as curvas que representam as porcentagens de espaçamentos aceitáveis, falhos e múltiplos.



## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Local**

Os experimentos para avaliação do protótipo da semeadora à TV, nos regimes estacionário e transitório de acionamento, foram realizados no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

### **2.2. Material**

#### **2.2.1. Híbrido utilizado nas avaliações**

A espécie utilizada nesta tese foi o milho, sementes comerciais da marca Pioneer<sup>7</sup>, do híbrido 30F53H<sup>7</sup>. Sete classificações, de diferentes peneiras do processo de beneficiamento, foram submetidas a um experimento preliminar para identificar qual seria capaz de proporcionar as melhores condições de ajuste entre alvéolo e sementes. O processo descrito no item 2.3.1.3., descreve o método utilizado para definir a classificação e o disco alveolado que foram selecionados.

#### **2.2.2. Bancada de avaliação de dosadores de sementes**

Este conjunto de equipamentos foi desenvolvido por Alonço et al. (2010) e Silveira et al. (2010), possuindo Bancada de Ensaio de Dosadores (BEDOSA), Bancada Geradora de Vácuo (BAR) e Esteira de Avaliação.

---

<sup>7</sup>A citação de marcas, modelos comerciais de máquinas e espécimes vegetais, não implica recomendação e/ou aprovação dos mesmos por parte do autor.

A BEDOSA é composta por um suporte, que permite a fixação de diversos dosadores, bem como a regulagem das suas posições em relação ao tubo. As aferições das posições em que são depositadas as sementes são realizadas sobre uma esteira forrada em tecido adesivo, em formato de "V". O ponto de queda das sementes possui um estreitamento simulando as laterais do sulco. Os acionamentos da esteira e do dosador são realizados por meio de motores elétricos, controlados por inversores de frequência, para a simulação das várias velocidades de trabalho e rotações. Para a esteira, utilizou-se inversor da marca Weg<sup>6</sup>, modelo CFW-10<sup>6</sup>, enquanto que a dosagem foi controlada pelo equipamento da marca Weg<sup>6</sup>, modelo CFW-08<sup>6</sup>. Uma vista da BEDOSA encontra-se disposta na figura 7.

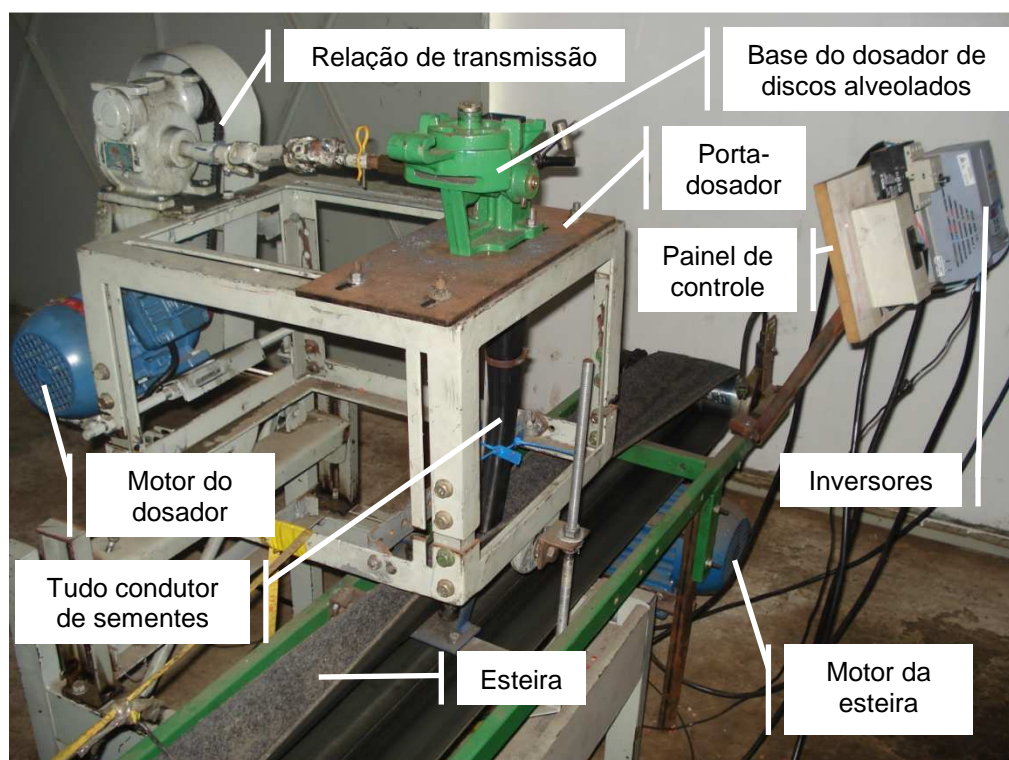


Figura 7 – Bancada de ensaios de dosadores e esteira de avaliação de espaçamentos entre sementes

Para este trabalho, foram desenvolvidos complementos necessários, sendo uma adaptação do dosador pneumático, para ajuste sobre a base porta-dosador, e um suporte regulável para o tubo condutor de sementes. O suporte permitiu a

regulagem dos ângulos e da altura do tubo, para que na bancada operasse com as mesmas medidas em relação ao fundo e às laterais do sulco, medidas no protótipo. O suporte também permitiu a regulagem do ângulo vertical, para corresponder ao valor de  $1,55^\circ$  no sentido posterior da máquina.

### 2.2.3. Dosador de sementes de discos alveolados

O dosador de discos alveolados individualiza as sementes em alvéolos, de um disco que opera na posição horizontal. Seu princípio funcional consiste no preenchimento dos alvéolos na parte exposta do disco, no fundo do reservatório; seguido da retirada do excesso e expulsão das sementes pelos ejetores, sendo então dispensadas no tubo condutor. O disco alveolado possui 170 mm de diâmetro, medido na circunferência formada pelos 28 alvéolos de formato arredondado, com 12 mm de diâmetro. O anel de deslizamento utilizado foi do tipo sulcado, com 4 mm de espessura, de material plástico. O conjunto ejetor possui raspador duplo e elemento ejetor do tipo roseta. Uma vista do mecanismo foi disposta na figura 8.

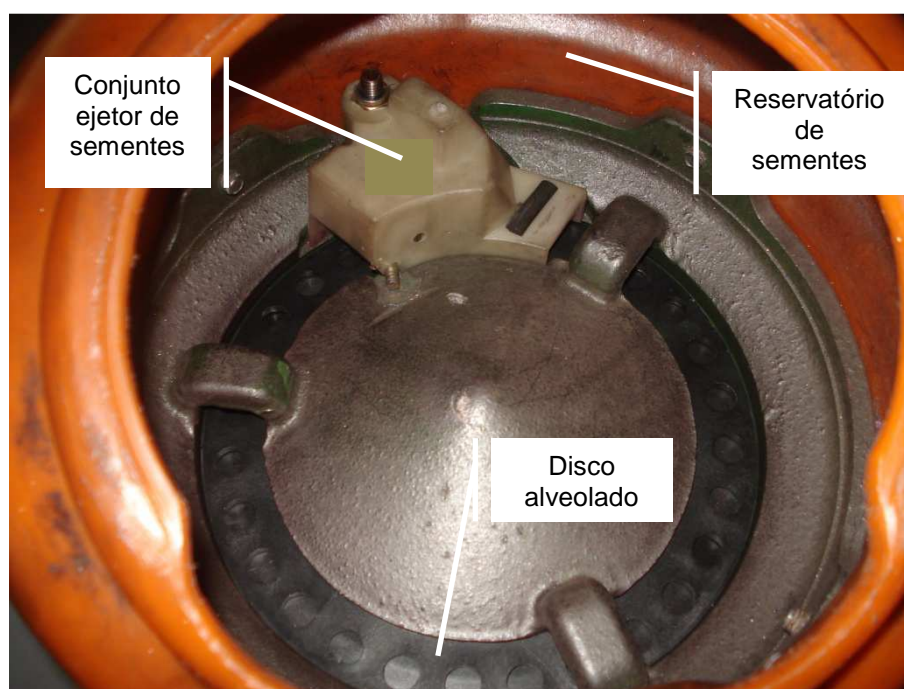


Figura 8 – Vista do reservatório e componentes do dosador de discos alveolados

#### 2.2.4. Dosador de sementes pneumático

O dosador pneumático utiliza disco específico para a semeadura de milho, opera na posição vertical, sendo seu princípio de individualização da semente por apreensão das mesmas contra um pequeno orifício, com auxílio de pressão de ar negativa; que com o movimento do disco são dispensadas no tubo condutor. O disco possui 139 mm de diâmetro, medido na circunferência formada por 27 orifícios. O nível de vácuo utilizado foi de 45 mbar, de acordo com especificação do fabricante, sendo gerado pela BAR durante as avaliações. O dosador pneumático utilizado neste trabalho foi demonstrado na figura 9.

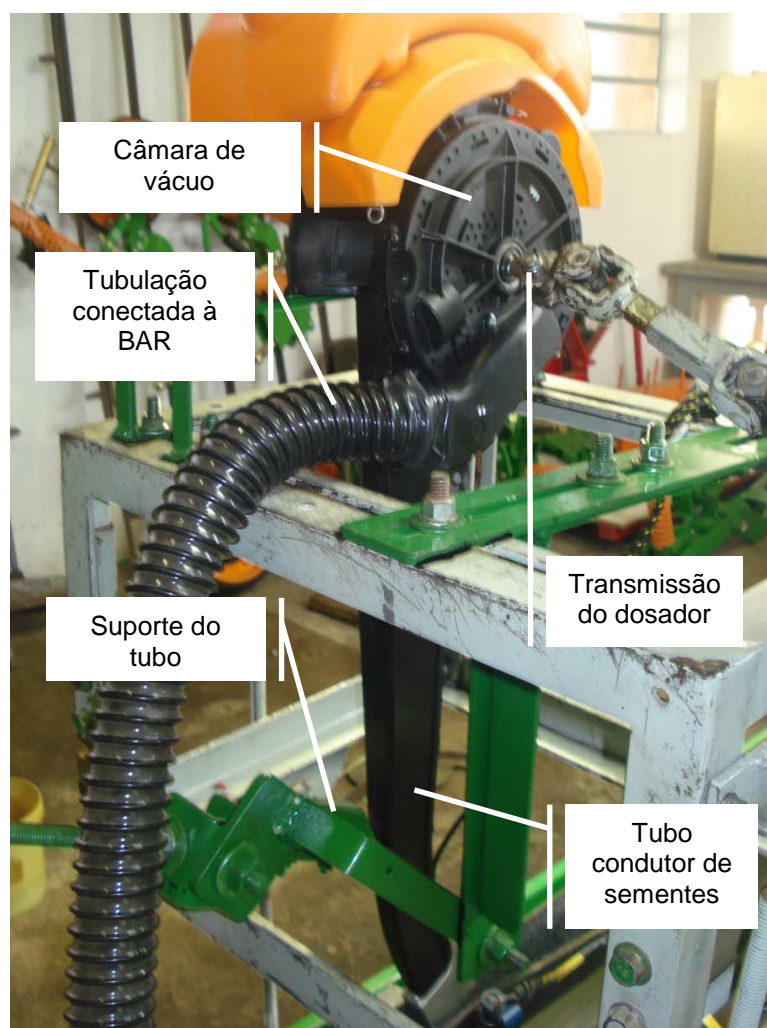


Figura 9 – Vista lateral do dosador pneumático e do tubo condutor na BEDOSA



### 2.2.5. Sistema para simulação da navegação

Um programa computacional foi utilizado para simular sinais de posição para o sistema de controle, idênticas às leituras recebidas pela antena receptora no campo. O sistema opera em um computador pessoal, cuja comunicação com o controlador ocorre por protocolo NMEA, sendo semelhante ao sistema desenvolvido por Paz et al. (1997). O *software* calcula posições fictícias subsequentes, simulando trajetos sobre os mapas de prescrição na interface do controlador, de acordo com comandos direcionais e velocidades, acionados pelo operador com auxílio de um controle do tipo *joystick*, simulando ainda o piloto automático. A comunicação ocorre pela porta do receptor externo de DGPS (*Differential Global Positioning System*).

Uma vista do sistema para simulação da navegação, instalado na cabine do trator agrícola utilizado nos experimentos, foi disposta na figura 10. Os mapas utilizados foram demonstrados na figura 11, o qual atendeu aos experimentos em regime estacionário, enquanto que o da figura 12, àqueles do regime transitório.

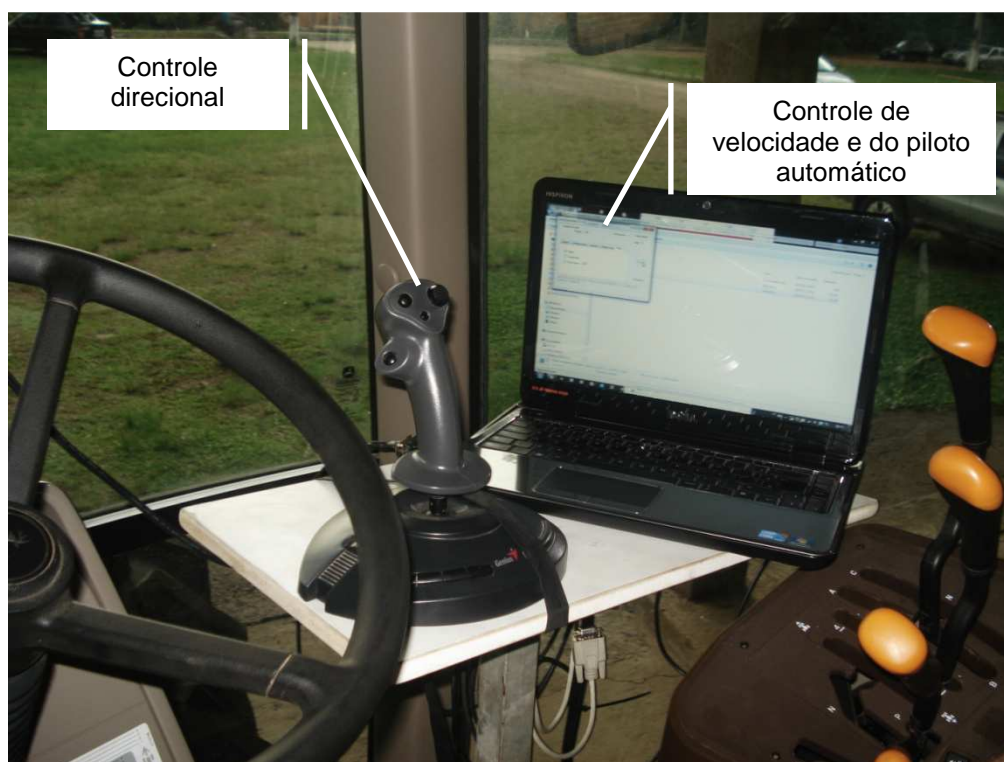


Figura 10 – Sistema para simulação da navegação na cabine do trator agrícola

## MAPA DE PRESCRIÇÃO DE MILHO – AVALIAÇÃO DO REGIME ESTACIONÁRIO

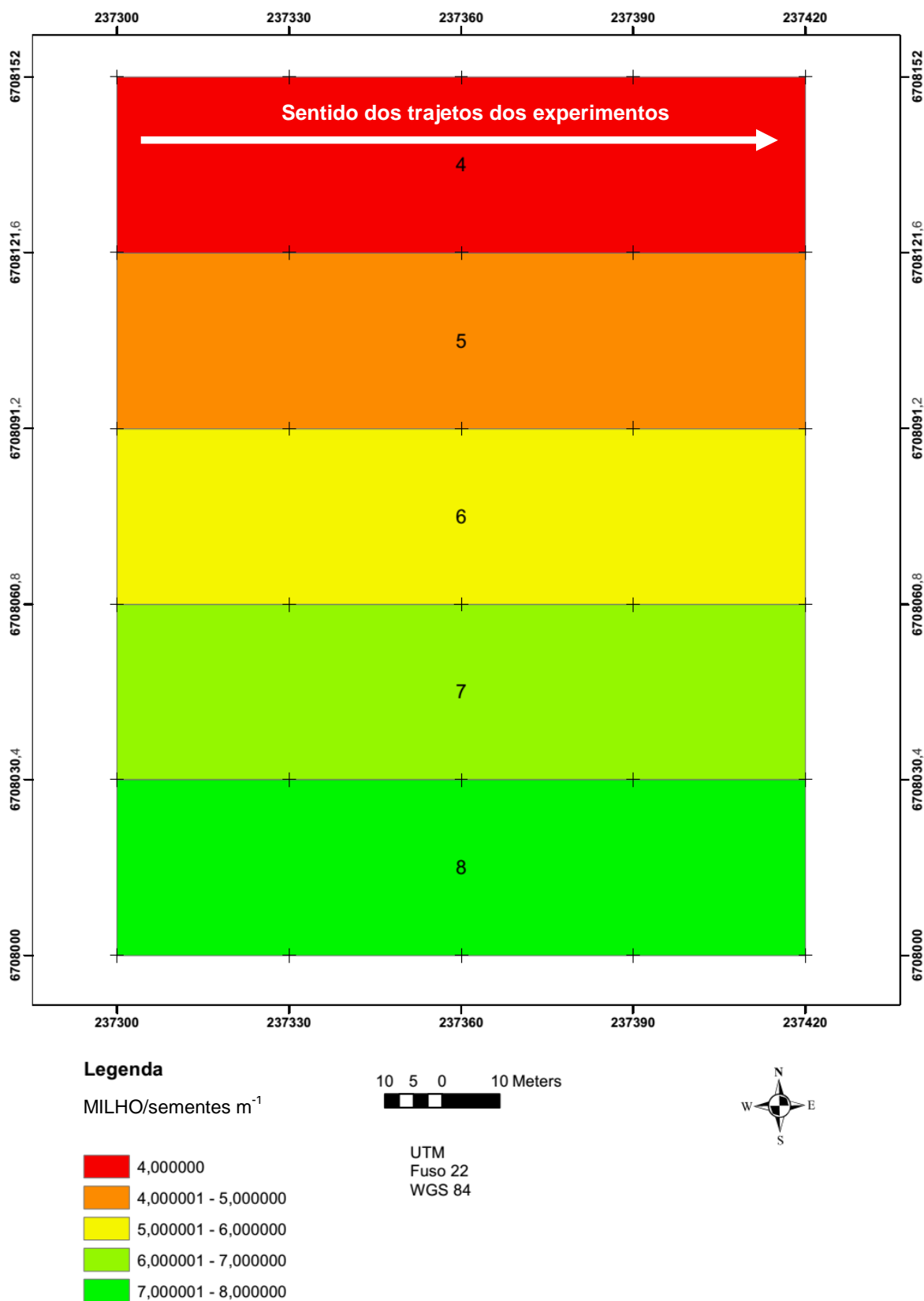


Figura 11 – Mapa de prescrição para avaliações em regime estacionário com zonas de densidades 4, 5, 6, 7 e 8 sementes  $m^{-1}$



## MAPA DE PRESCRIÇÃO DE MILHO – AVALIAÇÃO DO REGIME TRANSITÓRIO

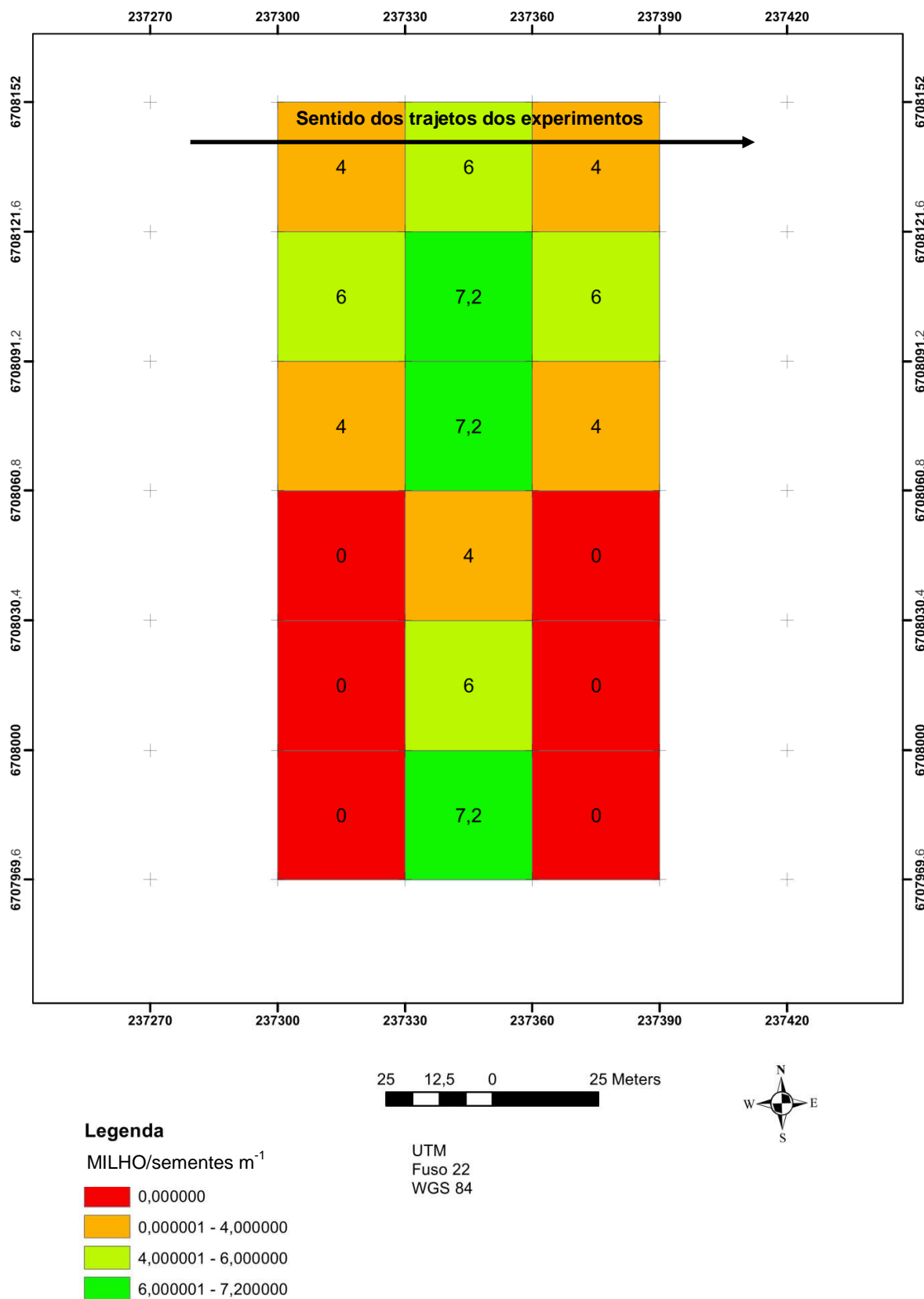


Figura 12 – Mapa de prescrição do regime transitório com zonas para transições 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>

### 2.2.6. Trator agrícola de rodas

Um trator agrícola de rodas, do tipo 4x2 com tração dianteira auxiliar, da marca John Deere<sup>7</sup>, modelo 6110J<sup>7</sup>, foi utilizado para acionamento da bomba, responsável pela pressurização do sistema hidráulico do protótipo. A rotação da tomada de potência (TDP) foi de 540 rpm. A bateria do sistema elétrico do trator forneceu energia para o sistema de controle, bem como para o ventilador do trocador de calor do sistema hidráulico do protótipo.

### 2.2.7. Protótipo da semeadora à Taxa Variável

O protótipo, disposto na figura 13, caracteriza-se pela semelhança do chassi, linhas e ferramentas de contato com o solo, com as semeadoras do mercado brasileiro, sendo este também o de sua origem. Um sistema de controle eletrônico, que opera em malha aberta ou fechada, gerencia sinais de comando para válvulas proporcionais. As válvulas gerenciam a vazão de um sistema hidráulico independente da máquina, conectadas a dois motores hidráulicos, para acionamento das relações de transmissão dos dosadores de sementes e fertilizantes.

O equipamento possui duas linhas, compostas por disco de corte e facão para incorporação de fertilizante, disco duplo para abertura do sulco e deposição das sementes e rodas compactadoras. Quanto à dosagem de sementes, originalmente o protótipo possuía dosador pneumático, sendo adaptado o de discos alveolados, que foi montado na mesma posição e relação de transmissão em que é utilizado em outras semeadoras à TV do mesmo fabricante e estrutura da linha semelhante. Os dosadores de fertilizantes são do tipo helicoidal, com transbordo.

O sistema de controle é composto de antena receptora de sinal DGPS, unidade de controle central com terminal para interface, subsistema de controle da máquina, reservatório de óleo hidráulico, bomba, válvulas e motores hidráulicos. A interface é utilizada para a configuração dos parâmetros operacionais necessários ao algoritmo do sistema de controle, tais como dimensões do equipamento, parâmetros da cultura e identificação da parcela de trabalho, além de gravar dos

dados da operação. A interface também permite executar a calibração do protótipo, que envolve testes programados pela máquina e contagens de sementes dosadas. A transmissão dos mapas ocorre por conexão do tipo USB, na interface.

O protótipo permite ainda a troca de uma relação de transmissão, formada por um par de engrenagens, sendo utilizadas aquelas recomendadas pelo fabricante, que são diferenciadas para cada dosador. O protótipo operou com relação de transmissão entre o eixo do motor hidráulico e os discos, correspondente a 0,06 para o dosador pneumático e a 0,04 para o dosador de discos alveolados.



Figura 13 – Protótipo da semeadora à Taxa Variável

### 2.2.8. Sistema eletrônico de aquisição de dados

O sistema desenvolvido para aferir e armazenar valores de rotação durante as avaliações, utilizou um equipamento *data-logger*, marca Campbell Scientific<sup>7</sup>, modelo CR1000<sup>7</sup> (Figura 14); no qual foi conectado um sensor do tipo encoder incremental, marca Hohner<sup>7</sup>, modelo Série 58<sup>7</sup> (Figura 15). A taxa de aquisição utilizada com o sistema foi de 10 Hz.



Figura 14 – Data-logger



Figura 15 – Encoder óptico utilizado nas avaliações indiretas

### 2.3. Métodos

Para facilitar o entendimento acerca dos métodos utilizados, na tabela 1 foram descritos os experimentos de avaliação do protótipo quanto aos regimes, variáveis, dosadores utilizados, tipo de avaliação, experimentos preliminares aplicados, dentre outras características. As principais diferenças consistem nos regimes, sendo avaliadas neste trabalho ambas as etapas, para que o desempenho do equipamento pudesse ser estudado tanto em dosagens constantes quanto nas transições.

Tabela 1 – Caracterização dos métodos dos experimentos de avaliação do protótipo

Descrição	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
Regime	Estacionário	Estacionário	Transitório	Transitório
Fenômeno	Dose constante	Dose constante	Trocas de dose	Trocas de dose
Variáveis	Acurácia e DLS	Acurácia e DLS	Tempos de resposta	Acurácia e DLS
Dosador	Pneumático	Discos alveolados	Pneumático	Pneumático
Avaliação	Direta	Indireta	Indireta	Indireta
Equipamento	Esteira	Sensor	Sensor	Sensor
Exp. preliminar	SS	SS, RR e MOD	SS, RR	SS, RR e MOD

Nota: DLS: Distribuição longitudinal de sementes. SS: Experimento preliminar de seleção das sementes. RR: Experimento preliminar de aferição das rotações de referência. MOD: Modelagem da densidade de semeadura, aceitáveis e múltiplos, em função da rotação dos dosadores.

O segundo mais importante aspecto que diferencia os experimentos de avaliação do protótipo é o tipo de avaliação, sendo no primeiro experimento adotada a avaliação direta, com aferição dos espaçamentos em esteira. Nos demais, evitando a morosidade do processo em que a posição de cada semente é registrada, a avaliação indireta foi utilizada; consistindo no monitoramento da rotação do dosador pelo sistema eletrônico de aquisição de dados descrito no item 2.2.8., ao longo das parcelas dos mapas de prescrição.

A avaliação indireta foi adotada tanto no regime estacionário quanto transitório, para ambos exigindo a preparação de modelos das variáveis da distribuição longitudinal de sementes, a partir da rotação. Além dos modelos, as

avaliações indiretas estimaram a acurácia, pela diferença entre as rotações experimentais e rotações de referência; e os tempos de resposta, pela evolução da rotação ao longo do tempo de aferição dos dados de cada unidade experimental, comparada com as rotações de referência.

As atividades experimentais que precederam as avaliações do protótipo, excetuando-se a calibração, foram denominadas de experimentos preliminares, estando incluídas as rotações de referência e a modelagem dos dosadores. Para a escolha de uma classificação de sementes adequada, que pudesse reduzir os efeitos negativos do indevido espaço livre entre sementes e alvéolos, foi incluído ainda o respectivo experimento preliminar nesse grupo.

A apresentação dos métodos, visando detalhar mais especificamente os procedimentos, segue com a descrição da preparação do protótipo e dos experimentos preliminares; nessa ordem iniciando com a calibração, seguida rotações de referência, seleção das sementes e modelagem dos dosadores. Em seguida foram detalhados os experimentos de avaliação da semeadora à TV.

### 2.3.1. Preparação do protótipo e experimentos preliminares

#### 2.3.1.1. Calibrações do protótipo

A preparação do protótipo consistiu na execução das calibrações da dosagem de sementes, bem como de fertilizantes. As calibrações diferenciaram-se quanto ao dosador utilizado, bem como em suas classificações padrão e otimizada. A calibração define uma proporção quantitativa de acionamento dos dosadores, sendo realizada de acordo com os procedimentos estabelecidos pelo fabricante no manual do proprietário, método que acorda com Serrano et al. (2007). Nesse procedimento, foram aferidas as quantidades de sementes dosadas em testes, que são acionados autonomamente pelo controlador, a partir das configurações inseridas pelo usuário. Esses testes visam contabilizar uma quantidade planejada de sementes, e, quando esse valor não é atingido, o sistema insere um valor de correção, que aumenta ou diminui a proporção de acionamento para um mesmo sinal de comando.

No procedimento com o protótipo, foram configurados os dados da máquina, dosador e relação de transmissão, para os quais o sistema calcula um valor inicial de calibração para os testes. Após a contagem de sementes e inserção do valor verificado na interface, automaticamente é gerado novo valor de correção, repetindo-se o teste.

O procedimento relatado por Serrano et al. (2007), utilizou 3 etapas no teste de calibração, devido aos autores informarem que neste ponto o sistema estabilizava a correção, sendo o valor aferido semelhante à meta configurada. Entretanto, devido à verificação de flutuações no valor a cada teste com o protótipo, foram estabelecidas cinco etapas para o procedimento.

As calibrações foram denominadas padrão, que simulam a operação da máquina com um mesmo valor de correção para todas as velocidades testadas (4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>); e otimizada, onde cada uma das velocidades recebe uma calibração específica. A configuração da rotina de ambas as calibrações do controlador, utilizou coleta de 300 sementes, simulando operação em uma zona de 6 sementes m<sup>-1</sup>. Quanto à velocidade inserida para o teste, para a calibração padrão foi de 5 km h<sup>-1</sup>, e para as calibrações otimizadas, foram configuradas na interface do controlador as velocidades 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>, correspondentes aos tratamentos dos experimentos.

As calibrações utilizadas com o dosador pneumático, tanto no experimento do regime estacionário com avaliação direta, bem como nos experimentos em regime transitório com avaliação indireta, encontram-se descritas na tabela 2.

Tabela 2 – Calibrações do protótipo para operação com o dosador pneumático

Calibrações	Velocidades (km h <sup>-1</sup> )	Proporção (%)
Padrão	4, 6, 8 e 10	96,05
Otimizada 4	4	97,04
Otimizada 6	6	100,00
Otimizada 8	8	100,99
Otimizada 10	10	98,03

Nota: Valores estimados para a configuração da operação durante os experimentos, segundo os métodos dos experimentos na etapa de preparação do controlador (itens 2.3.2.1., 2.3.3.1. e 2.3.3.2.). As proporções descrevem as correções dos sinais de comando indicadas pela rotina do controlador.

A calibração do protótipo com dosador de discos alveolados, não exigiu a execução de calibrações otimizadas, somente da calibração padrão. A sua preparação utilizou coleta de 300 sementes e velocidade  $5 \text{ km h}^{-1}$ , além das mesmas cinco etapas de contagem de sementes. O teste com dosador de discos alveolados, resultou em valor de correção 94,99%.

Em todos os experimentos, o sistema de controle utilizou a mesma calibração para a dosagem de fertilizantes, também pelo método descrito no manual do proprietário, em dose  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  do fertilizante tipo mistura de grânulos.

### 2.3.1.2. Aferição das rotações de referência

As rotações de referência são as que promovem o acionamento dos dosadores de forma que sejam atendidas cada uma das densidades, nas velocidades dos experimentos de avaliação do protótipo; servindo de referência para a comparação com as rotações aferidas nas avaliações indiretas. Com a BEDOSA e a esteira, foram contabilizadas as sementes a partir de diferentes frequências de acionamento, sendo estas alteradas até que fossem obtidas as densidades pretendidas, em cada uma das velocidades. Após isso, as frequências foram convertidas para valores de rotações de referência. As equações 1 e 2, foram utilizadas para a conversão frequência para rotação dos dosadores pneumático e de discos alveolados, respectivamente.

$$y = 0,6068 + 0,0596x \quad (1)$$

Onde:

y – rotação do dosador pneumático (rpm);

x – frequência configurada no inversor dos dosadores da BEDOSA.

$$y = 0,4501 + 0,0353x \quad (2)$$



Onde:

y – rotação do dosador de discos alveolados (rpm);

x – frequência configurada no inversor dos dosadores da BEDOSA.

As equações 1 e 2 foram desenvolvidas com auxílio do sistema de aquisição de dados, descrito no item 2.2.8., visando elevar a exatidão da conversão entre as frequências configuradas no inversor dos dosadores e suas respectivas rotações, em relação aos métodos anteriores utilizados na BEDOSA, como por exemplo no experimento realizado por Machado et al. (2012).

Para desenvolver as equações, o sensor foi instalado na transmissão da BEDOSA, aplicando diferentes frequências. Os dados foram submetidos à análise de regressão linear. Os dosadores exigiram alterações na relação de transmissão da BEDOSA, pois, apesar do número de alvéolos semelhantes, a taxa de acionamento do dosador de discos alveolados possui uma redução de um par de engrenagens do tipo coroa e pinhão. A equação 1 utilizou 400 repetições de leituras do sensor, para 10 frequências do inversor do dosador pneumático, obtendo coeficiente de determinação de 99,98%; enquanto que a equação 2, utilizou 400 leituras de 6 frequências dos discos alveolados, obtendo coeficiente de 99,99%.

As rotações de referência para o dosador de discos alveolados, encontram-se dispostas na tabela 3. As rotações de referência para o dosador pneumático, para aplicação no experimento de avaliação da distribuição longitudinal de sementes em regime transitório, encontram-se dispostas na tabela 4.

Tabela 3 – Rotações de referência para o dosador de discos alveolados

Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Densidade de semeadura (sementes m <sup>-1</sup> )				
	4	5	6	7	8
4	9,30	11,66	14,12	16,46	18,84
6	13,90	17,26	20,68	24,30	27,86
8	18,25	22,61	27,33	32,45	37,03
10	22,80	28,48	34,05	41,58	46,38

Nota: Valores utilizados para a comparação com as rotações experimentais, no processamento dos dados do experimento em regime estacionário e avaliação indireta (item 2.3.2.2.).

Tabela 4 – Rotações de referência para o dosador pneumático

Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Densidade de semeadura (sementes m <sup>-1</sup> )		
	4	6	7,2
4	9,99	14,45	17,59
6	14,11	21,29	25,82
8	18,84	28,39	34,35
10	23,53	35,35	42,66

Nota: Valores utilizados para a montagem dos gráficos da rotação em função do tempo, no processamento dos dados dos experimentos em regime transitório (itens 2.3.3.1. e 2.3.3.2.).

### 2.3.1.3. Seleção da classificação da semente

Este procedimento compreendeu o experimento preliminar que aferiu e comparou o desempenho de distribuições de sementes de diferentes classificações do híbrido, disponibilizadas pela empresa melhoradora, combinadas com diferentes discos. A análise dos resultados, visou isolar os efeitos deletérios dos ajustes inadequados entre sementes e alvéolos, identificados por Jasper et al. (2009) e Peche Filho et al. (2009 e 2012), selecionando a combinação com a menor interferência nos resultados, ou seja, melhor desempenho. A utilização do dosador de sementes de discos alveolados como mecanismo do teste, foi devido a proporcionar maior restrição ao desempenho, de acordo com Mahl et al. (2008), em relação ao pneumático.

A variável controle utilizada foi a porcentagem de aceitáveis, avaliada em uma amostra de 150 espaçamentos entre sementes, para cada uma das classificações do híbrido e opções de discos, especificados em tipo e dimensões de alvéolo. O teste prático recomendado por Delafosse (1986) foi utilizado para a verificação do ajustamento das classificações das sementes nos alvéolos dos diferentes discos, para estabelecer o conjunto de opções a serem testadas. Dentre as combinações das sete classificações e cinco discos disponíveis, quinze foram aprovadas. Os espaços livres foram, em alguns casos, maiores que o preconizado por Kepner (1982) apud Machado et al. (2005) e por Mialhe (2012). Os apêndices A e B representam o teste de ajuste prático e as combinações testadas.

O experimento preliminar de seleção das sementes foi organizado pelas quinze combinações entre sementes e discos, submetidas a quatro velocidades simuladas (4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>), não sendo utilizadas repetições.

Para cada velocidade de trabalho foi definida uma frequência correspondente de acionamento do dosador, calculada para dosar 6 sementes m<sup>-1</sup>, equivalente à taxa de semeadura de 80.000 sementes ha<sup>-1</sup>, distribuídas com um espaçamento entre linhas de 0,80 m.

As frequências foram determinadas pela aplicação da equação 3, a qual define a rotação operacional do dosador, para cada velocidade.

$$y = 60 \times (x \times z^{-1}) \times (w \times 3,6^{-1}) \times (10.000 \times t^{-1})^{-1} \quad (3)$$

Onde:

y – rotação do dosador (rpm);

x – população (plantas ha<sup>-1</sup>);

z – número de alvéolos do dosador;

w – velocidade (km h<sup>-1</sup>);

t – espaçamento considerado para a cultura (m).

A equação 4 converteu a rotação estimada em frequência, para o inversor do dosador. Esta equação foi obtida por dados de rotação aferidos com um tacômetro, em 10 níveis de frequência, com 10 repetições. A regressão linear resultou na equação, com coeficiente de determinação de 99,88%.

$$y = ((x \times 11) - 14,8746) \times 1,1749^{-1} \quad (4)$$

Onde:

y – frequência a ser configurada no inversor dos dosadores da BEDOSA;

x – rotação do dosador calculada (rpm).

As frequências do inversor da esteira foram definidas por tomadas de tempo, da passagem da mesma por uma distância conhecida, até que atingidas as velocidades, estando descritas junto às frequências do dosador na tabela 5.

Tabela 5 – Frequências dos inversores utilizadas na seleção das sementes

Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	FREQdos	ROT (rpm)	Vtg (m s <sup>-1</sup> )	FREQest
4	454,5	15,24	0,14	11,4
6	669,9	22,86	0,20	16,5
8	885,0	30,48	0,27	21,9
10	1100,0	38,10	0,34	26,9

Nota: Valores utilizados no experimento preliminar de seleção das sementes. FREQdos: Frequência do inversor do dosador. ROT: Rotação do dosador. Vtg: Velocidade tangencial do disco. FREQest: Frequência do inversor da esteira.

#### 2.3.1.4. Modelagem dos dosadores de sementes

A modelagem dos dosadores teve como objetivo desenvolver equações de regressão das variáveis dependentes densidade de semeadura, aceitáveis e múltiplos, a partir das variáveis independentes rotação média de acionamento dos dosadores. As equações ou modelos da densidade de semeadura diferenciaram-se para aplicações específicas de acordo com os parâmetros velocidades operacionais (4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>), enquanto os modelos de aceitáveis e múltiplos, além da velocidade, foram escalonados para as zonas do mapa (4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>). No processo de predição, a porcentagem de espaçamentos entre sementes falhos, equivaleu à diferença do porcentual total, subtraindo-se aceitáveis e múltiplos.

O procedimento utilizou a BEDOSA, em dois experimentos preliminares bifatoriais, da velocidade e rotação do dosador. O fator velocidade adotou os níveis dos experimentos, enquanto as rotações visaram valores elevados, para que o modelo recobrisse picos das respostas transitórias. Estes picos, também denominados *overshooting*, podem ser observados em Schumann et al. (2006b). Comparada aos referenciais, a velocidade tangencial do disco alveolado, extrapolou os valores 0,29 m s<sup>-1</sup> da FAO e 0,315 m s<sup>-1</sup> da ASAE (DELAFOSSE, 1986).

As unidades experimentais foram casualizadas com parcela subdividida, sendo avaliadas quatro repetições para ambos os experimentos. O método de aferição dos espaçamentos e obtenção das variáveis: densidade de semeadura e porcentagens de espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos, seguiu as recomendações de ABNT (1994) e Kachmann e Smith (1995).

Cada unidade experimental foi composta das medidas de 100 espaçamentos entre sementes, no experimento de modelagem do dosador de discos alveolados, e 150 espaçamentos, para o pneumático, estando de acordo com o tamanho médio da amostra preconizado por Dias (2012), para ensaios de dosadores de sementes.

Para os quatro níveis do fator velocidade foram utilizadas as frequências da tabela 6. O fator rotação teve seis níveis para o dosador de discos alveolados, enquanto dez níveis foram utilizados para o pneumático. A descrição dos níveis foi disposta nas tabelas 7 e 8 para os discos alveolados e pneumático.

Tabela 6 – Frequências do inversor da esteira utilizadas na modelagem

Tratamentos	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	FREQest
V1	4	11,4
V2	6	16,5
V3	8	21,7
V4	10	26,9

Nota: Valores utilizados para modelagem dos dosadores pneumático e de discos alveolados. FREQest: frequência do inversor da esteira.

Tabela 7 – Frequências do inversor do dosador de discos alveolados utilizadas na modelagem

Tratamentos	ROTda (rpm)	FREQda	Vtg (m s <sup>-1</sup> )
T1	6,10	160,2	0,05
T2	17,54	484,2	0,16
T3	28,98	808,2	0,26
T4	40,42	1132,2	0,36
T5	51,86	1456,2	0,46
T6	63,30	1780,2	0,56

Nota: Valores utilizados do acionamento no experimento preliminar de modelagem. ROTda: rotação do dosador. FREQda: frequências do inversor do dosador. Vtg: Velocidades tangenciais do disco.

Tabela 8 – Frequências do inversor do dosador pneumático utilizadas na modelagem

Tratamentos	ROTpn (rpm)	FREQpn	Vtg (m s <sup>-1</sup> )
T1	4,18	60,00	0,03
T2	10,15	160,20	0,08
T3	16,12	260,40	0,12
T4	22,09	360,60	0,16
T5	28,06	460,80	0,21
T6	34,03	561,00	0,25
T7	40,00	661,20	0,30
T8	45,97	761,40	0,34
T9	51,94	861,60	0,38
T10	57,91	961,80	0,43

Nota: Valores utilizados do acionamento do dosador no experimento preliminar de modelagem. ROTpn: rotação do dosador. FREQpn: frequências do inversor do dosador. Vtg: velocidades tangenciais do disco.

Os modelos foram estruturados de acordo com a equação 5. Para o teste de significância e ajuste dos parâmetros das equações, foi utilizado o *software* Assisat 7.6 beta, pelo método de regressão polinomial. A significância dos parâmetros identificados pelas letras a, b, c, d, e ou f, foi de até quinto nível. O aplicativo também estimou os coeficientes de determinação dos modelos.

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 \quad (5)$$

Em que,

y – variáveis preditas densidade de semeadura, aceitáveis ou múltiplos.

x – rotação de acionamento do dosador (rpm).

Os modelos receberam codificação segundo a tabela 9, para o dosador de discos alveolados, e na tabela 10, para o dosador pneumático. Na aplicação dos modelos, nas avaliações indiretas cujos métodos estão descritos nos itens 2.3.2.2., 2.3.3.1. e 2.3.3.2., a rotação para a predição foi calculada pela média de cada unidade experimental, durante a etapa de processamento dos dados.

Tabela 9 – Codificação dos modelos de predição do dosador de discos alveolados

Modelo	Variável	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Zona (sementes m <sup>-1</sup> )	TS (mil sementes ha <sup>-1</sup> )
M1	DS	4, 6, 8 e 10	4, 5, 6, 7 e 8	50, 62,5, 75, 87,5 e 100
M2	DS	4, 6, 8 e 10	4, 5, 6, 7 e 8	50, 62,5, 75, 87,5 e 100
M3	DS	4, 6, 8 e 10	4, 5, 6, 7 e 8	50, 62,5, 75, 87,5 e 100
M4	DS	4, 6, 8 e 10	4, 5, 6, 7 e 8	50, 62,5, 75, 87,5 e 100
M5	A	4	4	50
M6	A	6	4	50
M7	A	8	4	50
M8	A	10	4	50
M9	A	4	5	62,5
M10	A	6	5	62,5
M11	A	8	5	62,5
M12	A	10	5	62,5
M13	A	4	6	75
M14	A	6	6	75
M15	A	8	6	75
M16	A	10	6	75
M17	A	4	7	87,5
M18	A	6	7	87,5
M19	A	8	7	87,5
M20	A	10	7	87,5
M21	A	4	8	100
M22	A	6	8	100
M23	A	8	8	100
M24	A	10	8	100
M25	M	4	4	50
M26	M	6	4	50
M27	M	8	4	50
M28	M	10	4	50
M29	M	4	5	62,5
M30	M	6	5	62,5
M31	M	8	5	62,5
M32	M	10	5	62,5
M33	M	4	6	75
M34	M	6	6	75
M35	M	8	6	75
M36	M	10	6	75
M37	M	4	7	87,5
M38	M	6	7	87,5
M39	M	8	7	87,5
M40	M	10	7	87,5
M41	M	4	8	100
M42	M	6	8	100
M43	M	8	8	100
M44	M	10	8	100

Nota: DS: Densidade de semeadura, A: Aceitáveis. M: Múltiplos. TS: Taxa de semeadura.

Tabela 10 – Codificação dos modelos de predição do dosador pneumático

Modelo	Variável	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Zona (sementes m <sup>-1</sup> )	TS (mil sementes ha <sup>-1</sup> )
M45	DS	4, 6, 8 e 10	4, 6 e 7,2	50, 75 e 87,5
M46	DS	4, 6, 8 e 10	4, 6 e 7,2	50, 75 e 87,5
M47	DS	4, 6, 8 e 10	4, 6 e 7,2	50, 75 e 87,5
M48	DS	4, 6, 8 e 10	4, 6 e 7,2	50, 75 e 87,5
M49	A	4	4	50
M50	A	6	4	50
M51	A	8	4	50
M52	A	10	4	50
M53	A	4	6	75
M54	A	6	6	75
M55	A	8	6	75
M56	A	10	6	75
M57	A	4	7	87,5
M58	A	6	7	87,5
M59	A	8	7	87,5
M60	A	10	7	87,5
M61	M	4	4	50
M62	M	6	4	50
M63	M	8	4	50
M64	M	10	4	50
M65	M	4	6	75
M66	M	6	6	75
M67	M	8	6	75
M68	M	10	6	75
M69	M	4	7	87,5
M70	M	6	7	87,5
M71	M	8	7	87,5
M72	M	10	7	87,5

Nota: DS: Densidade de sementeira, A: Aceitáveis. M: Múltiplos. TS: Taxa de sementeira.

### 2.3.2. Experimentos de avaliação do protótipo em regime estacionário

#### 2.3.2.1. Avaliação direta da acurácia e da distribuição longitudinal de sementes

Este experimento foi realizado segundo as metodologias para avaliação da regularidade da distribuição longitudinal de sementes, preconizada pelas normas da ABNT (1994) e da ASABE (2004), e pelas recomendações encontradas em Kachmann e Smith (1995). Aspectos relevantes recomendados para distribuidores de insumos, do trabalho de Shearer et al. (2002), bem como nos procedimentos de Schumann et al. (2006a), foram considerados.



A coleta de dados correspondeu à aferição de espaçamentos entre sementes em laboratório, com uso da esteira de avaliação, com o protótipo equipado com dosador pneumático, operando pelo mapa para o regime estacionário, nas mesmas frequências da esteira utilizadas na modelagem (Tabela 6 do item 2.3.1.4.). O protótipo foi preparado pela retirada dos discos duplos para abertura do sulco, após posicionando-se o tubo, que permaneceu em sua posição original de trabalho, sobre a esteira. A posição ocupada pela linha representou as mesmas dimensões em que tubo dispensa as sementes em relação ao fundo do sulco, comparado à esteira. O trator agrícola acionou a bomba do sistema hidráulico e forneceu potência elétrica para o controlador e sistema de arrefecimento do óleo hidráulico.

O desempenho da semeadora à TV foi avaliado por avaliação direta, pois os procedimentos permitiram que a operação fosse correspondente ao campo, sendo então aferidos os espaçamentos entre sementes e obtidas as variáveis controle de acordo com as normas.

Para testar as hipóteses de efeitos das calibrações quantitativas do protótipo, das velocidades de deslocamento e densidades de semeadura, foram organizados os tratamentos no delineamento inteiramente casualizado, em parcelas sub-subdivididas, em um esquema fatorial 2 x 4 x 5, com 4 repetições. Cada unidade experimental (UE) foi composta por 150 espaçamentos entre sementes, sendo um tamanho de amostra superior às recomendações de Dias (2012), que o definem para avaliações da dosagem de milho, em 68 a 143 espaçamentos. Uma descrição do método encontra-se disposta na figura 16.

A avaliação utilizou o mapa do regime estacionário, em formato *shapefile*<sup>8</sup>, descrito na figura 11 do item 2.2.5., que possui unidades experimentais de 120 m de comprimento e 30 m de largura. As linhas de trajeto das extremidades das parcelas foram reservadas como bordaduras nos limites de cada zona, que isolaram os trajetos dos diferentes tratamentos, com 3,20 m de largura, equivalente a duas passadas da semeadora.

A marcação das linhas de trajeto foi realizada conforme manual do fabricante. Bordaduras de 10 m ao final das parcelas foram utilizadas, e a coleta de dados, iniciou após um período de estabilização de no mínimo 15 s, segundo ABNT (1994).

---

<sup>8</sup>Formato de arquivo que armazena dados geográficos de formato vetorial, vinculados a um banco de dados com extensão .dbf e a um arquivo .sch de índices, relacionando as localizações e prescrições.

A acurácia ( $ACU_{média}$  - %) foi calculada pelo o erro porcentual da densidade de semente experimental ( $DS_{experimental} - \text{sementes } m^{-1}$ ), avaliada na esteira, em relação à densidade de semente prescrita. Variáveis complementares acurácia mínima ( $ACU_{mín}$  - %) e acurácia máxima ( $ACU_{máx}$  - %), sendo os valores mínimos e máximos dentre as unidades experimentais de cada tratamento, e a amplitude, foram estimadas. O valor máximo tolerável para a acurácia foi de 3%, de acordo com Cerri (2001).

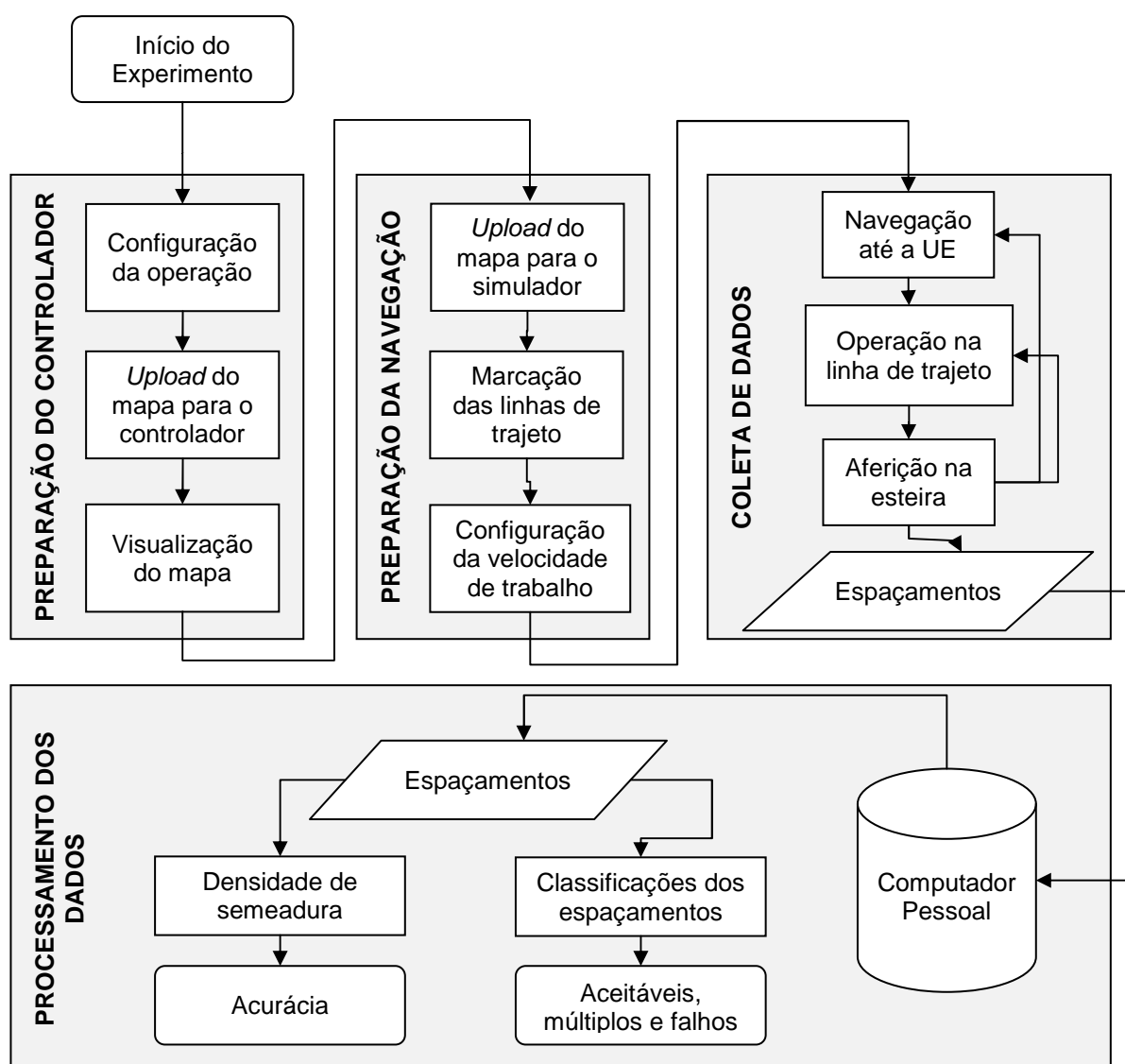


Figura 16 – Fluxograma do método da avaliação direta da acurácia e qualidade da distribuição de sementes em regime estacionário

Os níveis dos tratamentos, bem como suas codificações, estão descritos na tabela 11. As combinações entre os fatores e o conjunto de tratamentos do experimento foram dispostas na tabela 12.

Tabela 11 – Fatores, níveis e codificações da avaliação direta da acurácia e distribuição longitudinal de sementes em regime estacionário

Codificação	Descrição
Níveis do fator 1 = Calibração do acionamento do protótipo	
C1	Calibração padrão
C2	Calibração otimizada
Níveis do fator 2 = Velocidade de deslocamento	
V1	4 km h <sup>-1</sup>
V2	6 km h <sup>-1</sup>
V3	8 km h <sup>-1</sup>
V4	10 km h <sup>-1</sup>
Níveis do fator 3 = Densidade de semeadura	
D1	4 sementes m <sup>-1</sup>
D2	5 sementes m <sup>-1</sup>
D3	6 sementes m <sup>-1</sup>
D4	7 sementes m <sup>-1</sup>
D5	8 sementes m <sup>-1</sup>

Para a análise da acurácia, além dos valores calculados a partir das densidades aferidas, foram utilizados gráficos da correlação entre as dosagens prescrita e experimental, de acordo com o método de Schumann et al. (2006a). Dessa maneira, os gráficos demonstram a dispersão das dosagens experimentais para cada velocidade de trabalho, agrupando as densidades; possuem uma linear da dispersão e uma linha que representa os valores metas, denominada linha de referência 1:1. A inclinação da linear demonstra a tendência de possíveis distorções da dosagem, enquanto o coeficiente de determinação indica a qualidade do ajuste dos pontos, indicando se ocorre variabilidade excessiva degradando a operação.

Tabela 12 – Tratamentos da avaliação direta da acurácia e distribuição de sementes

Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )	Densidade de semeadura (sementes m <sup>-1</sup> )	Calibração	
		C1	C2
Combinação dos fatores (tratamentos)			
V1	D1	C1V1D1	C2V1D1
	D2	C1V1D2	C2V1D2
	D3	C1V1D3	C2V1D3
	D4	C1V1D4	C2V1D4
	D5	C1V1D5	C2V1D5
V2	D1	C1V2D1	C2V2D1
	D2	C1V2D2	C2V2D2
	D3	C1V2D3	C2V2D3
	D4	C1V2D4	C2V2D4
	D5	C1V2D5	C2V2D5
V3	D1	C1V3D1	C2V3D1
	D2	C1V3D2	C2V3D2
	D3	C1V3D3	C2V3D3
	D4	C1V3D4	C2V3D4
	D5	C1V3D5	C2V3D5
V4	D1	C1V4D1	C2V4D1
	D2	C1V4D2	C2V4D2
	D3	C1V4D3	C2V4D3
	D4	C1V4D4	C2V4D4
	D5	C1V4D5	C2V4D5

Para a avaliação da distribuição longitudinal de sementes foram obtidas as variáveis densidade de semeadura experimental (DS – sementes m<sup>-1</sup>) e erro absoluto (EA – sementes m<sup>-1</sup>), sendo o valor da densidade aferido subtraído do valor da zona do mapa. Variáveis complementares espaçamento médio entre sementes (ESP – cm), desvio padrão dos espaçamentos (dp ESP) e coeficiente de variação dos espaçamentos (CV - %), auxiliaram na discussão dos resultados. A análise qualitativa da distribuição teve embasamento nos percentuais de espaçamentos entre sementes aceitáveis (A), múltiplos (M) e falhos (F).

A dosagem de fertilizantes foi utilizada para representar a utilização normal do equipamento em sua operação no campo, de acordo com Shearer et al. (2002). A

dose de 350kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante mistura de grânulos, com formulação 5-20-20 (NPK), foi configurada em malha aberta no controlador, utilizando as duas linhas.

O abastecimento dos reservatórios de sementes e fertilizantes foi correspondente a 50% dos mesmos, de acordo com ASABE (2004), e foi reservado um tempo inicial de funcionamento do protótipo, de aproximadamente quinze minutos, para aquecimento do óleo hidráulico, conforme Schumann et al. (2006a).

As densidades de semeadura atendem ao preconizado por Cruz et al. (2011), aos valores testados por Hörbe et al. (2013), bem como aos utilizados por Bragachini et al. (2012) e Paszkiewicz e Butzen (2007), para a semeadura de híbridos do mercado atual, com cultivo em alta tecnologia e semeadura à TV.

#### 2.3.2.2. Avaliação indireta da acurácia e qualidade da distribuição de sementes

No método de avaliação indireta, a rotação do dosador de discos alveolados foi monitorada pelo sistema eletrônico de aquisição de dados descrito no item 2.2.8. O método indireto foi embasado em Shearer et al. (2002), que afirmam que as máquinas para TV, em geral, não possuem medida direta do fluxo de insumos.

Para testar os efeitos de velocidades de trabalho e densidades de semeadura, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 4 x 5, com 4 repetições. Cada unidade experimental foi composta de 200 leituras de rotação, aferidas a partir da acomodação, ou quando não identificada, do primeiro pico do regime transitório. O procedimento experimental apresenta-se descrito na figura 17.

O mapa de prescrição, as especificações das parcelas e bordaduras, a dose de fertilizante e o abastecimento dos reservatórios, obedeceram aos mesmos procedimentos do experimento por avaliação direta, descrito no item 2.3.2.1.

A acurácia foi obtida pelo erro porcentual da rotação experimental, comparativamente com a rotação de referência de cada tratamento. O erro absoluto correspondeu aos valores das densidades de semeadura previstas pelos modelos M1, M2, M3 e M4, subtraídos da densidade das zonas do mapa.

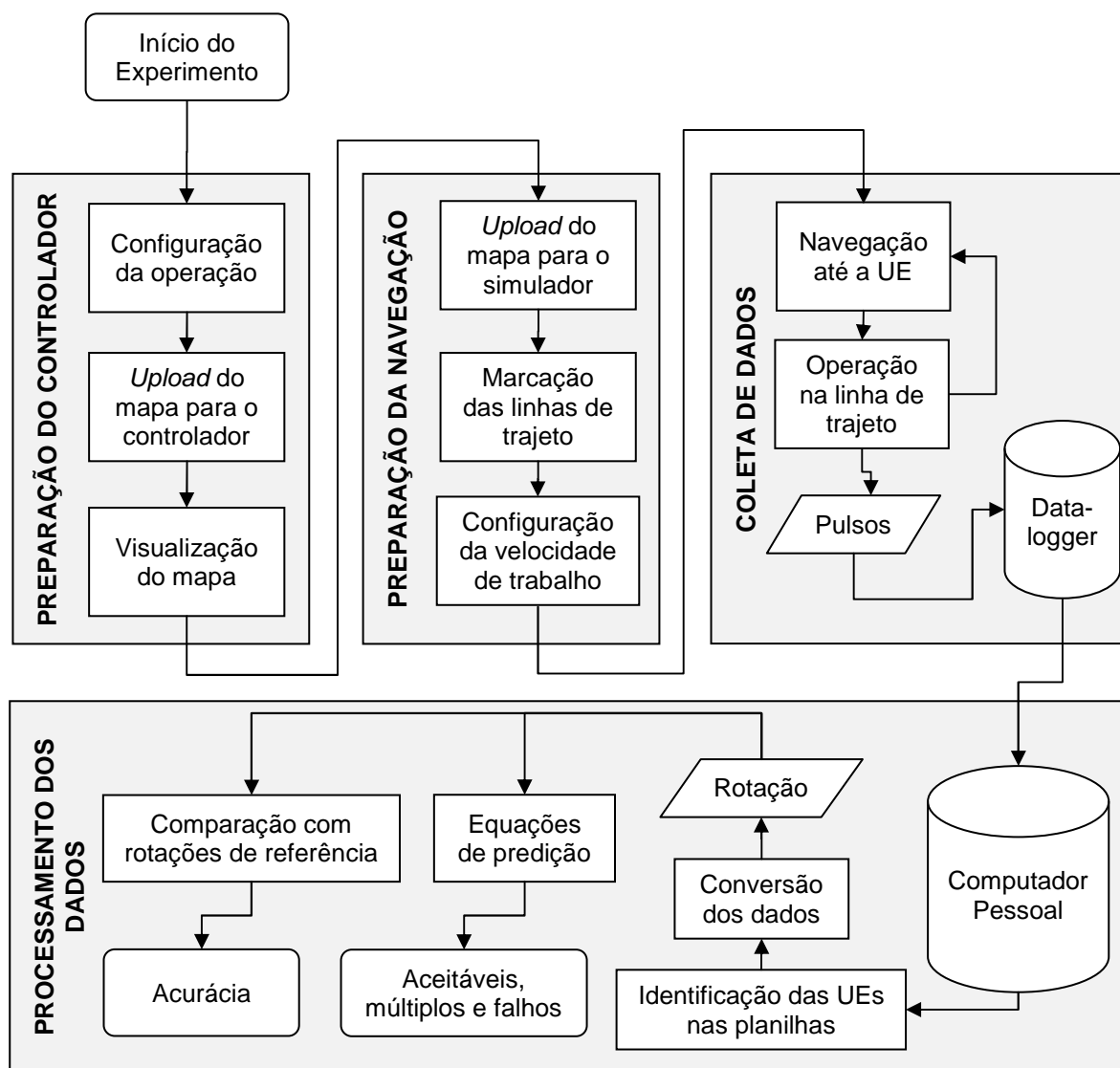


Figura 17 – Fluxograma do método da avaliação indireta da acurácia e distribuição de sementes em regime estacionário

A qualidade da distribuição longitudinal foi avaliada pelas porcentagens de espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos. Os aceitáveis foram preditos pelos modelos M5 a M24, e os múltiplos pelos modelos M25 a M44. Os falhos foram estimados pelo percentual total, subtraído dos valores atribuídos à porcentagem dos espaçamentos aceitáveis e dos múltiplos.

Os níveis dos fatores do experimento foram descritos na tabela 13, enquanto as combinações entre os níveis e a codificação dos tratamentos, na tabela 14.

Tabela 13 – Fatores, níveis e codificações da avaliação indireta da acurácia e distribuição longitudinal de sementes em regime estacionário

Codificação	Descrição
Níveis do fator 1 = Velocidade de deslocamento	
V1	4 km h <sup>-1</sup>
V2	6 km h <sup>-1</sup>
V3	8 km h <sup>-1</sup>
V4	10 km h <sup>-1</sup>
Níveis do fator 2 = Densidade de semeadura	
D1	4 sementes m <sup>-1</sup>
D2	5 sementes m <sup>-1</sup>
D3	6 sementes m <sup>-1</sup>
D4	7 sementes m <sup>-1</sup>
D5	8 sementes m <sup>-1</sup>

Tabela 14 – Tratamentos da avaliação indireta da acurácia e distribuição longitudinal de sementes

Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )	Densidade de semeadura (sementes m <sup>-1</sup> )	Combinação dos fatores (tratamentos)
V1	D1	V1D1
	D2	V1D2
	D3	V1D3
	D4	V1D4
	D5	V1D5
V2	D1	V2D1
	D2	V2D2
	D3	V2D3
	D4	V2D4
	D5	V2D5
V3	D1	V3D1
	D2	V3D2
	D3	V3D3
	D4	V3D4
	D5	V3D5
V4	D1	V4D1
	D2	V4D2
	D3	V4D3
	D4	V4D4
	D5	V4D5

### 2.3.3. Experimentos de avaliação do protótipo em regime transitório

#### 2.3.3.1. Avaliação indireta dos tempos de resposta

O método por avaliação indireta monitorou a rotação e o tempo, pelo sistema de coleta de dados (item 2.2.8.), estando descrito na figura 18.

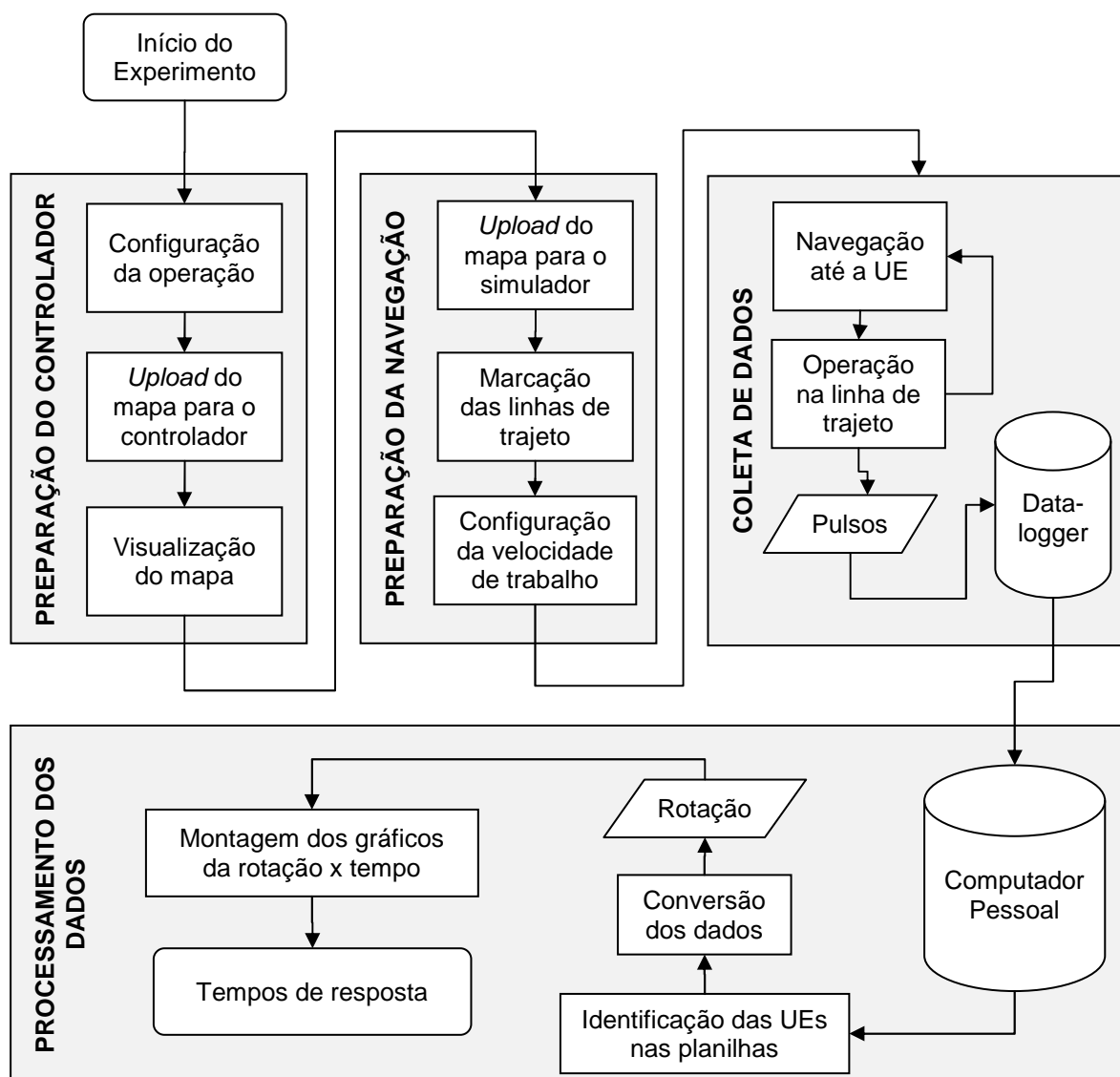


Figura 18 – Fluxograma do método da avaliação indireta dos tempos de resposta



Para testar os efeitos das calibrações, velocidades e trocas de dosagem nos tempos de resposta, o delineamento inteiramente casualizado, em parcelas sub-subdivididas foi utilizado, em esquema fatorial 2 x 6 x 4, com 4 repetições. As avaliações corresponderam ao monitoramento por 10 segundos, da rotação do dosador, a partir do início do regime transitório, concordando com Yang (2001) e Schumann et al. (2006a).

Os níveis do fator troca de dosagem foram obtidos pelo deslocamento no sentido oeste-leste das linhas de trajeto, conforme descrito no mapa do regime transitório. As transições foram do tipo degrau unitário, com as fases crescentes e decrescentes avaliadas em cada unidade experimental. As três zonas consecutivas de cada parcela possuíam 30 x 30 m, a primeira para estabilização do acionamento, na segunda ocorrendo a acomodação da rotação e avaliação da etapa crescente, e a última para a etapa decrescente. Diferenças entre as fases são encontradas em Cerri (2001), Molin e Menegatti (2003) e Umezu (2003), sendo que os autores verificaram que as fases decrescentes ocorreram mais rapidamente.

Os tempo de atraso, tempo de transição (equivalente ao tempo de subida) e o tempo de acomodação foram avaliados nas fases crescente e decrescente, de acordo com Shearer et al. (2002) e Umezu (2003). As referências das trocas foram 0 a 100%, e da acomodação 5% da média (OGATA, 2011).

As trocas de dosagem, corresponderam ao proposto por Shearer et al. (2002), com combinações entre 0, 50, 75, 90% da dose máxima recomendada para o cultivo, de 100.000 sementes ha<sup>-1</sup>, ou 8 sementes m<sup>-1</sup>. As prescrições atendem aos valores adotados nos experimentos de Hörbe et al. (2013), Bragachini et al. (2012) e Paszkiewicz e Butzen (2007), bem como os referenciais das recomendações do Sistema de Produção de Milho da Embrapa, elaboradas por Cruz et al. (2011).

As bordaduras, as especificações operacionais do sistema de fertilizantes e o abastecimento dos reservatórios, obedeceram aos procedimentos do experimento em regime estacionário por avaliação direta, cujo método foi descrito no item 2.3.2.1.

A organização do experimento, quanto à descrição dos níveis dos fatores, foi disposta na tabela 15. A descrição das zonas avaliadas nas fases crescentes e decrescentes do regime transitório, das trocas de dosagem T1 a T6, foi disposta na tabela 16. A organização dos tratamentos e respectivas codificações foram dispostas na tabela 17.

Tabela 15 – Fatores, níveis e codificações das avaliações indiretas do regime transitório

Codificação	Descrição
Níveis do fator 1 = Calibração do acionamento do protótipo	
C1	Calibração padrão
C2	Calibração otimizada
Níveis do fator 2 = Velocidade de deslocamento	
V1	4 km h <sup>-1</sup>
V2	6 km h <sup>-1</sup>
V3	8 km h <sup>-1</sup>
V4	10 km h <sup>-1</sup>
Níveis do fator 3 = Troca de dosagem	
T1	4 – 6 – 4 sementes m <sup>-1</sup>
T2	6 – 7,2 – 6 sementes m <sup>-1</sup>
T3	4 – 7,2 – 4 sementes m <sup>-1</sup>
T4	0 – 4 – 0 sementes m <sup>-1</sup>
T5	0 – 6 – 0 sementes m <sup>-1</sup>
T6	0 – 7,2 – 0 sementes m <sup>-1</sup>

Tabela 16 – Diferenciação dos tratamentos nas fases crescente e decrescente

Fase	Troca de dosagem	DS (sementes m <sup>-1</sup> )	TS (sementes ha <sup>-1</sup> )
Crescente	T1	6	75.000
	T2	7,2	87.500
	T3	7,2	87.500
	T4	4	50.000
	T5	6	75.000
	T6	7,2	87.500
Decrescente	T1	4	50.000
	T2	6	75.000
	T3	4	50.000
	T4	0	0
	T5	0	0
	T6	0	0

Nota: As fases diferenciam os tratamentos quanto à prescrição. Os tratamentos avaliados na segunda zona do mapa compõem a fase crescente, enquanto na terceira, caracterizam a etapa decrescente. DS: Densidades de semeadura. TS: Taxas de semeadura. T1 a T6: Trocas de dosagem.

Tabela 17 – Tratamentos da avaliação indireta do regime transitório

Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )	Troca de dosagem (sementes m <sup>-1</sup> )	Calibração	
		C1	C2
Combinação dos fatores (tratamentos)			
V1	T1	C1V1T1	C2V1T1
	T2	C1V1T2	C2V1T2
	T3	C1V1T3	C2V1T3
	T4	C1V1T4	C2V1T4
	T5	C1V1T5	C2V1T5
	T6	C1V1T6	C2V1T6
V2	T1	C1V2T1	C2V2T1
	T2	C1V2T2	C2V2T2
	T3	C1V2T3	C2V2T3
	T4	C1V2T4	C2V2T4
	T5	C1V2T5	C2V2T5
	T6	C1V2T6	C2V2T6
V3	T1	C1V3T1	C2V3T1
	T2	C1V3T2	C2V3T2
	T3	C1V3T3	C2V3T3
	T4	C1V3T4	C2V3T4
	T5	C1V3T5	C2V3T5
	T6	C1V3T6	C2V3T6
V4	T1	C1V4T1	C2V4T1
	T2	C1V4T2	C2V4T2
	T3	C1V4T3	C2V4T3
	T4	C1V4T4	C2V4T4
	T5	C1V4T5	C2V4T5
	T6	C1V4T6	C2V4T6

Nota: Experimento em regime transitório, utilizando dosador pneumático. C: calibração. V: Velocidade de deslocamento. T: Troca de dosagem.

### 2.3.3.2. Avaliação indireta da acurácia e qualidade de distribuição de sementes

O experimento com dosador pneumático em regime transitório visou descrever os impactos na qualidade da distribuição longitudinal de sementes, das oscilações provocadas pelas transições. As avaliações indiretas utilizaram as

rotações médias aferidas durante o tempo de gravação dos dados, utilizando os mesmos registros do experimento dos tempos de resposta, cujo método foi descrito no item 2.3.3.1., para a predição das variáveis densidade de semeadura e porcentagens de aceitáveis e múltiplos. A porcentagem de falhos correspondeu à porcentagem total, decrescida da predição dos aceitáveis e múltiplos. As variáveis equivalem àquelas obtidas de acordo com a norma a norma ABNT (1994), cujos critérios foram aplicados durante a modelagem. O método foi descrito na figura 19.

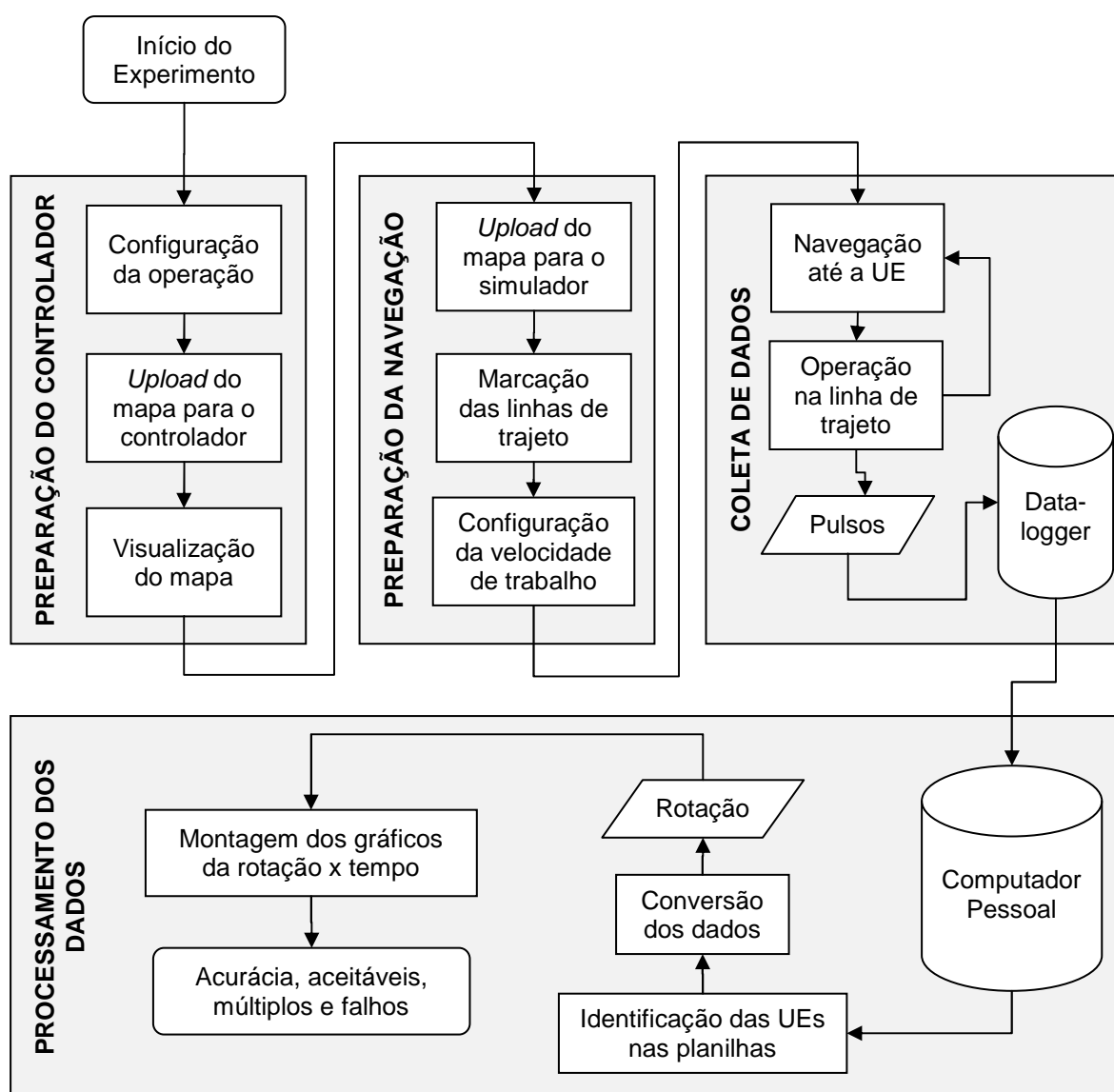


Figura 19 – Fluxograma do método da avaliação indireta da acurácia e qualidade de distribuição de sementes em regime transitório

Os modelos de predição utilizados, de identificação M45 a M48 para densidade de semeadura, M49 a M60 para os aceitáveis e M61 a M72 para os múltiplos, foram descritos na tabela 9.

Os efeitos das calibrações, velocidades e trocas de dosagem nas variáveis da regularidade da distribuição longitudinal de sementes, foram testados no delineamento inteiramente casualizado, em parcelas sub-subdivididas, em um esquema fatorial 2 x 6 x 4, com 4 repetições. Os tratamentos correspondem aos descritos nas tabelas 15, 16 e 17.

#### 2.3.4. Análise estatísticas dos experimentos de avaliação do protótipo

As análises estatísticas dos experimentos de avaliação do protótipo constaram de testes de normalidade, testes de transformação de dados, de efeito dos tratamentos e testes de médias. O teste de normalidade utilizado foi o de Anderson-Darling, pelo qual foram testados os efeitos dos erros. As variáveis, ao não obterem normalidade, receberam a aplicação da Transformação Box-Cox.

O efeito dos tratamentos foi verificado pelo teste de Kruskal-Wallis, que é análogo ao teste F da anova, para testar as hipóteses alternativas utilizadas neste trabalho, de efeitos significativos dos tratamentos aplicados nos experimentos. Quando identificados efeitos dos tratamentos, os contrastes entre as médias foram verificados pelas Comparações Múltiplas de Kruskal-Wallis, em nível de 95% de probabilidade. Os contrastes permitiram complementar a verificação das hipóteses pelos efeitos dos tratamentos, sendo que as comparações múltiplas retornam um *ranking* da maior para a menor média. Segundo a análise das posições dos tratamentos, puderam ser discutidas relações ou agrupamentos entre tratamentos, identificando tendências para complementar o julgamento das hipóteses e compreender o comportamento do protótipo.

O processo de análise estatística, das variáveis das avaliações do protótipo, foi realizado por intermédio do aplicativo Action, versão 2.6.2016.366.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Experimentos preliminares

##### 3.1.1. Seleção da classificação da semente

As dimensões descritivas da semente selecionada pelo melhor desempenho, possui classificação pelas peneiras R1 e R2, segundo a empresa detentora do híbrido citado no item 2.2.1., estando as medidas aferidas dispostas na tabela 18.

Tabela 18 – Dimensões da classificação do híbrido selecionada

Especificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Esfericidade (%)
Média	9,34	8,43	6,65	87,23
Desvio Padrão	1,21	0,80	0,73	11,79
Coefficiente de Variação (%)	12,99	9,49	10,95	13,51

A combinação selecionada operou com disco de alvéolos arredondados, de dimensão 12 mm (conforme apêndice B). Com a combinação R125, o dosador de discos alveolados apresentou valores dentre os mais elevados para os aceitáveis em 4 e 6 km h<sup>-1</sup>, acima de 90%, com qualificação de nível ótimo de acordo com Tourino e Klingensteiner (1983). Apresentou também o melhor valor em 10 km h<sup>-1</sup>, com 83,81% de aceitáveis, expressivamente melhor que a segunda combinação nesta velocidade, de apenas 76,67% na mesma condição de velocidade.

As aferições demonstraram que as maiores folgas proporcionaram melhor desempenho, quando analisado o aumento da velocidade operacional. A combinação R125, possui espaço livre entre semente e alvéolo maior que as recomendações de Kepner apud Machado et al. (2005) e Mialhe (2012). Complementos para estes resultados podem ser verificados nos apêndices C e D.

### 3.1.2. Modelagem do dosador de discos alveolados

A densidade de semeadura aferida apresentou taxa decrescente ao longo das rotações testadas, ou seja, a cada unidade de rotação adicional, menor o valor acrescido na densidade. Esse comportamento é característico desse dosador, submetido ao aumento da rotação, fenômeno verificado por Jasper et al. (2009).

As linhas de tendência dos modelos identificados pelos códigos M1 a M4 (segundo a tabela 9 apresentada no item 2.3.1.4.), para a predição da densidade de semeadura do dosador de discos alveolados, operando em 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>, foram expostas na figura 20.

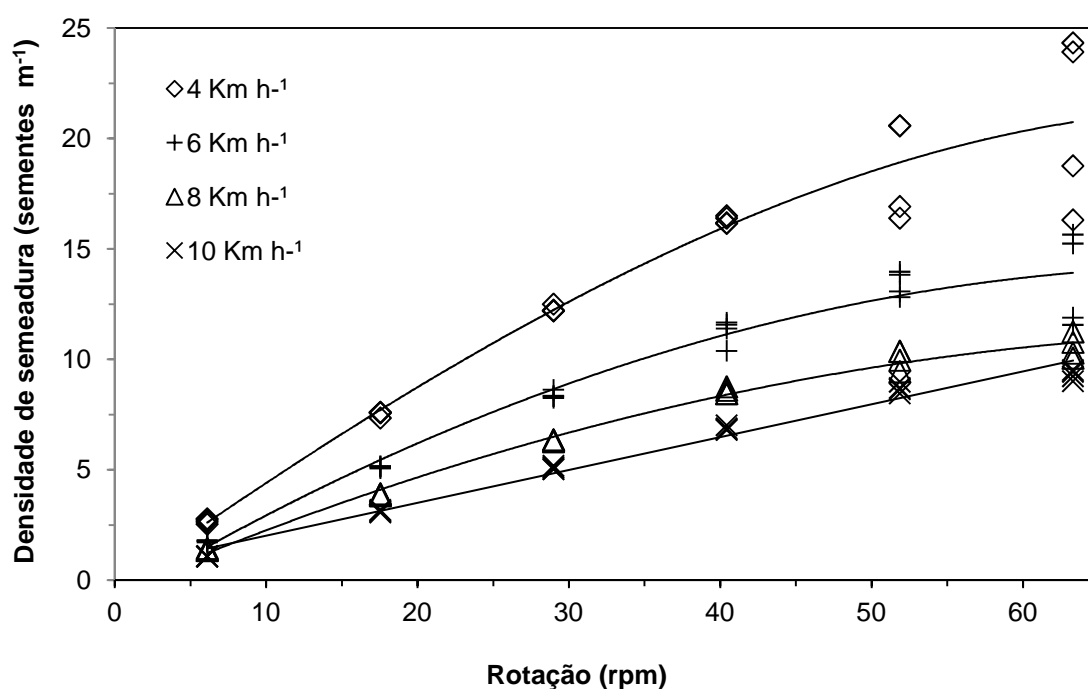


Figura 20 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de densidade de semeadura do dosador de discos alveolados

Pode-se constatar que a dispersão dos valores aferidos para as unidades experimentais, durante a modelagem do dosador de discos alveolados, aumentou ao longo da rotação. Essa dispersão não acarreta em decréscimo da qualidade operacional do dosador, quando operando nas rotações usuais para o cultivo do



milho, ou seja, o aumento da variabilidade na dosagem ocorreu com rotação de até 1,5 vezes as rotações de referência descritas no item 2.3.1.2.

Os parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de densidade de semeadura M1 a M4 foram dispostos na tabela 19.

Tabela 19 – Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de densidades de semeadura do dosador de discos alveolados

Parâmetros	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )			
	4	6	8	10
a	-0,64208032	-0,88387439	0,19005897	-0,41934504
b	0,53767608	0,40949947	0,18569195	0,27916482
c	-0,00313791	-0,00277547	0,00201074	-0,00674770
d	-	-	-0,00003711	0,00016469
e	-	-	-	-0,00000141
f	-	-	-	-
R <sup>2</sup> (%)	99,89	99,43	99,99	99,98

Nota: Modelos códigos M1 a M4, para predição das densidades de semeadura com velocidades de deslocamento de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>, de acordo com a especificação de cada modelo.

Os parâmetros dos modelos de densidade de semeadura obtiveram significância desde o segundo ao quarto grau. Os coeficientes de determinação obtiveram média 99,82%, superior ao modelo utilizado por Cerri (2001), de 99,78%, bem como aos modelos utilizados por Garcia (2007), de 96,03% e 84,38%. A partir dos coeficientes de determinação avaliados, pode-se afirmar que as verificações a serem realizadas por predição terão correspondência efetiva com os valores reais, pois as dispersões ocorrem próximas das linhas de tendência dos modelos.

Os parâmetros significativos e coeficientes de determinação dos modelos M5 a M24, para predição da porcentagem de espaçamentos aceitáveis entre sementes do dosador de discos alveolados, operando nas velocidades de trabalho de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>, encontram-se dispostos na tabela 20. Pode-se verificar que os parâmetros apresentaram graus de significância do quarto ao quinto, e que os coeficientes de determinação demonstraram alto grau de variação explicada. Os mesmos obtiveram média 99,87%, superando o estabelecido em Cerri (2003) e em Garcia (2007).

Tabela 20 – Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de aceitáveis do dosador de discos alveolados

Parâmetros	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )			
	4	6	8	10
	DS4 (4 sementes m <sup>-1</sup> )			
Códigos	M5	M6	M7	M8
a	-236,4941103	-299,50846000	-149,99018740	-112,37202260
b	68,34431679	74,10445852	32,49803030	23,30378738
c	-5,03775170	-4,86002039	-1,40979430	-0,86460601
d	0,15635488	0,13891069	0,02322561	0,01219703
e	-0,00219420	-0,00183839	-0,00013228	-0,00005990
f	0,00001148	0,00000923	-	-
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,99	99,95	99,99
	DS5 (5 sementes m <sup>-1</sup> )			
Códigos	M9	M10	M11	M12
a	-362,46584430	-109,97922880	-105,21979800	138,24109900
b	92,35376597	21,52384403	21,70738939	-39,90971273
c	-6,40714505	-0,52243814	-0,77081553	3,47033779
d	0,19184812	-0,00683536	0,01020511	-0,11383040
e	-0,00263085	0,00032260	-0,00004531	0,00161419
f	0,00001356	-0,00000254	-	-0,00000838
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,99	99,99	99,99
	DS6 (6 sementes m <sup>-1</sup> )			
Códigos	M13	M14	M15	M16
a	-281,17305730	-132,27716890	122,49106280	205,73046590
b	69,04336390	28,14579647	-36,62129316	-56,24868190
c	-4,42171657	-1,15272210	3,38636666	4,49342815
d	0,12298702	0,01815179	-0,11629274	-0,14194552
e	-0,00158192	-0,00010004	0,00170833	0,00197985
f	0,00000772	-	-0,00000911	-0,00001022
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,76	99,99	99,99
	DS7 (7 sementes m <sup>-1</sup> )			
Códigos	M17	M18	M19	M20
a	-163,24083910	-21,18104474	247,78757210	128,88082570
b	36,24796678	-0,28232120	-68,09924329	-34,34420771
c	-1,70034713	0,86991697	5,56189571	2,59204418
d	0,03021001	-0,04270881	-0,18090092	-0,07550140
e	-0,00018458	0,00073213	0,00258998	0,00097190
f	-	-0,00000426	-0,00001365	-0,00000467
R <sup>2</sup> (%)	99,83	99,99	99,99	99,99
	DS8 (8 sementes m <sup>-1</sup> )			
Códigos	M21	M22	M23	M24
a	-143,89078650	188,55170500	206,35794910	52,518371050
b	31,24207540	-54,41643487	-55,86957958	-12,938634340
c	-1,36067380	4,77233223	4,43827415	0,810130005
d	0,02267381	-0,16262953	-0,14022235	-0,015862630
e	-0,00013136	0,00240786	0,00195836	0,000099440
f	-	-0,00001302	-0,00001011	-
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,99	99,99	99,63

Nota: Modelos M5 a M24, velocidades 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup> e densidades 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>.

Os modelos para predição da porcentagem de espaçamentos aceitáveis para velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup> e densidades 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>, encontram-se dispostos na figura 21. Sua representação gráfica consistiu nas linhas de tendência e na dispersão dos valores das unidades experimentais, durante a modelagem.

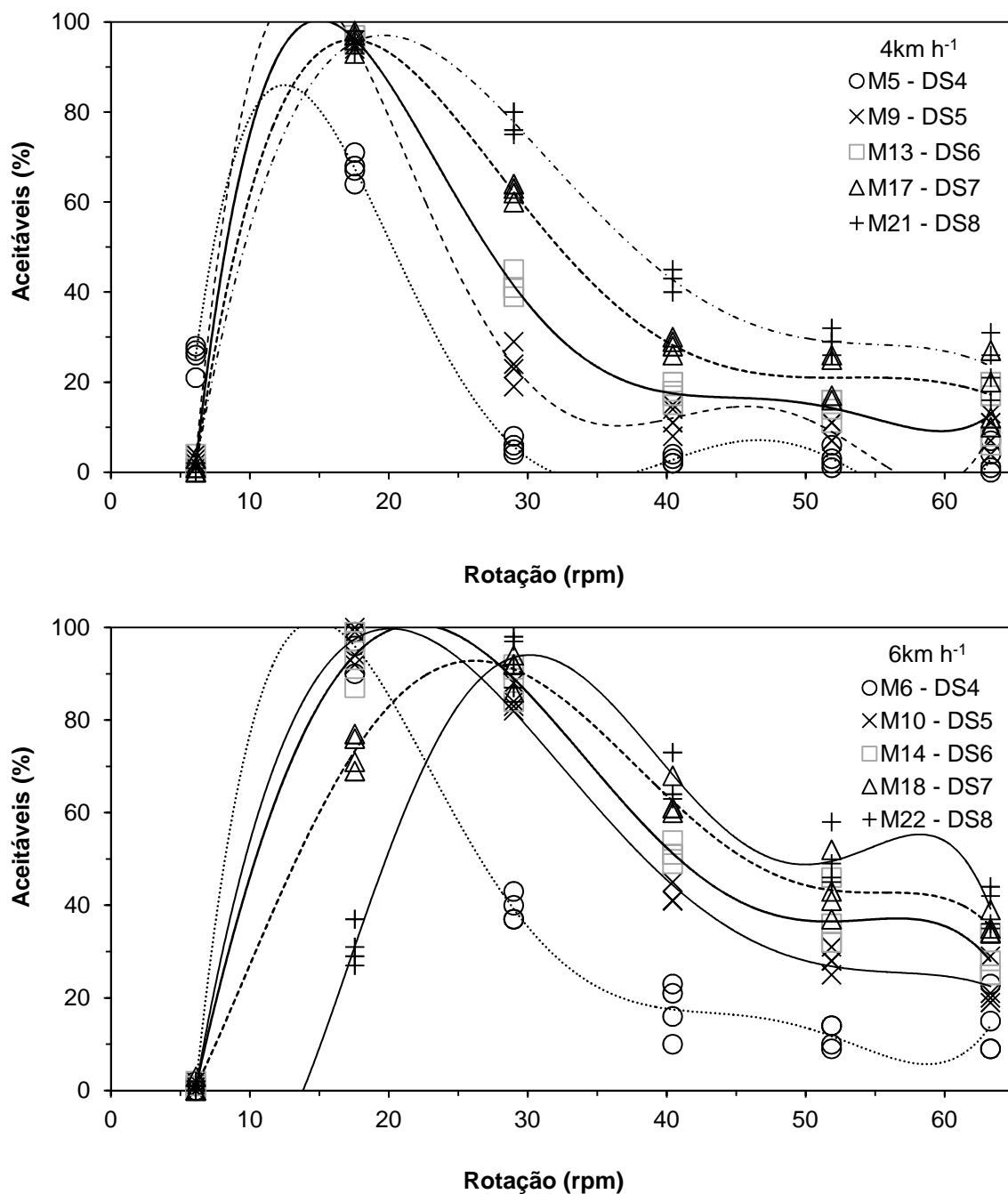


Figura 21 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de aceitáveis do dosador de discos alveolados nas velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup>

Os modelos para predição dos aceitáveis, para velocidades operacionais 8 e 10 km h<sup>-1</sup>, e densidades 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>, foram representados graficamente quanto à dispersão das aferições e linhas de tendência, na figura 22.

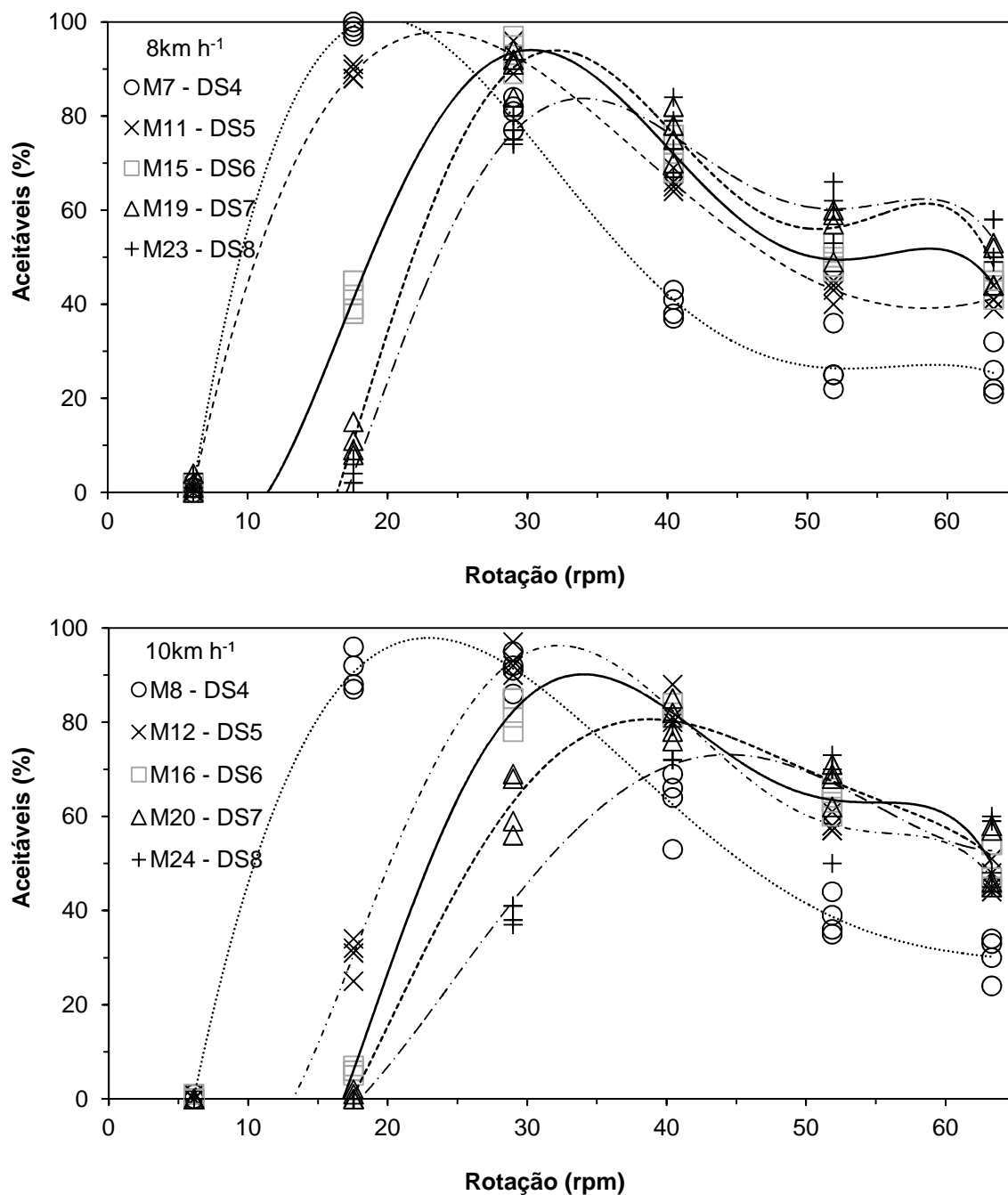


Figura 22 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de aceitáveis do dosador de discos alveolados nas velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup>

A análise dos modelos a partir das figuras 21 e 22, demonstrou espaçamentos aceitáveis elevados, atingindo valores acima de 90% para as velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup>. Nas velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup>, este desempenho somente foi mantido para as zonas de densidade de semeadura 4 e 5 sementes m<sup>-1</sup> (DS4 e DS5). Os valores estão de acordo com Mahl et al. (2004), Jasper et al. (2009) e Machado et al. (2012). O desempenho positivo do dosador está relacionado ao ajuste, corretamente selecionado, entre semente e alvéolo. As linhas de tendência apresentaram formatos mais abruptos nas velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup>, evidenciando que a região da curva com valores máximos de aceitáveis, amplia-se com o aumento da velocidade.

O modelo M5, com velocidade 4 km h<sup>-1</sup>, diferiu dos demais pelo patamar dos aceitáveis ocorrer em aproximadamente 83%. Esse comportamento foi atribuído aos níveis de rotação dos dois primeiros tratamentos, que casualmente originaram menos aceitáveis, deslocando o topo da curva. Esse efeito pode ser considerado uma distorção dos resultados, pois não deveria ter desempenho inferior em uma menor velocidade que os modelos M6 e M7, de 6 e 8 km h<sup>-1</sup>, que atingiram valores máximos (100%) de aceitáveis.

O dosador apresentou potencial adequado de aceitáveis para semeadura à TV, com limitações apenas nas maiores velocidades e densidades. Operando em 4 e 6 km h<sup>-1</sup>, obteve nível ótimo de desempenho, de acordo com a classificação de Tourino e Klingensteiner (1983), independentemente da densidade de semeadura. Na maior densidade e velocidade 8 km h<sup>-1</sup>, pode-se observar que o modelo M23 teve pico de aceitáveis reduzido para aproximadamente 82%. Os mesmos efeitos foram observados a partir da DS7, na velocidade 10 km h<sup>-1</sup>, tendo o modelo M20 apresentado valor de pico próximo de 80%. Para a DS8, do modelo M24, os aceitáveis reduziram-se para aproximadamente 71%, no ponto máximo. Segundo a classificação de desempenho citada, os modelos M20 e M24, obtiveram qualificação de desempenho bom e regular, respectivamente.

Os modelos para predição dos espaçamentos múltiplos do dosador de discos alveolados, identificados pelos códigos M25 a M44, foram descritos na tabela 21, quanto aos parâmetros e coeficientes de determinação. A significância foi do quarto e quinto grau, com exceção do modelo M44, que apresentou segundo grau. Os coeficientes de determinação apresentaram média de 95,96% de variação explicada, sendo estes valores acima dos referenciais de Cerri (2001) e Garcia (2007).

Tabela 21 – Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de múltiplos do dosador de discos alveolados

Parâmetros	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )			
	4	6	8	10
DS4 (4 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M25	M26	M27	M28
a	134,70110020	-299,50846000	-43,91689645	1,04460448
b	-37,76447037	74,10445852	14,43659092	0,35079254
c	3,29411126	-4,86002039	-1,41238857	-0,07400567
d	-0,10919422	0,13891069	0,05694404	0,00350267
e	0,00158516	-0,00183839	-0,00094867	-0,00003406
f	-0,00000846	0,00000923	0,00000556	-
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,99	99,99	99,83
DS5 (5 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M29	M30	M31	M32
a	193,73655520	-64,31090486	-23,99397514	-7,60394809
b	-51,66534894	19,24070991	8,10619344	2,26205683
c	4,08472896	-1,76767318	-0,75067079	-0,17037221
d	-0,12888017	0,06804155	0,02768863	0,00472608
e	0,00181488	-0,00110533	-0,00041496	-0,00003740
f	-0,00000949	0,00000639	0,00000218	-
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,99	99,99	99,84
DS6 (6 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M33	M34	M35	M36
a	111,35214990	-67,49635488	1,34311993	-6,63437405
b	-28,45640041	19,91942193	0,75986905	1,98127314
c	2,11504986	-1,78897081	-0,10608572	-0,14590535
d	-0,06062833	0,06713154	0,00397901	0,00394240
e	0,00077547	-0,00107168	-0,00003619	0,00003041
f	-0,00000371	0,00000612	-	-
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,99	99,84	99,78
DS7 (7 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M37	M38	M39	M40
a	46,30628817	-40,39716923	-0,90441693	-4,16056957
b	-10,41079705	11,92730668	1,00670658	1,35437307
c	0,63823612	-1,05930137	-0,10514867	-0,10010650
d	-0,01208053	0,03906220	0,00348383	0,00264868
e	0,00007480	-0,00060478	-0,00002980	-0,00001946
f	-	0,00000334	-	-
R <sup>2</sup> (%)	99,90	99,99	99,93	99,95
DS8 (8 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M41	M42	M43	M44
a	-19,65009863	-41,70409458	-1,60119804	4,23317387
b	7,53993923	12,14134153	1,12982368	-0,53624424
c	-0,80612391	-1,05197097	-0,10684682	0,01589593
d	0,03507390	0,03766823	0,00331361	-
e	-0,00060624	-0,00057089	-0,00002767	-
f	0,00000363	0,00000310	-	-
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,99	99,98	98,94

Nota: Modelos M25 a M44, velocidades 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup> e densidades 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>.

Os modelos para predição dos múltiplos do dosador de discos alveolados para velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup> e densidades 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>, foram dispostos graficamente na figura 23, estando demonstradas as linhas de tendência e a dispersão das aferições realizadas.

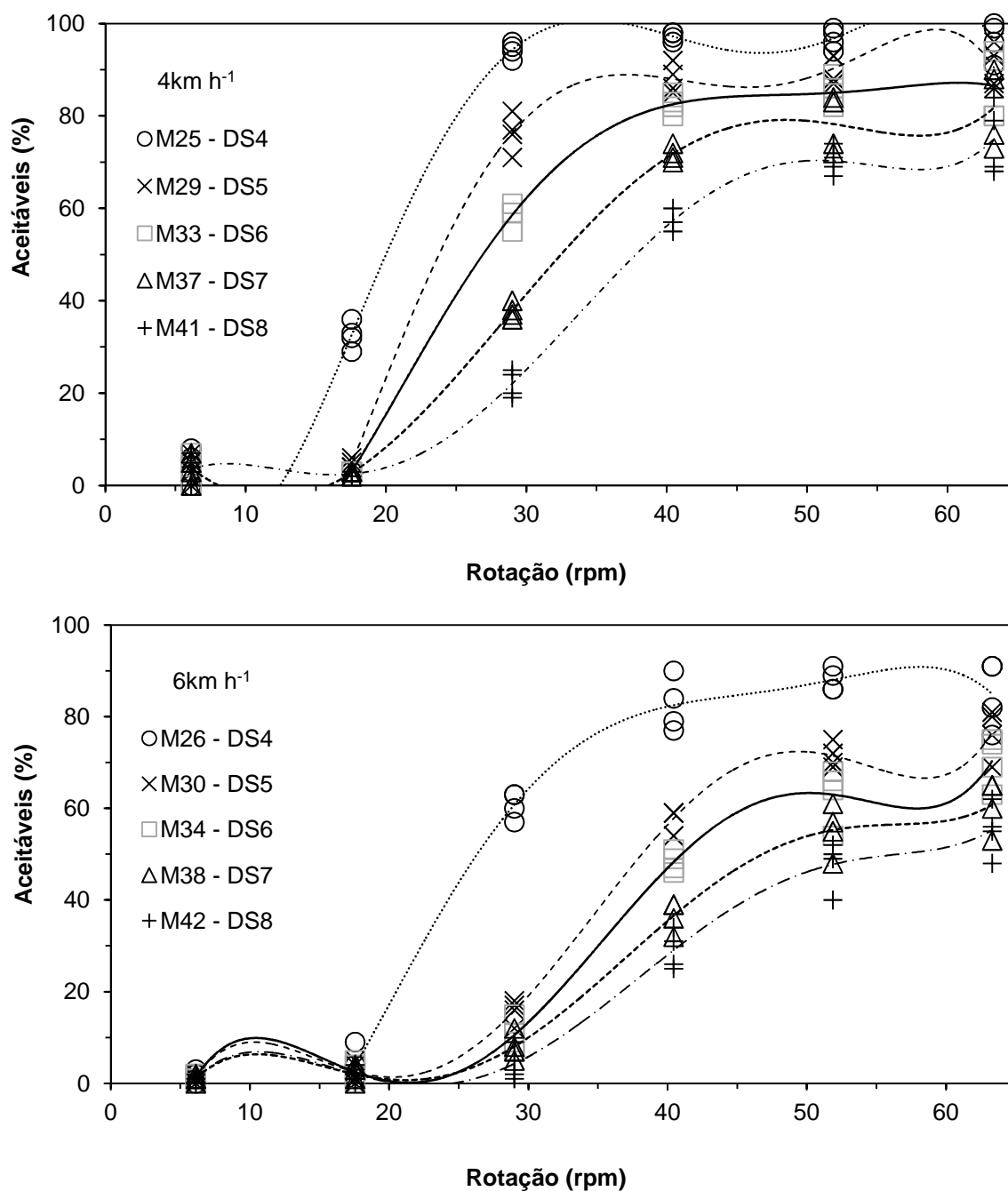


Figura 23 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de múltiplos do dosador de discos alveolados nas velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup>

Os modelos para predição de múltiplos, operando com dosador de discos alveolados, nas velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup> e densidades 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>, foram dispostos graficamente na figura 24.

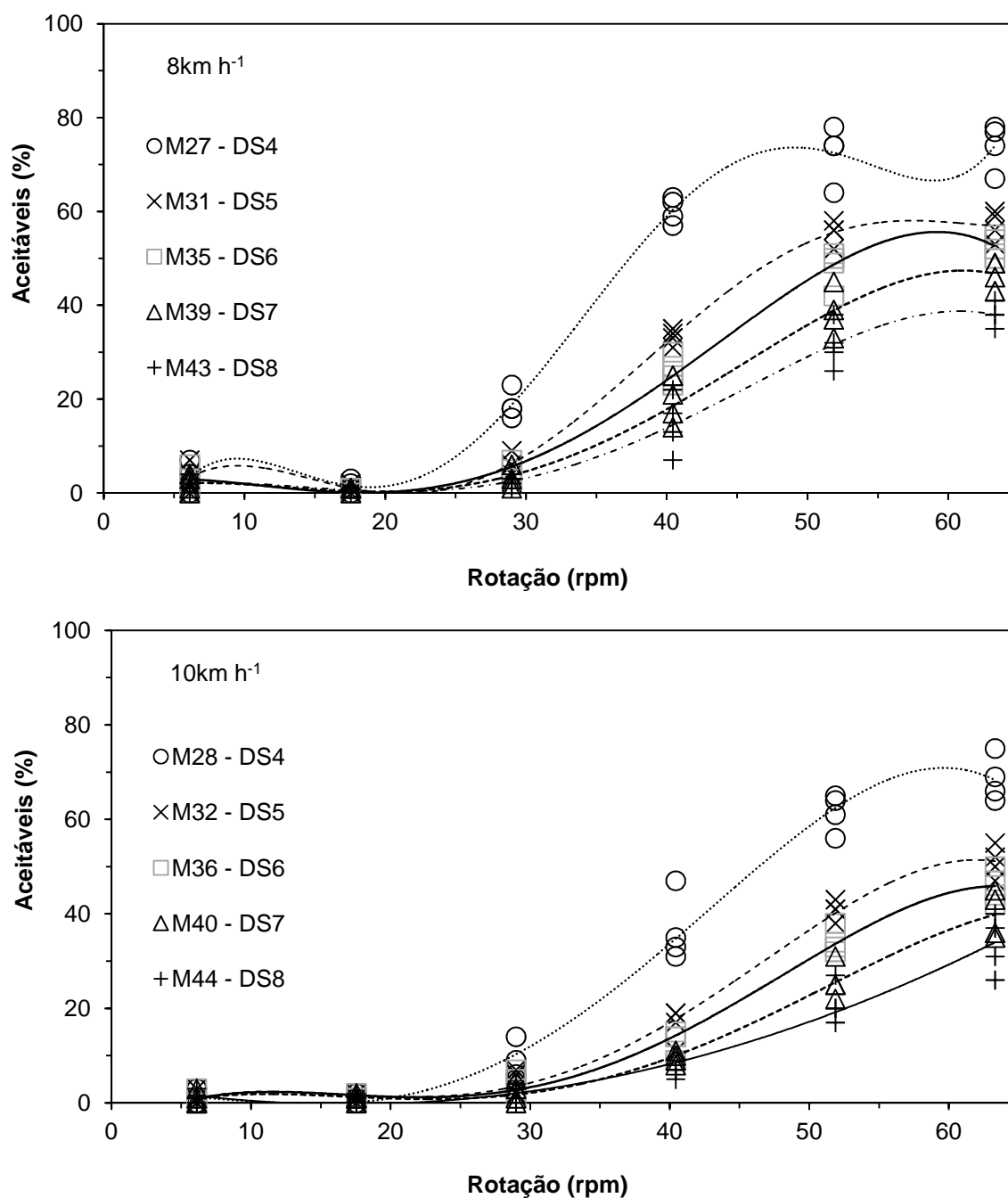


Figura 24 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de múltiplos do dosador de discos alveolados nas velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup>



Os gráficos apresentados nas figuras 23 e 24 demonstraram que próximo das rotações de referência, os múltiplos sempre foram mínimos em todas as velocidades testadas. Entretanto, os modelos M25 e M26, apresentaram maiores inflexões no acréscimo dos múltiplos, demonstrando que na DS4, operando em 4 e 6 km h<sup>-1</sup>, a operação ao ultrapassar uma determinada rotação, irá ter maior decréscimo de qualidade. As seções das curvas de máximos múltiplos reduziram-se com o aumento das velocidades e das densidades das zonas. A verificação destas regiões somente ocorreu para velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup>, o que não compromete a utilização dos modelos nas faixas de rotação para predição testadas, pois ultrapassam aquelas que seriam utilizadas para a semeadura à TV do milho no campo.

### 3.1.3. Modelagem do dosador pneumático

Os modelos de predição da densidade de semeadura para o dosador pneumático apresentaram unidades experimentais com baixa variabilidade entre si. Na figura 25 foram apresentadas suas linhas de tendência e dispersão.

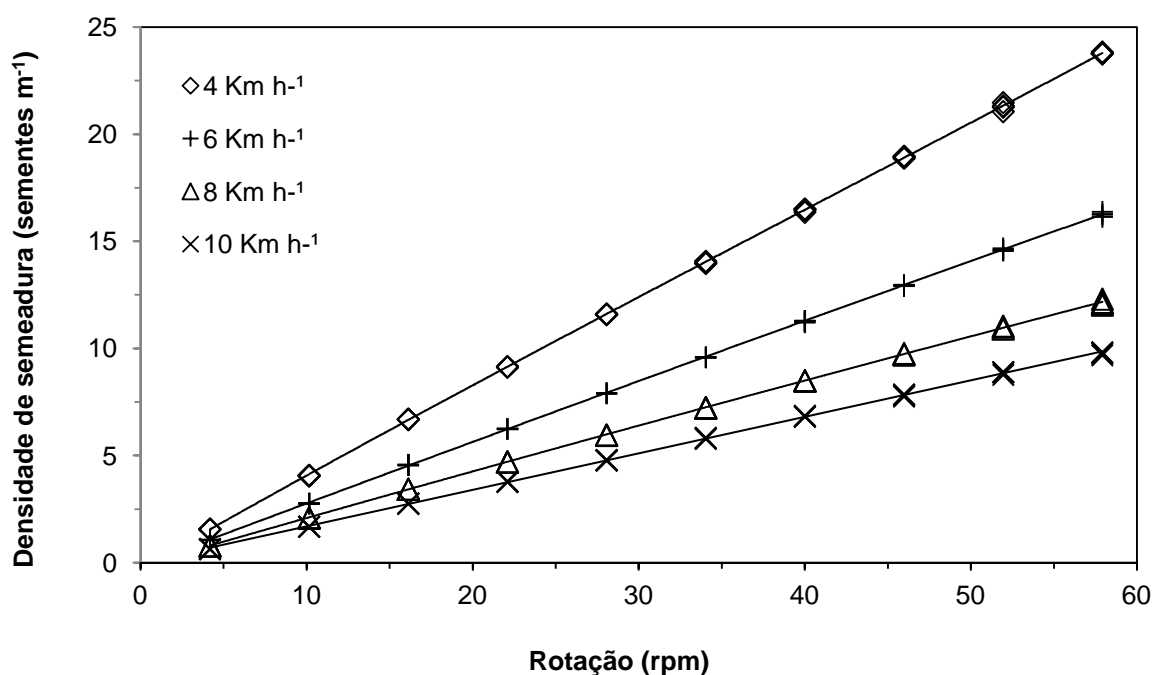


Figura 25 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de densidade de semeadura do dosador pneumático

O comportamento dos modelos foi estável com o aumento das rotações, qualificando-o como de alto potencial para TV, pois poderá operar sem desvios significativos e com acurácia adequada, para velocidades altas, até  $10 \text{ km h}^{-1}$ . Na figura 25, pode-se ainda constatar praticamente a sobreposição dos marcadores.

Os modelos de códigos M45 a M48 (de acordo com a codificação exposta na tabela 10, do item 2.3.1.4.), para predição da densidade de semeadura executada pelo dosador pneumático, a partir da aferição da rotação do disco dosador pneumático, tiveram os parâmetros e coeficientes dispostos na tabela 22.

Tabela 22 – Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de densidade de semeadura do dosador pneumático

Parâmetros	Velocidades ( $\text{km h}^{-1}$ )			
	4	6	8	10
Códigos	M45	M46	M47	M48
a	-0,28466416	-0,13462501	-0,13024713	-0,04426264
b	0,44355258	0,29133771	0,22314208	0,15680882
c	-0,00091062	-0,00014200	-0,00018458	0,00247939
d	0,00000738	-	-	-0,00012342
e	-	-	-	0,00000246
f	-	-	-	-0,00000002
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,99	99,99	99,99

Nota: Modelos M45 a M48, para predição das densidades de semeadura com velocidades de deslocamento de 4, 6, 8 e  $10 \text{ km h}^{-1}$ , de acordo com a especificação de cada modelo.

Os parâmetros dos modelos de densidade obtiveram significância desde o segundo ao quinto grau. Os coeficientes de determinação apresentaram pequena variação para as velocidades, com média 99,99%, superior ao modelo utilizado por Cerri (2001), de 99,78%, e aos utilizados por Garcia (2007), de 96,03% e 84,38%.

Os modelos M49 a M60 para predição da porcentagem de espaçamentos entre sementes aceitáveis foram dispostos na tabela 23. Nas figuras 26 e 27, foram detalhados os comportamentos dos aceitáveis ao longo do aumento da rotação do dosador, para cada uma das combinações da operação do equipamento, entre zonas de prescrição (4, 6 e  $7,2 \text{ sementes m}^{-1}$ ) e velocidades (4, 6, 8 e  $10 \text{ km h}^{-1}$ ).

Tabela 23 – Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de aceitáveis do dosador pneumático

Parâmetros	Velocidades (km h <sup>-1</sup> )			
	4	6	8	10
DS4 (4 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M49	M50	M51	M52
a	-248,50914390	-84,41971210	67,29022959	38,47193478
b	84,07394033	22,51889347	-30,61053097	-17,96044017
c	-6,84941029	-0,51903659	3,90177880	2,25359767
d	0,23137103	-0,02037771	-0,16237252	-0,08526732
e	-0,00351269	0,00077075	0,00273872	0,00130624
f	0,00001984	-0,00000644	-0,00001635	-0,00000718
R <sup>2</sup> (%)	95,57	98,29	94,25	96,30
DS6 (6 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M53	M54	M55	M56
a	-82,20391455	40,05191875	95,03233507	46,79941507
b	21,97570556	-20,49302934	-34,39965077	-14,97071776
c	-0,51839424	2,80706341	3,39267022	1,16598237
d	-0,01833671	-0,11556137	-0,12056980	-0,02637369
e	0,00070677	0,00190661	0,00185410	0,00018800
f	-0,00000590	-0,00001115	-0,00001056	-
R <sup>2</sup> (%)	98,88	92,21	92,21	96,28
DS7,2 (7,2 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M57	M58	M59	M60
a	64,76588868	69,95707349	70,29068171	-10,47882941
b	-30,99079847	-27,25671159	-23,99627433	6,35880899
c	4,19022523	2,91918709	2,15464729	-1,07699474
d	-0,18599601	-0,10561464	-0,06751994	0,06330708
e	0,00333418	0,00159465	0,00091435	-0,00133687
f	-0,00002104	-0,00000873	-0,00000462	0,00000935
R <sup>2</sup> (%)	93,37	98,30	96,27	96,76

Nota: Modelos M49 a M60, para predição de espaçamentos aceitáveis operando com dosador pneumático, em velocidades 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup> e zonas de prescrição 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>.

Na tabela 23 é possível constatar que os modelos de predição da porcentagem de espaçamentos aceitáveis, apresentaram quinto nível significativo, com exceção do M56, com quarto nível significativo. Os coeficientes de determinação apresentaram média 95,73%, compatível com Garcia (2007).

Os modelos para predição da porcentagem de espaçamentos aceitáveis, para o dosador pneumático, operando em velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup> e densidades de

semeadura 4, 6 e 7,2 sementes  $m^{-1}$ , foram detalhados pelas linhas de tendência e dispersão das aferições na figura 26.

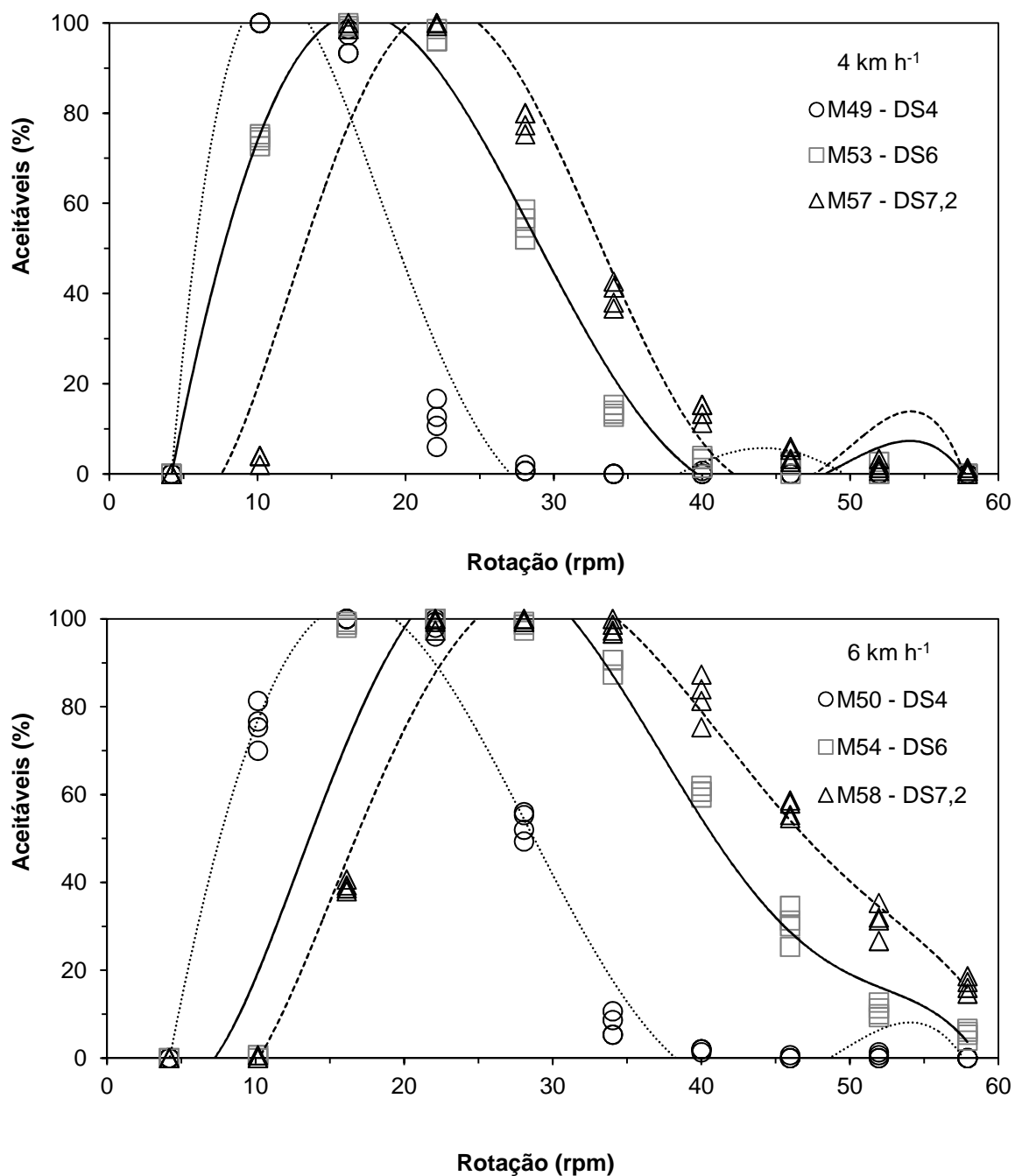


Figura 26 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de aceitáveis do dosador pneumático nas velocidades 4 e 6  $km\ h^{-1}$

Na figura 27 foram apresentados os modelos para aceitáveis, do dosador pneumático, com velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup> e densidades 4, 6 e 7,2 sementes m<sup>-1</sup>, dispondo as linhas de tendência e a dispersão das avaliações.

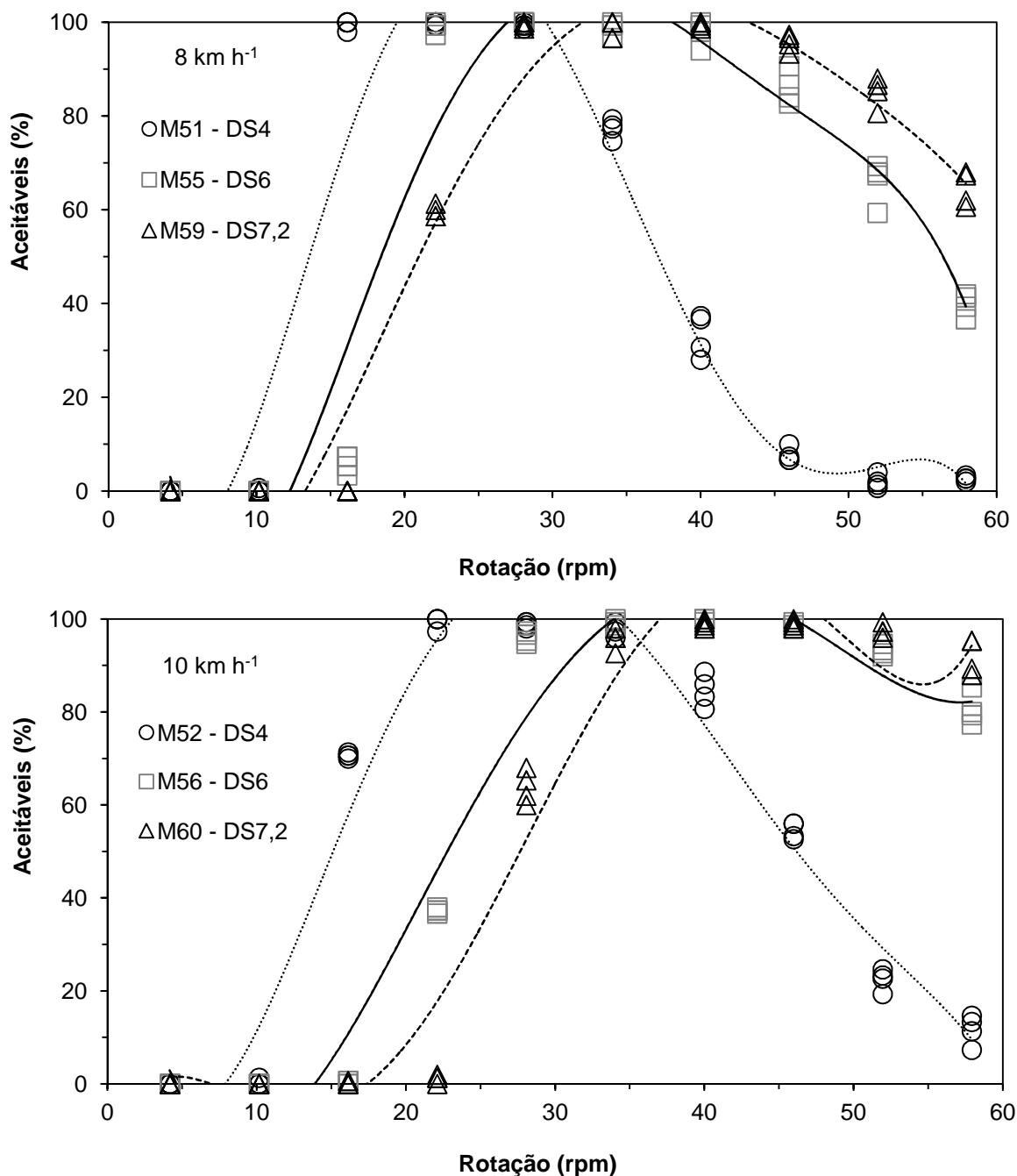


Figura 27 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de aceitáveis do dosador pneumático nas velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup>

Os modelos dos aceitáveis apresentaram valores máximos (100%), havendo diversas unidades experimentais com essa aferição na esteira. Os valores são superiores aos verificados por Mahl et al. (2008) e Mello et al. (2001). Os patamares máximos estendem-se por faixas de 8 a 10 rpm de amplitude. Os marcadores sobrepuseram-se nos extremos, quando zeraram os aceitáveis para todas as zonas. O aumento da velocidade decorreu maior dispersão.

A descrição dos modelos M61 a M72, de múltiplos, encontra-se na tabela 24.

Tabela 24 – Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos de múltiplos do dosador pneumático

Parâmetros	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )			
	4	6	8	10
DS4 (4 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M61	M62	M63	M64
a	92,18586509	-25,10839940	-32,15117571	16,18629013
b	-33,03802771	11,40239153	11,35218045	-6,37392532
c	3,22037250	-1,55133230	-1,12448648	0,76389067
d	-0,11347846	0,08033247	0,04208964	-0,03753709
e	0,00173173	-0,00159991	-0,00060681	0,00078698
f	-0,00000970	0,00001084	0,00000290	-0,00000565
R <sup>2</sup> (%)	94,89	98,26	98,79	99,89
DS6 (6 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M65	M66	M67	M68
a	-24,43638594	-4,06832973	5,46406223	2,32993410
b	10,82520011	1,07713899	-2,05942900	-0,73343682
c	-1,44939151	-0,02722509	0,23195039	0,06441683
d	0,07448467	-0,00449953	-0,01044615	-0,00204165
e	-0,00147357	0,00021787	0,00019426	0,00002133
f	0,00000993	-0,00000223	-0,00000117	-
R <sup>2</sup> (%)	98,81	99,67	99,85	99,52
DS7,2 (7,2 sementes m <sup>-1</sup> )				
Códigos	M69	M70	M71	M72
a	-35,58540146	8,05034080	2,27550242	1,30076313
b	13,93291953	-3,28096856	-0,75130455	-0,39597835
c	-1,61482523	0,41971077	0,07068893	0,03411866
d	0,07325810	-0,02211051	-0,00243989	-0,00104757
e	-0,00132671	0,00049136	0,00002787	0,00001053
f	0,00000835	-0,00000365	-	-
R <sup>2</sup> (%)	99,66	99,91	99,90	98,33

Nota: Modelos M61 a M72, velocidades 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup> e densidades 4, 6 e 7,2 sementes m<sup>-1</sup>.

Os parâmetros obtiveram quinto grau, exceto M68, M71 e M72. Os coeficientes de média 98,96% foram superiores aos aceitáveis, aos de Garcia (2007) de 96,03 e 84,38%, mas inferiores ao modelo de Cerri (2001) de coeficiente 99,78%.

Os modelos dos múltiplos em 4 e 6 km h<sup>-1</sup>, foram dispostos na figura 28.

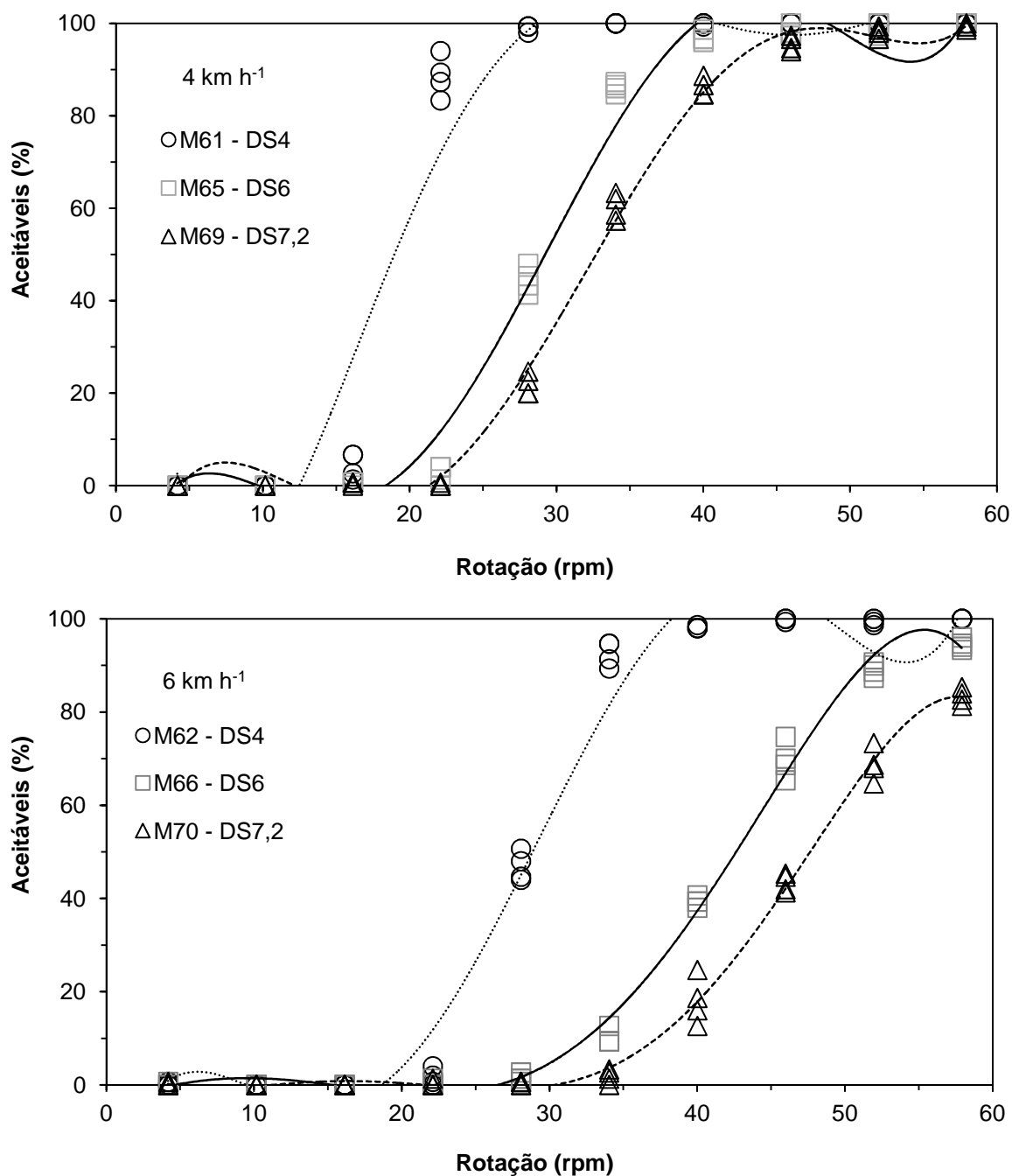


Figura 28 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de múltiplos do dosador pneumático nas velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup>

Os modelos para predição da porcentagem de espaçamentos múltiplos, do dosador de discos pneumático, para velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup> e densidades de semeadura 4, 6 e 7,2 sementes m<sup>-1</sup>, foram dispostos graficamente na figura 29, demonstrando as linhas de tendência e a dispersão das aferições realizadas.

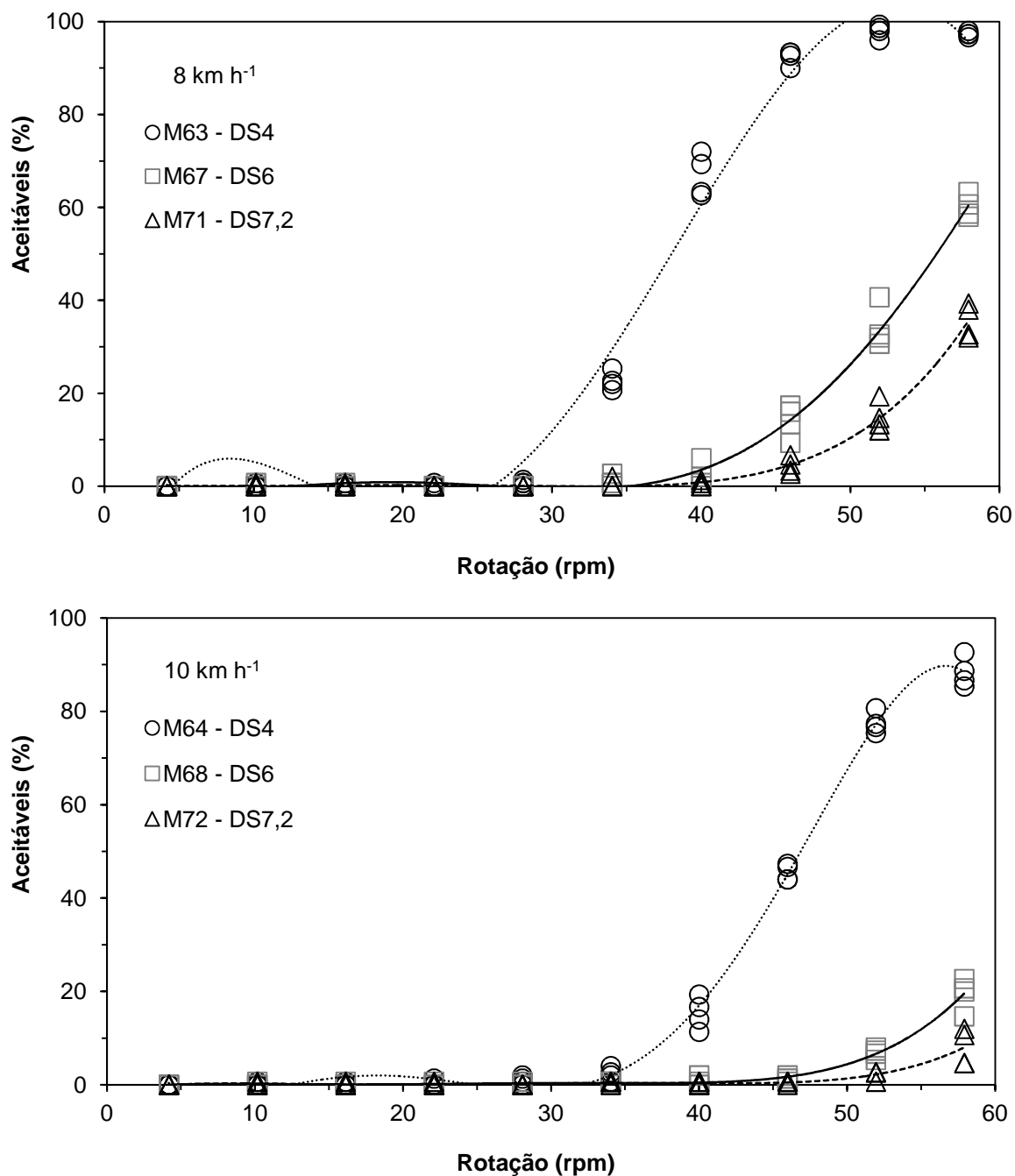


Figura 29 – Linhas de tendência e dispersão dos modelos de múltiplos do dosador pneumático nas velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup>



Os modelos dos múltiplos captaram valores mínimos e máximos apenas na velocidade 4 km h<sup>-1</sup>. A partir da velocidade 6 km h<sup>-1</sup>, as linhas de tendência dos modelos não atingiram os pontos de maximização dos múltiplos. Em 10 km h<sup>-1</sup>, as rotações testadas somente aferiram 100% de múltiplos na DS4. Entretanto, a rotação máxima testada de 57,91 rpm, recobriu de forma eficaz as condições de rotações úteis para a cultura do milho, pois a semeadura em DS7,2 e 10 km h<sup>-1</sup>, exigiu 42,66 rpm.

A qualidade da dosagem proporcionada pelo dosador comprovou-se também pelos múltiplos terem atingido valores mínimos próximo das rotações de referência, ou seja, nas condições de operação normal de cada zona e velocidade. A degradação da qualidade pelo aumento expressivo de múltiplos, por sua vez, ocorreu quando as rotações de referência atingiram mais de 100% acima de seus valores.

A predição dos múltiplos pelos modelos desenvolvidos também foi validada, tendo em vista as distribuições adequadas dos valores das unidades experimentais em relação às linhas de tendência. Os coeficientes de determinação atingiram média de 95,96% de variação explicada, cujos valores de 94,89 a 99,90 foram superiores numericamente aos obtidos pelos modelos dos aceitáveis, e inferiores aos modelos de densidade, do dosador pneumático.

## **3.2. Experimentos de avaliação do protótipo em regime estacionário**

### **3.2.1. Avaliação direta da acurácia e da distribuição longitudinal de sementes**

A síntese da análise estatística foi disposta na tabela 25, apresentando os resultados dos testes de normalidade e dos efeitos das variáveis. As variáveis acurácia, porcentagens de espaçamentos entres sementes aceitáveis, múltiplos e falhos, não obtiveram verificação de normalidade ou possibilidade de transformação, de acordo com os testes de Anderson-Darling e Transformação Box-Cox. A verificação não paramétrica dos efeitos das variáveis, através da estatística de Kruskal-Wallis, análoga ao teste F da análise da variância, demonstrou haver efeitos

significativos dos tratamentos, permitindo aceitar a hipótese alternativa para todas as variáveis estudadas no experimento. As Comparações Múltiplas permitiram identificar pares diferenciados de tratamentos apenas para a variável acurácia, o que foi atribuído a efeitos de variabilidade dos dados, que ocorreram mais expressivamente em alguns tratamentos.

Tabela 25 – Síntese da análise estatística da avaliação direta da acurácia e qualidade da distribuição longitudinal de sementes

Parâmetros	ACU (%)	A (%)	M (%)	F (%)
Anderson-Darling (P-valor %)	$2,29134 \cdot 10^{-8} ns^*$	$5,31462 \cdot 10^{-16} ns$	$4,95079 \cdot 10^{-17} ns$	$2,17784 \cdot 10^{-22} ns$
Transformação Box-Cox (P-valor %)	0,0111176 ns	$1 \cdot 10^{-30} ns$	na	na
Kruskal-Wallis (P-valor %)	$2,34358 \cdot 10^{-12} s$	$3,22624 \cdot 10^{-10} s$	$1,98137 \cdot 10^{-08} s$	$3,77705 \cdot 10^{-10} s$
Pares diferenciados - Comparações Múltiplas	s	ns	ns	ns

Nota: Experimento trifatorial em regime estacionário, com dosador pneumático e aferição de espaçamentos na esteira. Variáveis: ACU: Acurácia; A: Porcentagem de espaçamentos entre sementes aceitáveis; M: Múltiplos e F: Falhos (A). ns: Não significativo. s: Significativo em nível de 95% de probabilidade. na: Não aplicável, devido aos valores nulos de algumas avaliações.

O desempenho do protótipo no experimento, pela descrição das variáveis acurácia média, por seus valores mínimos e máximos, amplitude e coeficiente de variação foi demonstrado na tabela 26. A acurácia média avaliada durante o regime estacionário, para o protótipo da semeadora equipado com o dosador pneumático, demonstrou que o valor máximo de 3%, utilizado por Cerri (2001), não foi atendido para todas calibrações, velocidades e densidades, testadas pelas combinações entre os fatores experimentais. Entretanto, dentre as unidades experimentais, 13,13% das mesmas estavam dentro do referencial de validação estipulado, ou seja, com acurácia abaixo do valor máximo. As avaliações com acurácia com valores adequados ocorreram em quatro dos tratamentos de velocidade, densidade e calibração.

Tabela 26 – Acurácia da avaliação direta em regime estacionário

Tratamentos	ACU <sub>méd</sub> (%)	ACU <sub>mín</sub> (%)	ACU <sub>Max</sub> (%)	Amplitude (%)	CV (%)
C1V1D1	10,23	7,22	12,32	5,10	22,42
C1V1D2	10,74	10,13	12,41	2,28	10,35
C1V1D3	9,16	7,68	10,59	2,91	12,97
C1V1D4	8,88	6,71	10,49	3,78	18,26
C1V1D5	8,10	7,32	8,58	1,27	7,34
C1V2D1	5,05	1,47	6,53	5,06	47,69
C1V2D2	4,63	2,66	6,04	3,38	34,54
C1V2D3	5,12	4,18	5,77	1,59	13,70
C1V2D4	6,80	6,38	7,44	1,05	6,59
C1V2D5	7,75	5,83	10,29	4,46	23,99
C1V3D1	3,14	2,29	4,82	2,53	37,13
C1V3D2	5,07	4,52	5,81	1,29	10,71
C1V3D3	11,92	6,58	15,40	8,82	31,62
C1V3D4	19,89	13,70	26,96	13,27	28,91
C1V3D5	32,49	26,06	42,11	16,05	22,27
C1V4D1	5,29	4,65	6,32	1,67	14,00
C1V4D2	10,38	7,75	12,79	5,04	20,35
C1V4D3	29,68	26,14	34,26	8,12	14,01
C1V4D4	30,16	26,13	32,21	6,08	9,07
C1V4D5	31,80	23,12	35,39	12,27	18,35
C2V1D1	9,83	8,20	11,70	3,50	14,98
C2V1D2	10,73	9,31	12,69	3,38	13,89
C2V1D3	9,57	8,66	10,52	1,86	9,41
C2V1D4	8,20	7,16	9,28	2,12	13,16
C2V1D5	8,03	6,99	9,20	2,21	14,10
C2V2D1	4,08	1,88	5,35	3,47	38,53
C2V2D2	2,44	1,28	3,47	2,19	37,52
C2V2D3	3,38	2,19	4,21	2,02	29,68
C2V2D4	4,28	1,88	6,02	4,13	41,65
C2V2D5	14,83	13,11	16,74	3,63	10,02
C2V3D1	1,19	0,05	2,26	2,21	81,67
C2V3D2	1,59	0,46	2,41	1,94	51,10
C2V3D3	11,73	8,49	13,79	5,30	20,15
C2V3D4	17,46	5,39	25,47	20,07	51,02
C2V3D5	29,96	24,40	36,29	11,89	17,21
C2V4D1	2,33	0,58	4,19	3,61	72,04
C2V4D2	6,73	4,34	8,68	4,34	33,56
C2V4D3	31,25	28,59	33,77	5,18	7,00
C2V4D4	25,48	16,88	30,70	13,82	24,01
C2V4D5	31,79	28,60	39,85	11,25	16,96

Nota: Experimento trifatorial, com dosador pneumático e aferição em esteira. Tratamentos: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; D1, D2, D3, D4 e D5: Densidades das zonas do mapa de prescrição 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>. Variáveis: ACU<sub>méd</sub>: Acurácia média; ACU<sub>mín</sub>: Acurácia mínima aferida para o tratamento; ACU<sub>máx</sub>: Acurácia máxima do tratamento; Amplitude da acurácia e CV: Coeficiente de variação da acurácia.

A amplitude indicou a estabilidade operacional do protótipo, tendo em vista que o referencial limite utilizado considera a média dos tratamentos testados. Segundo os valores apresentados na tabela 26, em V1 e V2, compreendendo acurácia de até 10%, a amplitude oscilou entre valores de 1,05 a 5,10% para a C1 e 1,86 a 4,34% para C2. Embora a acurácia do protótipo tenha ultrapassado o valor máximo de 3%, as amplitudes de ambas calibrações são inferiores a de 6,94%, encontrada por Cerri (2001), para um equipamento aprovado pelo autor de acurácia média 2,44%. A amplitude da acurácia verificada também é semelhante à da semeadora à TV utilizada por Hörbe et al. (2013), de 2,55 e 5,30% para dois experimentos na cultura do milho. A estabilidade do protótipo foi superior aos valores aferidos por Fulton et al. (2007), onde equipamento semelhante apresentou acurácia desde 5,00 a 34,75%, em avaliações de campo da mesma cultura.

Na avaliação do protótipo, ocorreu aumento da acurácia com o aumento da velocidade. Na V2, esse aumento foi observado com o uso da C2 e D5, repetindo-se em V3 e V4. Durante a coleta de dados, ocorreram oscilações sequenciais da rotação da transmissão do dosador, mais intensas nas maiores velocidades, e estes resultados comprovaram que estas alterações degradaram o desempenho.

Para aprofundar a análise e identificar tendências na variável acurácia média, foram demonstradas as linhas de tendência da variável e a dispersão dos valores aferidos na figura 30. O limite de 3% de referência da acurácia foi representado pela linha pontilhada. A principal característica dos gráficos é de que, ao estratificar as velocidades, para cada uma delas separadamente, o aumento da densidade de semeadura demonstrou atingir um ponto crítico, a partir do qual ocorre aumento do erro na operação. Esse ponto pode ser verificado na inflexão da linha, com elevação da acurácia, por erros absolutos negativos.

O aumento da acurácia ocorreu diferenciadamente para as calibrações e velocidades, sempre ocorrendo com o aumento das densidades. Dessa maneira, pode-se inferir que o ponto operacional limite, abaixo do qual a máquina operou com acurácia adequada ao máximo recomendado, seja descrito pela rotação do dosador. Essa afirmativa é comprovada pelo fato de que os três fatores do experimento, velocidade, calibração e densidade, concorrem para o acionamento do dosador. A partir da apresentação das demais variáveis deste experimento, será inferido sobre esse limite operacional de rotação do dosador pneumático.

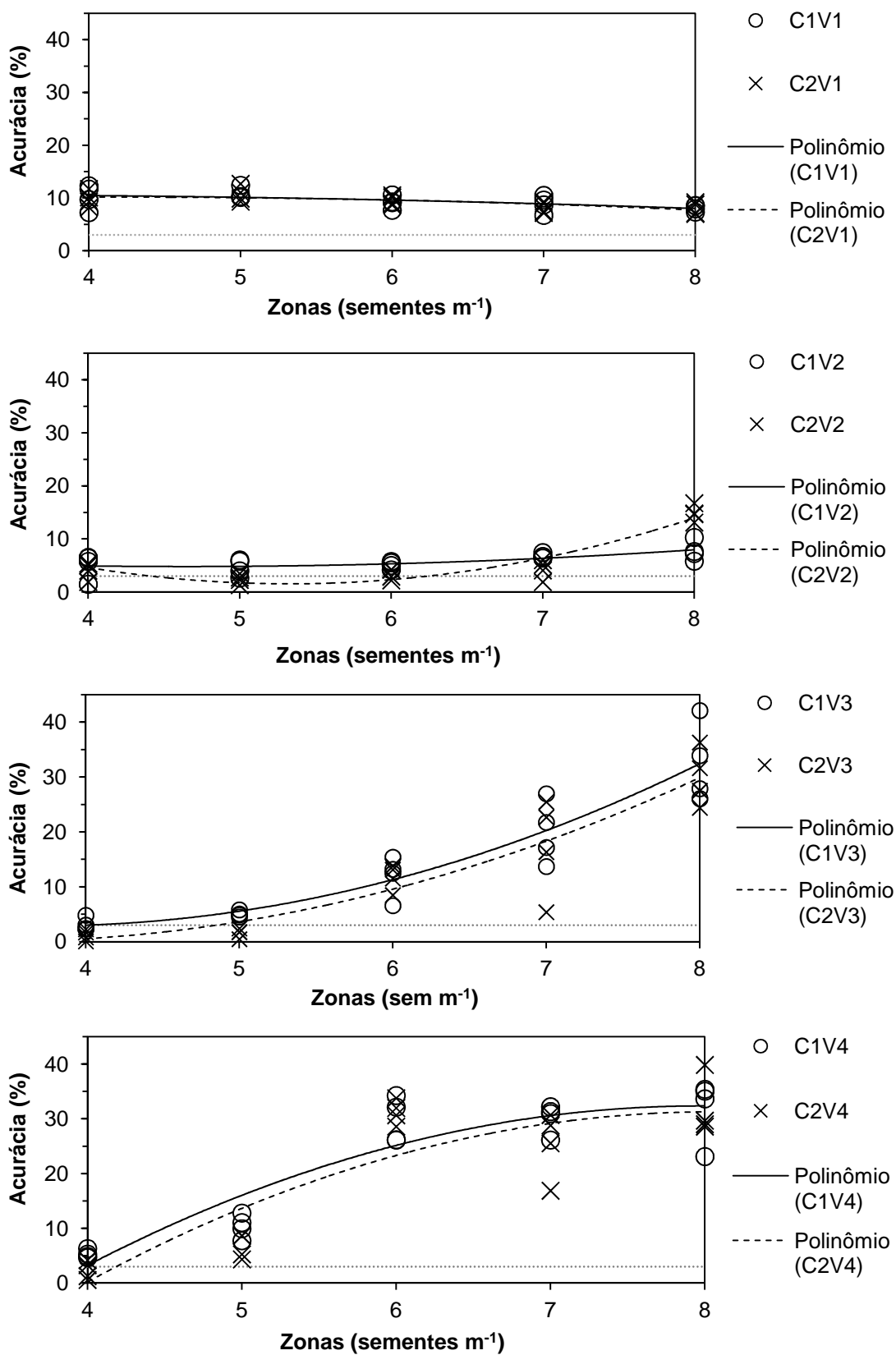


Figura 30 – Linhas de tendência e dispersão da acurácia da avaliação direta em regime estacionário

Segundo a figura 30, também destaca-se que a C2 demonstrou valores menores para a acurácia, com as linhas de tendência mais próximas das linhas de referência, demarcadas pela linha pontilhada em 3%. O conceito de otimização da calibração pode ter sido mais eficaz que o método padrão. Em campo, o uso de calibrações errôneas pelos operadores, pode acontecer caso adotado o procedimento da calibração padrão. A interferência dos operadores nos resultados de sistemas de controle, foi ressaltada por Zhao et al. (2010), em mapas de produtividade de colhedoras de grãos. Em V1, as calibrações aparentemente não diferem, com uma pequena deflexão com o aumento da densidade. Com exceção da V2, as calibrações apresentaram paralelismo entre si. Tal fato foi explicado pela inflexão da linha da combinação C2V2, que não ocorreu na C1V2, mas repetem-se para ambas as calibrações nas V3 e V4.

Comparativamente às semeadoras-adubadoras à TV do mercado brasileiro, o protótipo operou com acurácia numericamente superior ao experimento realizado por Hörbe et al. (2013), no qual uma máquina do mesmo tipo, realizou a semeadura de milho com acurácia média de 1,3%, variando desde 0,7 a 2,9%. O autor aferiu valores de erro absoluto negativos, da mesma forma que verificado neste trabalho. A segunda referência diz respeito à máquina avaliada por Fulton et al. (2007), na implantação de algodão em áreas comerciais dos Estados Unidos, com acurácia média de 21,40%, também com erro absoluto negativo.

A verificação dos contrastes entre os tratamentos foi disposta na tabela 27. Os pontos onde ocorreu a redução do desempenho, em C2V2D5, C1V3D3, C2V3D3, C1V4D2 e C2V4D2, ocorreram entre 11,73 e 30,16%, não apresentando contrastes com os demais tratamentos. As diferenças identificadas pelos testes foram para as médias das melhores condições operacionais, C2V3D1 e C2V3D2, em relação ao grupo a partir de C1V4D3, os quais atingiram valores próximos de 30%. Isso é atribuído ao comportamento errático do acionamento que ocorreu em alguns casos, que é trazido para as condições do teste, sendo expressas diferenças apenas para os maiores contrastes numéricos. Esse comportamento, embora ocorra em combinações específicas, "contamina" os demais tratamentos, ampliando os limites de rejeição do teste.

Tabela 27 – Teste de médias da acurácia da avaliação direta em regime estacionário

Tratamentos	ACU <sub>méd</sub> (%)
C2V3D1	1,19 a
C2V3D2	1,59 a
C2V4D1	2,33 ab
C2V2D2	2,44 abc
C1V3D1	3,14 abcd
C2V2D3	3,38 abcd
C2V2D1	4,08 abcd
C2V2D4	4,28 abcd
C1V2D2	4,63 abcd
C1V2D1	5,05 abcd
C1V3D2	5,07 abcd
C1V2D3	5,12 abcd
C1V4D1	5,29 abcd
C2V4D2	6,73 abcd
C1V2D4	6,80 abcd
C1V2D5	7,75 abcd
C2V1D5	8,03 abcd
C1V1D5	8,10 abcd
C2V1D4	8,20 abcd
C1V1D4	8,88 abcd
C1V1D3	9,16 abcd
C2V1D3	9,57 abcd
C2V1D1	9,83 abcd
C1V1D1	10,23 abcd
C1V4D2	10,38 abcd
C2V1D2	10,73 abcd
C1V1D2	10,74 abcd
C2V3D3	11,73 abcd
C1V3D3	11,92 abcd
C2V2D5	14,83 abcd
C2V3D4	17,46 abcd
C1V3D4	19,89 abcd
C2V4D4	25,48 abcd
C1V4D3	29,68 bcd
C2V3D5	29,96 bcd
C1V4D4	30,16 bcd
C2V4D5	31,79 bcd
C1V3D5	32,49 bcd
C2V4D3	31,25 cd
C1V4D5	31,80 d

Nota: Experimento trifatorial, com dosador pneumático e aferição em esteira. Tratamentos: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; D1, D2, D3, D4 e D5: Densidades das zonas do mapa de prescrição 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>. ACU<sub>méd</sub>: Acurácia média.

Ainda segundo a tabela 27, pode-se verificar que as condições operacionais abaixo do valor máximo de 3%, foram obtidas pelas calibrações otimizadas, que ocuparam as quatro primeiras posições do ranking do teste. As posições do teste demonstram ser afetadas pelas calibrações, velocidades e densidades, ou seja, ao variar as condições de cada um dos fatores, altera-se o desempenho e o tratamento ocupa uma posição diferente no ranking. Essa verificação pode indicar que, além dos efeitos isolados dos tratamentos, ocorreu interação significativa entre os fatores. Sendo que para qualquer rotação do dosador, sempre concorrem os três tratamentos, podem ter havido interações duplas e triplas.

Embora os valores apresentados pela acurácia, não permitam atingir o limite referencial ao longo de todos os tratamentos, a capacidade de operação estável do protótipo nas velocidades V1 e V2, demonstra que outras novas calibrações poderão colaborar na operação da máquina com menores níveis de erro. Nestas velocidades, as dosagens foram estáveis ao longo do aumento de densidade, com ligeira alteração para a C2V2D5, demonstrando que a máquina, mediante melhoria, poderia ser validada para a implantação do milho à TV, com diversas zonas de manejo. A capacidade adequada para operação foi verificada anteriormente na tabela 26, pela análise da amplitude, que embora não utilizada amplamente nas pesquisas da área, complementou a análise da acurácia e do potencial do protótipo.

As verificações constatadas sobre a regularidade da dosagem complementam a análise da acurácia, pois somente a verificação do erro quantitativo da dosagem, poderia estar captando apenas efeitos de calibrações, não do potencial do equipamento quanto à estabilidade. As afirmativas de Kachmann e Smith (1995), de que a densidade de semeadura não se apregoa ao mecanismo, mas sim à qualidade da regulagem, equivalem a dizer que a acurácia, isoladamente, é resultado apenas do valor selecionado para a calibração.

Complementando a análise da acurácia, a figura 31 apresentou as equações que correlacionam as dosagens prescritas nos mapas das zonas de manejo e as dosagens aferidas na esteira, para as velocidades V1 e V2. As retas adequadas foram compatíveis com as combinações mais estáveis e de baixa amplitude, destacadas anteriormente. As condições de melhor potencial de operação da máquina pode ser verificadas pelas linhas de tendência próximas da reta 1:1, para as combinações C1V1 e C2V1. Os coeficientes de inclinação 0,94 indicaram que a máquina manteve a proporção da dosagem, evitando tendências de aumentar ou



diminuir o erro com o aumento da densidade de semeadura. O desempenho regular também determinou coeficientes de determinação de 99,70%. As combinações citadas, pelo desempenho analisado, são compatíveis com os resultados de um equipamento validado por Schumann et al. (2006a), para distribuição de insumos à TV, o qual obteve inclinação de 0,91, citada como adequada, e coeficiente de determinação de 99%, qualificado como alto. No experimento dos autores, em contrapartida, um segundo equipamento avaliado foi julgado inadequado, para a operação proposta, sendo que seu desempenho apresentou inclinação 0,75 e coeficiente 85%.

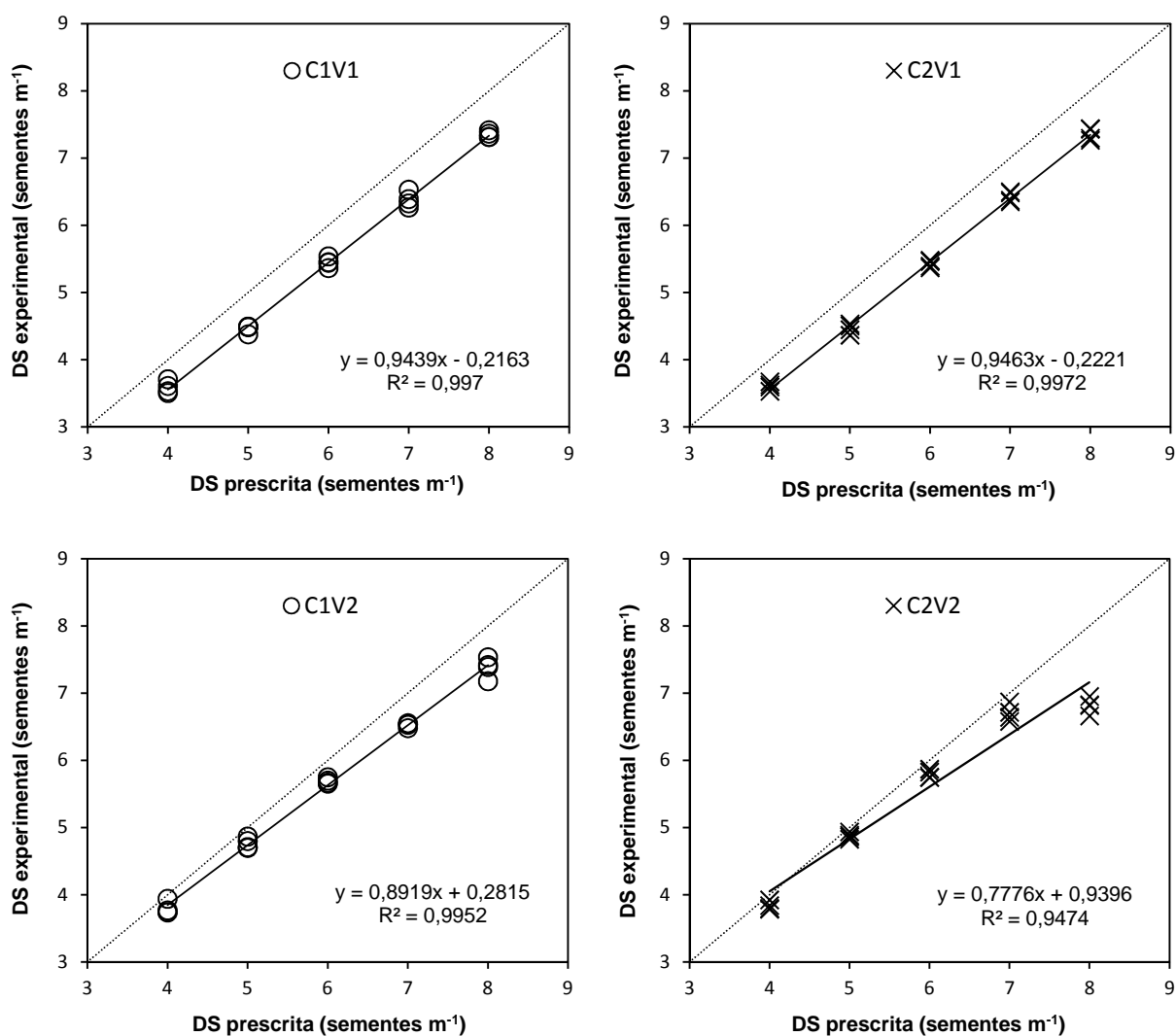


Figura 31 – Equações lineares e dispersão das densidades experimentais em função das prescrições nas velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup>

A figura 31 demonstrou também que na C1V2 as condições adequadas foram mantidas, entretanto com redução da inclinação, que causou dosagens menores em altas densidades, mas mantendo um bom índice de variação explicada. Já para C2V2, a reta foi deslocada de seu local adequado pelos resultados da D5, reduzindo a inclinação para 0,77 e o coeficiente de determinação para 94%.

As equações lineares para V3 e V4 foram apresentadas na figura 32. As inclinações, de média aproximadamente 0,37, determinam erros mais elevados com o aumento da densidade de semeadura. Entretanto, em D1 e D2, a dosagem ocorreu próxima das metas, e as alterações são maiores a partir de D3.

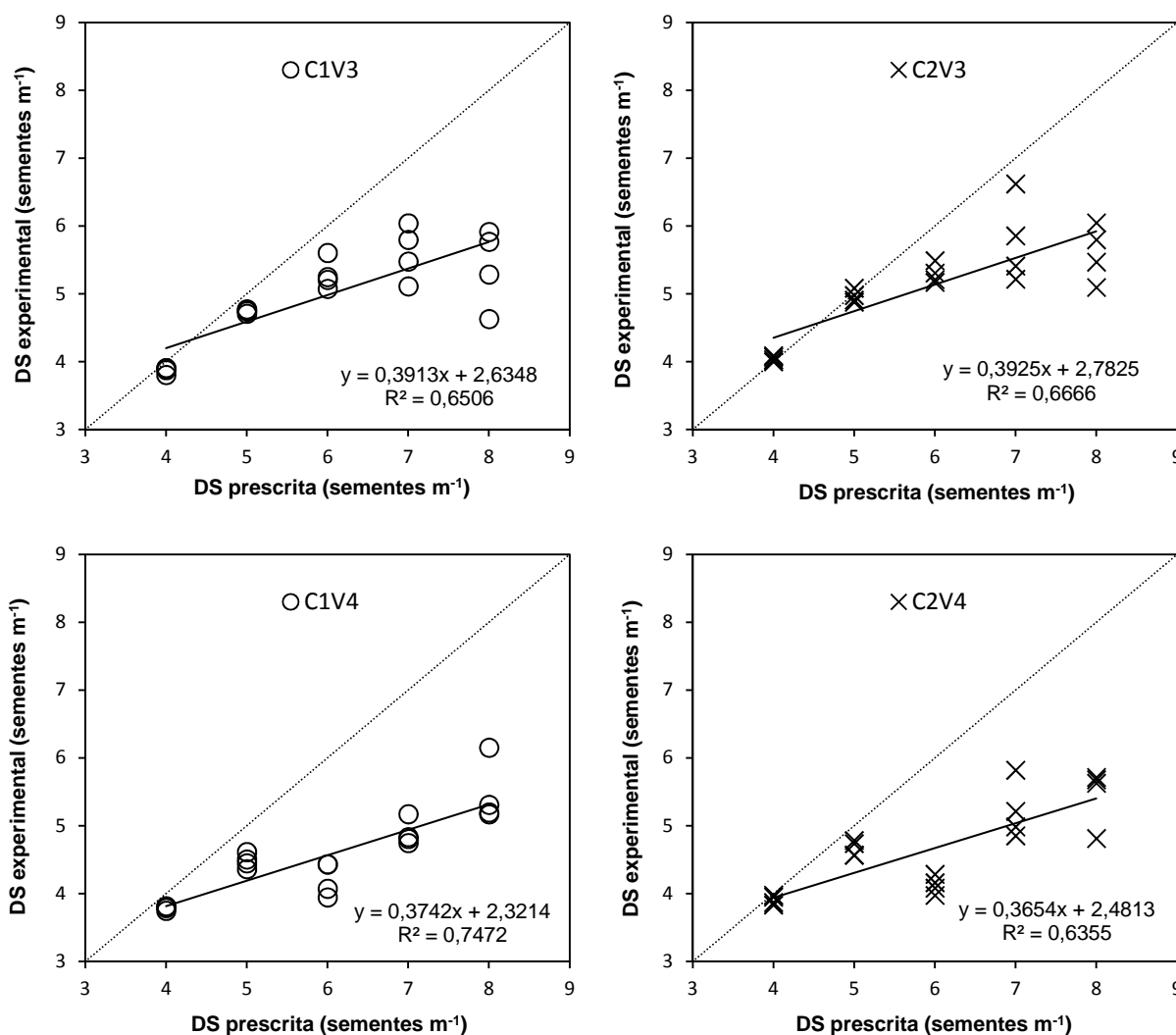


Figura 32 – Equações lineares e dispersão das densidades experimentais em função das prescrições nas velocidades 8 e 10 km h<sup>-1</sup>

As retas da figura 32 indicaram subdosagens severas, variabilidade excessiva e coeficientes de determinação na ordem de 60 e 70%. Nesses níveis, um equipamento à TV foi reprovado por Schumann et al. (2006a).

Variáveis para o desempenho quantitativo encontram-se na tabela 28.

Tabela 28 – Variáveis complementares da avaliação direta em regime estacionário

Tratamentos	DS (sementes m <sup>-1</sup> )	EA (sementes m <sup>-1</sup> )	ESP (cm)	dp ESP	CV ESP (%)
C1V1D1	3,59	-0,41	27,86	3,89	13,98
C1V1D2	4,46	-0,54	22,41	2,63	11,73
C1V1D3	5,45	-0,55	18,35	2,85	15,53
C1V1D4	6,38	-0,62	15,68	2,44	15,57
C1V1D5	7,35	-0,65	13,60	2,00	14,70
C1V2D1	3,80	-0,20	26,34	3,68	13,99
C1V2D2	4,77	-0,23	20,98	2,92	13,90
C1V2D3	5,69	-0,31	17,57	2,65	15,10
C1V2D4	6,52	-0,48	15,33	2,65	17,30
C1V2D5	7,38	-0,62	13,56	3,12	23,00
C1V3D1	3,87	-0,13	25,81	4,20	16,29
C1V3D2	4,75	-0,25	21,07	3,73	17,73
C1V3D3	5,29	-0,71	18,95	5,93	31,30
C1V3D4	5,61	-1,39	17,90	8,43	47,07
C1V3D5	5,40	-2,60	18,69	19,71	105,47
C1V4D1	3,79	-0,21	26,40	4,01	15,17
C1V4D2	4,48	-0,52	22,33	6,48	29,00
C1V4D3	4,22	-1,78	23,76	13,39	56,36
C1V4D4	4,89	-2,11	20,48	16,91	82,60
C1V4D5	5,46	-2,54	18,42	11,41	61,94
C2V1D1	3,61	-0,39	27,73	3,65	13,15
C2V1D2	4,46	-0,54	22,41	2,42	10,82
C2V1D3	5,43	-0,57	18,43	2,94	15,95
C2V1D4	6,43	-0,57	15,56	2,11	13,56
C2V1D5	7,36	-0,64	13,59	1,95	14,38
C2V2D1	3,84	-0,16	26,07	2,98	11,45
C2V2D2	4,88	-0,12	20,50	2,65	12,91
C2V2D3	5,80	-0,20	17,25	2,76	16,01
C2V2D4	6,70	-0,30	14,93	3,09	20,68
C2V2D5	6,81	-1,19	14,68	5,37	36,60
C2V3D1	4,05	0,05	24,71	3,57	14,44
C2V3D2	4,96	-0,04	20,15	3,92	19,44
C2V3D3	5,30	-0,70	18,89	6,86	36,30
C2V3D4	5,78	-1,22	17,45	10,13	58,06
C2V3D5	5,60	-2,40	17,92	23,78	132,70
C2V4D1	3,91	-0,09	25,60	4,04	15,77
C2V4D2	4,66	-0,34	21,45	6,00	27,98
C2V4D3	4,12	-1,88	24,26	17,02	70,16
C2V4D4	5,22	-1,78	19,26	19,13	99,33
C2V4D5	5,46	-2,54	18,42	19,02	103,28

Nota: DS: Densidade de sementeira; EA: Erro absoluto; ESP: Espaçamento médio entre sementes.

Segundo a tabela 28 pode-se constatar que o protótipo operou predominantemente com dosagens inferiores às metas. Erros de dosagem em torno de -0,20 a -0,40 sementes  $m^{-1}$  tiveram valores de desvio padrão do espaçamento entre sementes (dp ESP) em torno de 2 a 3 cm, podendo o erro ser atribuído à calibração da máquina e não à instabilidade da dosagem. As condições de instabilidade no acionamento e ocorrência de pulsações, comprovadas por valores de desvio padrão de 5 a 19 cm, atingiram coeficientes de variação de até mais de 100%. As condições operacionais normais, sem oscilações excessivas, foram identificadas por coeficientes de variação de até 23,00%, o que demonstra que nestes tratamentos, o protótipo é capaz de operar com regularidade dos espaçamentos abaixo do valor máximo de 30%, definido por Coelho (1996), para os dosadores pneumáticos. As condições operacionais consideradas normais, apresentaram desvio de até 5 cm e coeficiente de variação de até 30%. Os tratamentos C1V3D3, C1V4D2, C2V2D5, C2V3D3 e C2V4D2, corresponderam aos pontos a partir dos quais a operação tornou-se inadequada.

A qualidade da distribuição de sementes, representada pela descrição dos aceitáveis, múltiplos e falhos, encontra-se na tabela 29. A variável porcentagem de espaçamentos aceitáveis, respondeu de forma inversamente proporcional ao aumento da acurácia. Ocorrendo predominância de erros negativos da densidade de semeadura, maior degradação da qualidade deve-se aos espaçamentos múltiplos. A porcentagem de espaçamentos aceitáveis, para os resultados obtidos pelos tratamentos com desempenho adequado, em C1V1, C1V2, C2V1 e C2V2, foi acima do preconizado por Coelho (1996) para o dosador pneumático. Por isso a máquina recebeu qualificação como desempenho ótimo pela escala da porcentagem de espaçamentos aceitáveis, de Tourino e Klingensteiner (1983). A média para as duas primeiras velocidades e ambas as calibrações, foi de 98,58% de aceitáveis, com valor máximo de 99,83%, o que posiciona o protótipo acima da semeadora à TV utilizada por Hörbe et al. (2013), que foi até 94,14%. Para esses casos o desempenho é expressivamente superior aos dados de Mahl et al. (2008) para o mesmo tipo de dosador, demonstrando que o sistema de controle comandou o acionamento da transmissão dos dosadores corretamente, de forma a aproveitar o potencial identificado anteriormente neste trabalho, durante a modelagem.

Tabela 29 – Aceitáveis, múltiplos e falhos da avaliação direta em regime estacionário

Tratamentos	A (%)	M (%)	F (%)
C1V1D1	99,33	0,00	0,67
C1V1D2	99,83	0,00	0,17
C1V1D3	97,67	0,50	1,83
C1V1D4	98,67	0,00	1,33
C1V1D5	99,17	0,17	0,67
C1V2D1	99,17	0,17	0,67
C1V2D2	99,33	0,00	0,67
C1V2D3	99,33	0,17	0,50
C1V2D4	97,67	0,83	1,50
C1V2D5	92,83	0,50	6,67
C1V3D1	97,83	0,50	1,67
C1V3D2	99,00	0,33	0,67
C1V3D3	82,33	0,83	16,83
C1V3D4	67,67	3,00	29,33
C1V3D5	73,50	2,50	24,00
C1V4D1	98,83	0,50	0,67
C1V4D2	86,50	1,17	12,33
C1V4D3	59,50	3,50	37,00
C1V4D4	72,17	3,83	24,00
C1V4D5	65,17	3,83	31,00
C2V1D1	98,83	0,33	0,83
C2V1D2	99,83	0,00	0,17
C2V1D3	98,00	0,67	1,33
C2V1D4	99,67	0,00	0,33
C2V1D5	99,17	0,00	0,83
C2V2D1	99,83	0,17	0,00
C2V2D2	99,83	0,17	0,00
C2V2D3	98,50	0,83	0,67
C2V2D4	96,50	1,00	2,50
C2V2D5	72,00	1,50	26,50
C2V3D1	99,50	0,33	0,17
C2V3D2	98,83	0,67	0,50
C2V3D3	77,33	1,83	20,83
C2V3D4	65,00	6,17	28,83
C2V3D5	73,33	5,67	21,00
C2V4D1	99,00	0,33	0,67
C2V4D2	92,67	0,33	7,00
C2V4D3	63,33	3,00	33,67
C2V4D4	73,67	6,50	19,83
C2V4D5	72,00	3,83	24,17

Nota: Porcentagens de espaçamentos verificados em esteira. A: Aceitáveis. M: Múltiplos. F: Falhos.

Analisando-se os dados da tabela 29, o potencial identificado durante a modelagem, foi atingido mediante o uso do sistema de controle, com resultados acima de 99% de aceitáveis. Além disso, a acurácia, ao ultrapassar o valor máximo recomendado, mesmo assim, não acarretou decréscimo dos aceitáveis, até um

determinado limite, quando atingidos espaçamentos maiores que 1,5 vezes o espaçamento de referência, tendo em vista o protótipo operar com erro negativo.

A relação entre as classes de espaçamentos, para cada um dos tratamentos, está representada na figura 33. Os múltiplos foram menores que os falhos, entretanto, sempre que ocorreu redução dos aceitáveis, os múltiplos também aumentaram sua participação. Enquanto os múltiplos atingiram 6,50%, os falhos representaram até 37,00%. A proporção de múltiplos foi superior para a C2.

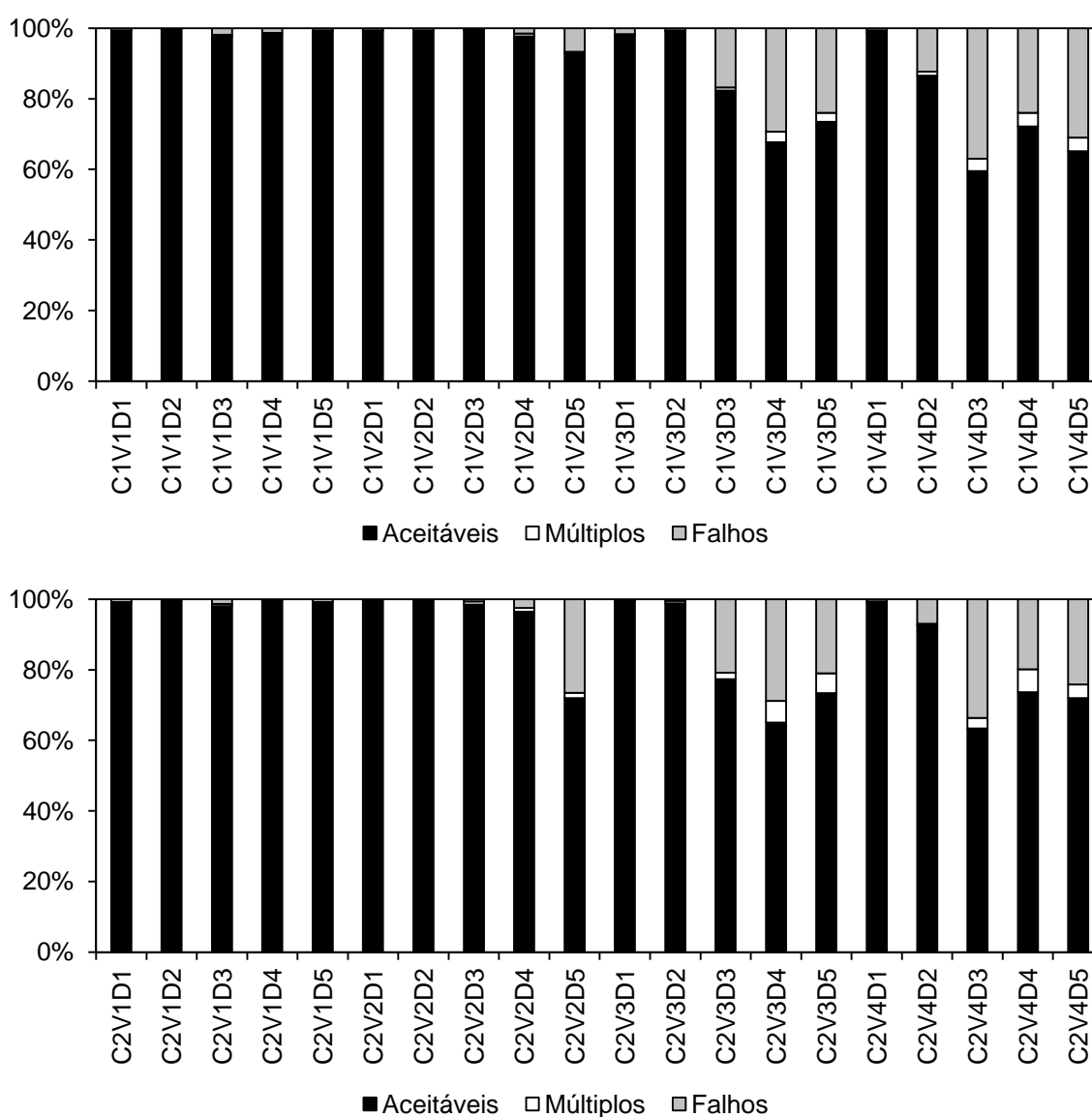


Figura 33 – Comparação entre os aceitáveis, múltiplos e falhos dos tratamentos da avaliação direta do regime estacionário

A análise da figura 33 destacou também o fenômeno de redução dos aceitáveis a partir das combinações C1V3D3, C1V4D2 e C2V3D3, corroborando as análises anteriores. O desempenho ótimo, segundo Tourino e Klingensteiner (1983), reduziu-se para bom, seguido de regular nas densidades subsequentes de cada combinação, enquanto que em C2V2D5 e C2V4D3, o desempenho reduziu-se de ótimo diretamente para regular.

### 3.2.2. Avaliação indireta da acurácia e da distribuição longitudinal de sementes

A síntese da análise estatística, descrita na tabela 30, demonstrou ausência de normalidade nos dados aferidos. A acurácia, porcentagens de espaçamentos entre sementes aceitáveis, múltiplos e falhos, apresentaram efeitos significativos dos tratamentos de velocidade e densidade testados, pelo teste de Kruskal-Wallis, análogo ao teste F da análise da variância. As Comparações Múltiplas, identificaram pares contrastantes de tratamentos para todas as variáveis.

Tabela 30 – Síntese da análise estatística da avaliação indireta da acurácia e qualidade da distribuição longitudinal de sementes

Parâmetros	ACU (%)	A (%)	M (%)	F (%)
Anderson-Darling (P-valor %)	$1,75632 \cdot 10^{-16}$ ns*	$6,33603 \cdot 10^{-18}$ ns	$5,30993 \cdot 10^{-21}$ ns	$7,41169 \cdot 10^{-18}$ ns
Transformação Box-Cox (P-valor %)	$3,29518 \cdot 10^{-03}$	$6,21308 \cdot 10^{-09}$	na	na
Kruskal-Wallis (P-valor %)	$1,90252 \cdot 10^{-07}$ s	$1,06022 \cdot 10^{-8}$ s	$8,58823 \cdot 10^{-09}$ s	$1,56919 \cdot 10^{-08}$ s
Pares diferenciados – Comparações Múltiplas	s	s	s	s

Nota: Experimento bifatorial, em regime estacionário e dosador de discos alveolados, com aferição da rotação de acionamento do dosador. Variáveis: ACU: Acurácia; A: Porcentagem de espaçamentos entre sementes aceitáveis; M: Múltiplos e F: Falhos (A). ns: Não significativo. s: Significativo em nível de 95% de probabilidade. na: Não aplicável, devido aos valores nulos de algumas avaliações.

A execução do método de avaliação indireta no experimento do regime estacionário demonstrou viabilidade, permitindo a obtenção das variáveis sem uso da esteira de avaliação. Comparado aos estudos com avaliação direta, do primeiro experimento em regime estacionário, bem como nos trabalhos de Cerri (2001), Fulton et al. (2007) e Hörbe et al. (2013), o método diferenciou-se por permitir demonstrar a evolução da rotação, com isso julgando aspectos importantes sobre os sistemas de controle, incluindo-se a possibilidade de verificação da acomodação e de distorções nos comandos.

Dessa forma, foram identificados tratamentos com acomodação efetiva, na qual poucas oscilações ocorrem até a estabilização; tratamentos com oscilações de maior amplitude, e posterior acomodação; e nas situações com problemas de estabilidade, foram visualizadas oscilações contínuas. A acomodação, segundo Ogata (2011) é um estado onde a rotação se mantém entre de 2 a 5% em torno do resultado médio final da dosagem.

As alterações de rotação durante a operação ainda apresentaram outra característica, esta não encontrada em referências anteriores, que foi uma "falsa acomodação". O fenômeno foi assim denominado, porque em determinadas unidades experimentais as rotações foram estáveis e semelhantes, o que difere de uma acomodação usual, que teria um nível diferenciado para cada tratamento. Nestes casos, não foi observada correspondência com as prescrições, ou seja, nos casos de manifestação dessa condição, correspondentes às maiores rotações do dosador, as estabilizações da dosagem ignoraram os comandos do mapa.

As aferições da rotação e a estabilidade das verificações ao longo do período de 20 segundos de gravação dos dados, bem como da acurácia foram demonstradas na tabela 31. A rotação teve evolução correspondente ao tratamento, exceto pelas respostas erráticas, de "falsa acomodação", verificadas nas combinações dos fatores dos tratamentos V3D5, V4D3, V4D4 e V4D5. A redução do desvio padrão da rotação destes tratamentos, para 0,13 a 0,26 rpm, não representa condições operacionais que podem ser consideradas normais, pois ocorrem nos demais tratamentos. Os valores de desvio padrão que caracterizaram operação adequada foram de 0,47 a 1,14 rpm. A acurácia para estas condições oscilou entre 5,73 e 10,34%.



Tabela 31 – Rotação do dosador e acurácia da avaliação indireta em regime estacionário

Tratamentos	ROT (rpm)	RR (rpm)	ACU (%)	dp ROT
V1D1	8,42	9,30	9,46	0,60
V1D2	10,64	11,66	8,81	0,49
V1D3	12,67	14,12	10,34	0,55
V1D4	15,00	16,46	9,13	0,79
V1D5	17,33	18,84	8,67	1,07
V2D1	12,69	13,90	9,29	0,47
V2D2	16,27	17,26	5,73	0,83
V2D3	19,48	20,68	6,19	0,61
V2D4	18,55	24,30	31,40	6,58
V2D5	18,66	27,86	41,35	9,70
V3D1	17,48	18,25	5,30	1,14
V3D2	20,73	22,61	12,58	2,93
V3D3	19,21	27,33	38,62	8,78
V3D4	29,21	32,45	13,84	5,97
V3D5	34,19	37,03	7,66	0,26
V4D1	19,85	22,80	19,01	4,29
V4D2	19,69	28,48	38,75	9,25
V4D3	33,13	34,05	2,71	0,14
V4D4	33,15	41,58	20,27	0,14
V4D5	33,11	46,38	28,61	0,13

Nota: Experimento bifatorial, com dosador de discos alveolados e aferição com sensor. Tratamentos: V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; D1, D2, D3, D4 e D5: Densidades das zonas do mapa de prescrição 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>. Variáveis: ROT: Rotação do dosador; RR: Rotações de referência; ACU: Acurácia e dp ROT: Desvio padrão da rotação.

O teste de médias para a acurácia foi apresentado na tabela 32, demonstrando algumas distorções no funcionamento, que devem ser esclarecidas, evitando equívocos no julgamento do desempenho do protótipo. Assim, o tratamento com menor valor, identificado por V4D3 e acurácia 2,71%, não foi considerado válido, pois participou de uma "falsa acomodação". No menor valor válido para a acurácia, 5,30% para o tratamento V3D1, ocorreu comportamento adequado do sistema de controle. Este tratamento apresentou diferenças significativas para o grupo de valores de V2D4 e abaixo deste no ranking, atestando que a acurácia foi afetada pela densidade e pela velocidade, tendo em vista entre os grupos opostos do ranking ocorreram diferentes níveis desses fatores. Os efeitos da pulsação decorreram na diferenciação de tratamentos de comportamento normal da máquina,

daqueles erráticos, com problemas decorrentes de oscilações excessivas, verificando-se diferenças significativas entre V2D2 e V2D4, e entre V2D3 e V2D5.

Para demonstrar os efeitos das interações das densidades, para cada velocidade avaliada, na figura 34 foram expostas a acurácia e a dispersão das aferições. Os gráficos permitem comprovar que em cada velocidade, ocorre efeito das densidades, com diferentes inflexões das linhas. Este efeito pode ser atribuído à rotação do dosador, portanto ocorre em pontos de densidades diferentes para cada velocidade. A variabilidade da disposição dos marcadores também representou a degradação do desempenho, em V2, V3 e V4. A "falsa acomodação" pode ser identificada em V3 e V4, pelos marcadores sobrepostos, desvio padrão baixo anormal e rotação na ordem de 33 rpm do disco.

Tabela 32 – Teste de médias da acurácia da avaliação indireta em regime estacionário

Tratamentos	ACU (%)
V4D3	2,71 a
V3D1	5,30 ab
V2D2	5,73 ab
V2D3	6,19 abc
V3D5	7,66 abcd
V1D5	8,67 abcd
V1D2	8,81 abcd
V1D4	9,13 abcd
V2D1	9,29 abcd
V1D1	9,46 abcd
V1D3	10,34 abcd
V3D2	12,58 abcd
V3D4	13,84 abcd
V4D1	19,01 abcd
V4D4	20,27 abcd
V4D5	28,61 abcd
V2D4	31,40 bcd
V3D3	38,62 bcd
V4D2	38,75 cd
V2D5	41,35 d

Nota: Experimento bifatorial, com dosador de discos alveolados e sensor. Tratamentos: V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; D1, D2, D3, D4 e D5: Densidades das zonas do mapa de prescrição 4, 5, 6, 7 e 8 sementes m<sup>-1</sup>. ACU: Acurácia média.

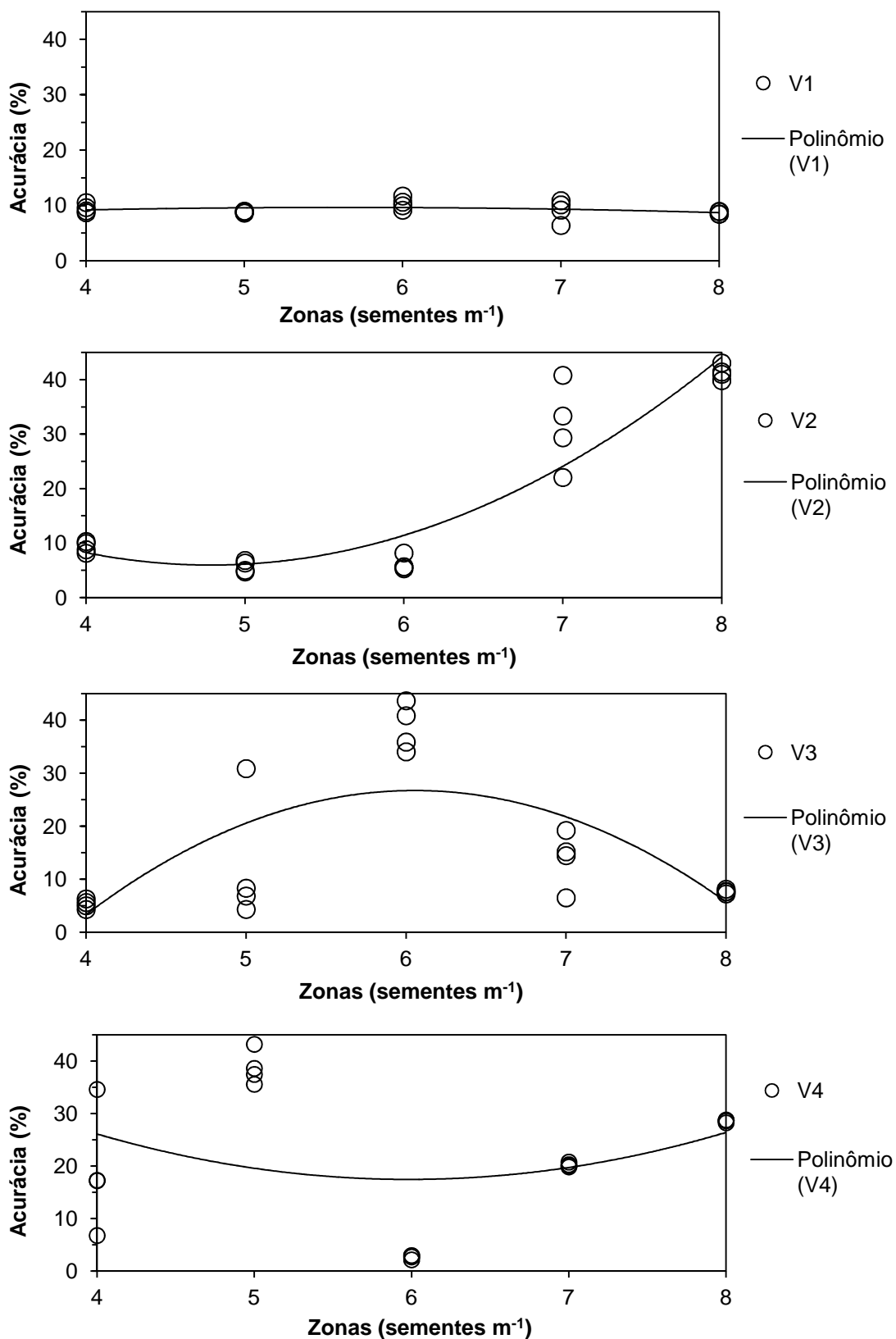


Figura 34 – Linhas de tendência e dispersão da acurácia da avaliação indireta do regime estacionário

Apesar da não validação do protótipo, de acordo com o valor máximo de 3%, ao exemplo de V1, são observados grupos de tratamentos com desvio estável das metas. Estas condições também apresentaram níveis semelhante de acurácia. Além de V1, esses casos ocorrem em V2D1, V2D2 e V2D3. Suas acurácias são 5,73 e 10,34% e o desvio padrão entre 0,47 a 1,07 rpm.

As rotações do dosador, em uma unidade experimental representativa de cada tratamento de densidade da V1, foram apresentadas na figura 35.

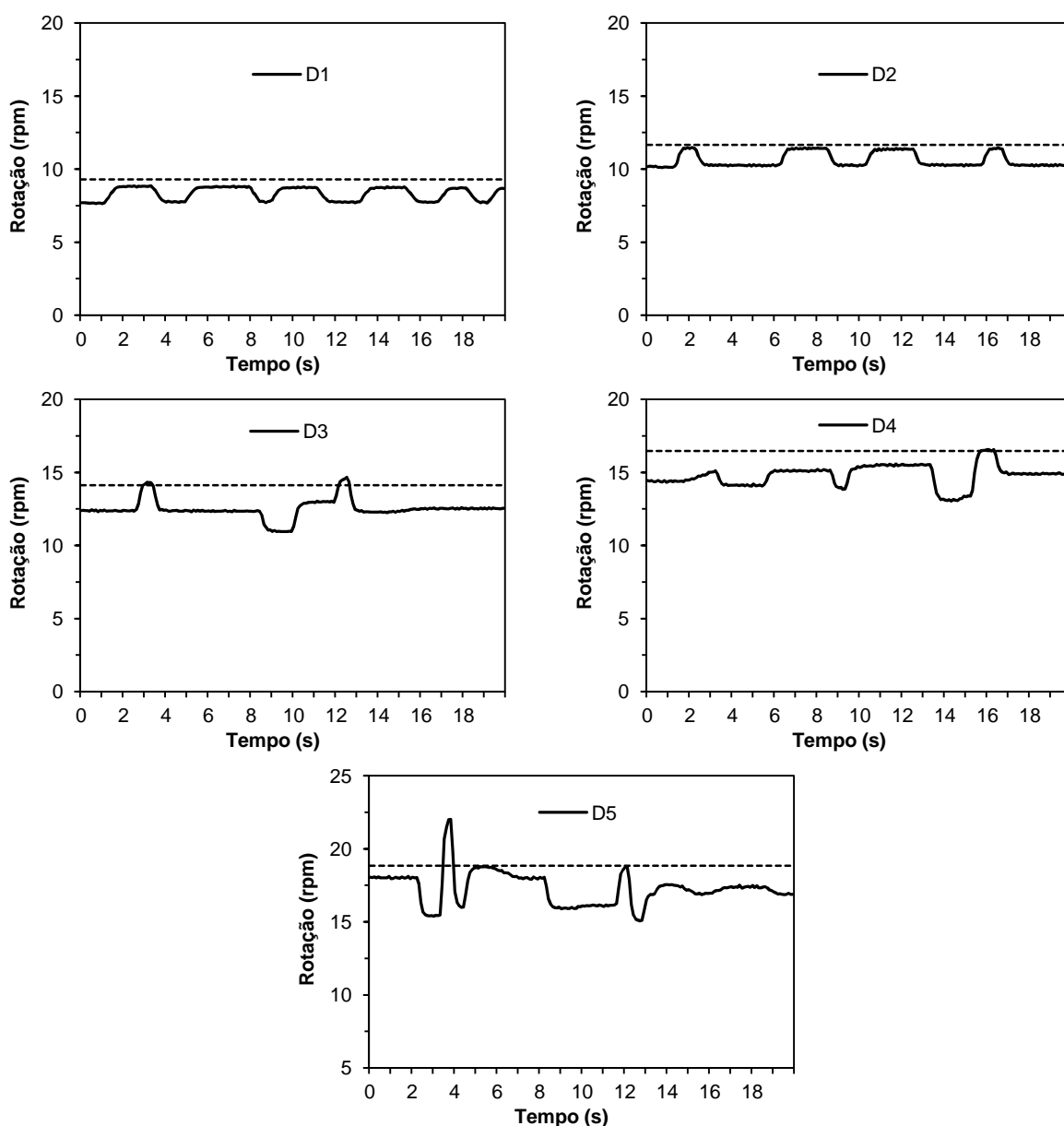


Figura 35 – Exemplos de rotações de acionamento da avaliação indireta do regime estacionário na velocidade  $4 \text{ km h}^{-1}$

Na figura 35, pode-se verificar na V1 as oscilações da malha fechada, fazendo com que a rotação deixe o estado de acomodação, faixa entre 2 a 5% acima e abaixo da média conforme Ogata (2011), retornando para valores semelhantes. A amplitude não afetou a acurácia, sendo entre 2 a 3 rpm para D1 a D4, aumentando para 7 rpm na D5, densidade que apresentou maior desvio padrão.

O comportamento da rotação do dosador de discos alveolados operando em regime estacionário em V2, para as densidades D1 a D5, foi expresso na figura 36.

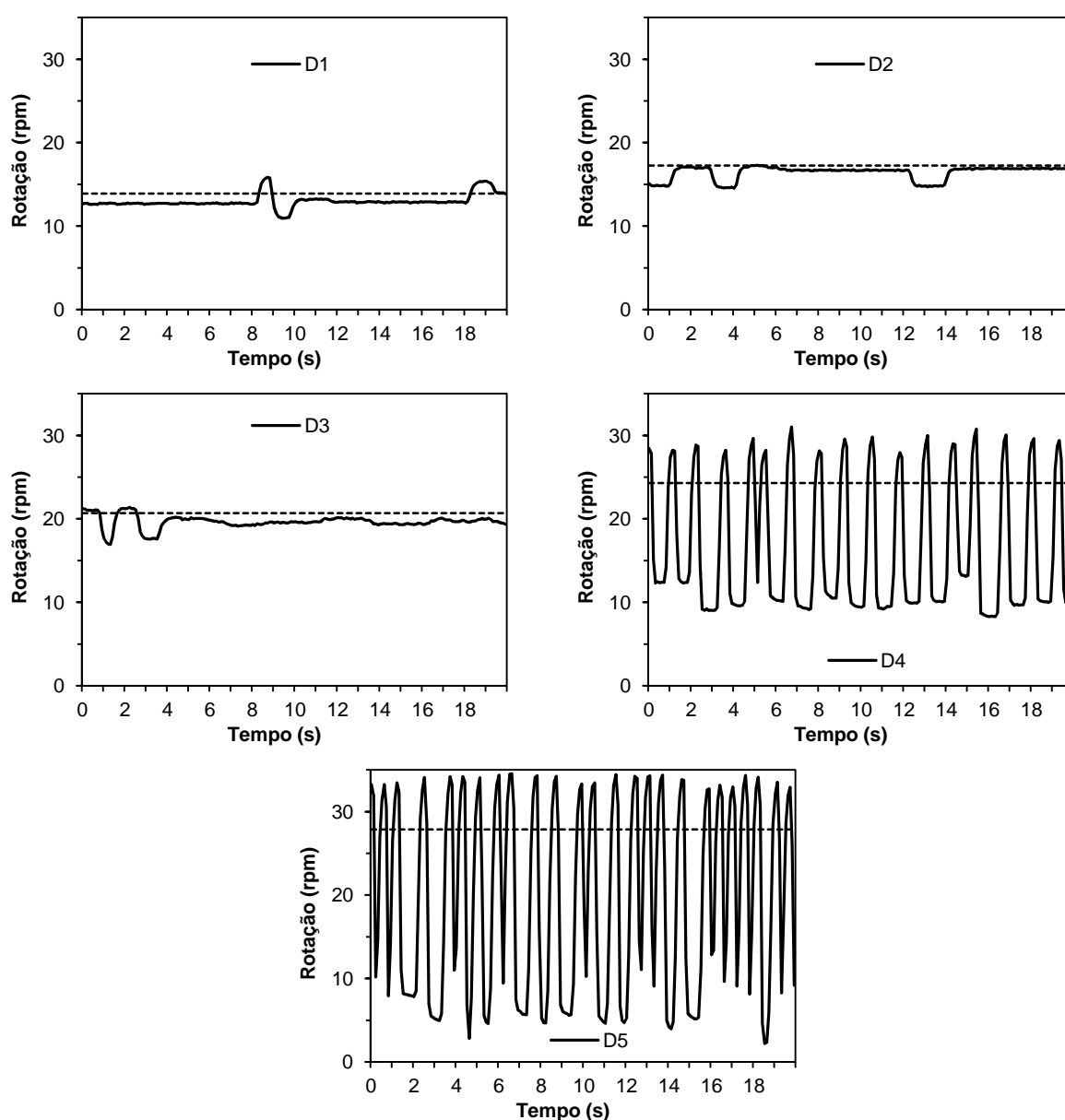


Figura 36 – Exemplos de rotações de acionamento da avaliação indireta do regime estacionário na velocidade  $6 \text{ km h}^{-1}$

Analisando-se a figura 36, podem ser consideradas normais as D1, D2 e D3, com acurácia de 5,73 a 9,29% e desvio padrão de 0,47 a 0,61 rpm. Nestas três primeiras densidades, o sistema altera o estado de acomodação, retornando para o nível médio como na V1. Entretanto, para D4 e D5, as oscilações são maiores, de 20 a 30 rpm e a acurácia atinge 31 a 41%, e com maior frequência em D5.

As rotações de acionamento para o dosador com discos alveolados, operando na velocidade V3 foram dispostas na figura 37.

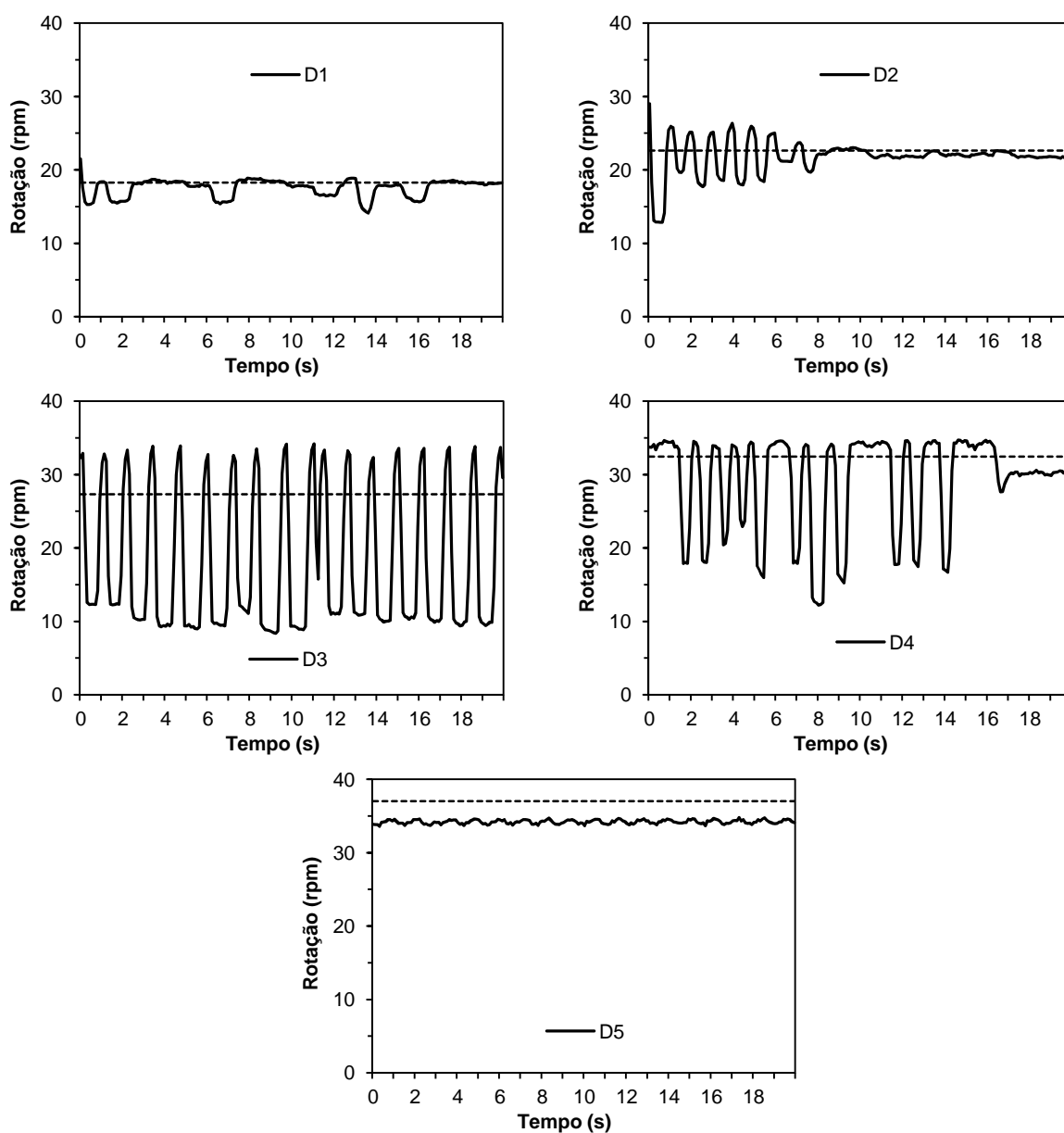


Figura 37 – Exemplos de rotações de acionamento da avaliação indireta do regime estacionário na velocidade  $8 \text{ km h}^{-1}$

Na figura 37, para a D1, embora a acomodação foi como em V1 e V2. As oscilações não foram excessivas, e a acurácia foi em torno de 5,30%. Já na D2, elevou-se para 12,58%, devido ao aumento das oscilações, com sete picos antes da acomodação, de amplitude 5 a 15 rpm. Apesar disso, o sistema estabilizou no 8º segundo. Para V3D3 e V3D4, ocorreu redução da oscilação aproximadamente de 25 para 15 rpm, bem como da frequência, atingindo a "falsa acomodação" em V3D5.

A rotação de acionamento na V4 foi demonstrada na figura 38.

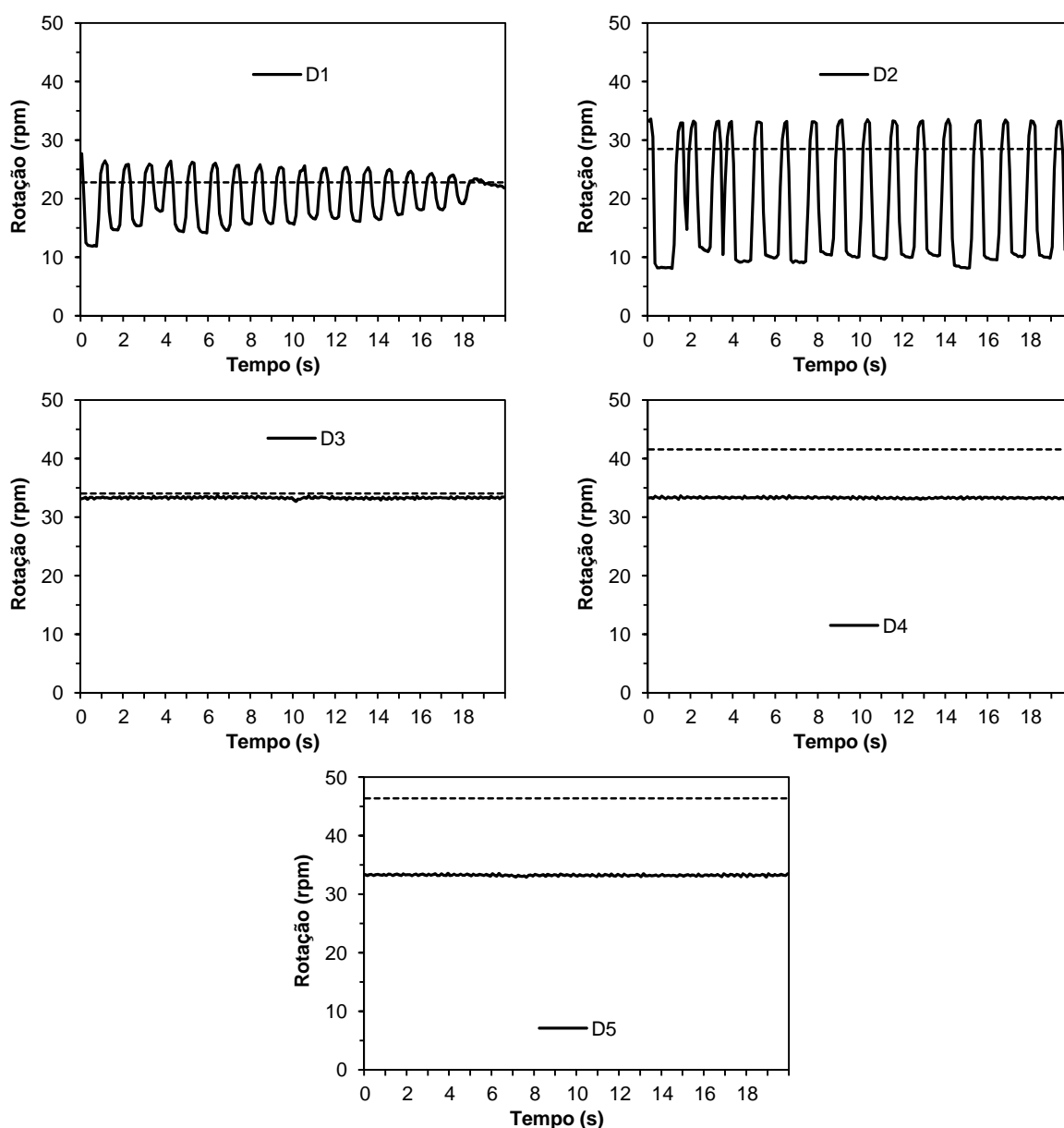


Figura 38 – Exemplos de rotações de acionamento da avaliação indireta do regime estacionário na velocidade  $10 \text{ km h}^{-1}$

Segundo a figura 38, na V4 o protótipo não apresentou condições adequadas, não havendo acomodação efetiva em D1 e D2, nas quais aumentaram a amplitude, de 10 para 25 rpm, bem como a frequência. Na D1, o sistema demonstrou entrar em acomodação aos 18 s, o que foi um tempo excessivo. Na D2, o efeito da pulsação atinge o máximo, elevando a acurácia e o desvio padrão para os maiores valores, 38,75% e 9,25 rpm. Pode ainda constatar-se "falsa acomodação" em D3, D4 e D5, para as quais a rotação manteve-se próxima aos 33 rpm. Essa condição então aumentou a acurácia na medida em que se afastava a rotação de referência. A baixa acurácia observada em V4D3 não foi considerada válida.

As equações lineares da correlação entre as densidades aferida e prescrita, do dosador de discos alveolados foram apresentadas na figura 39.

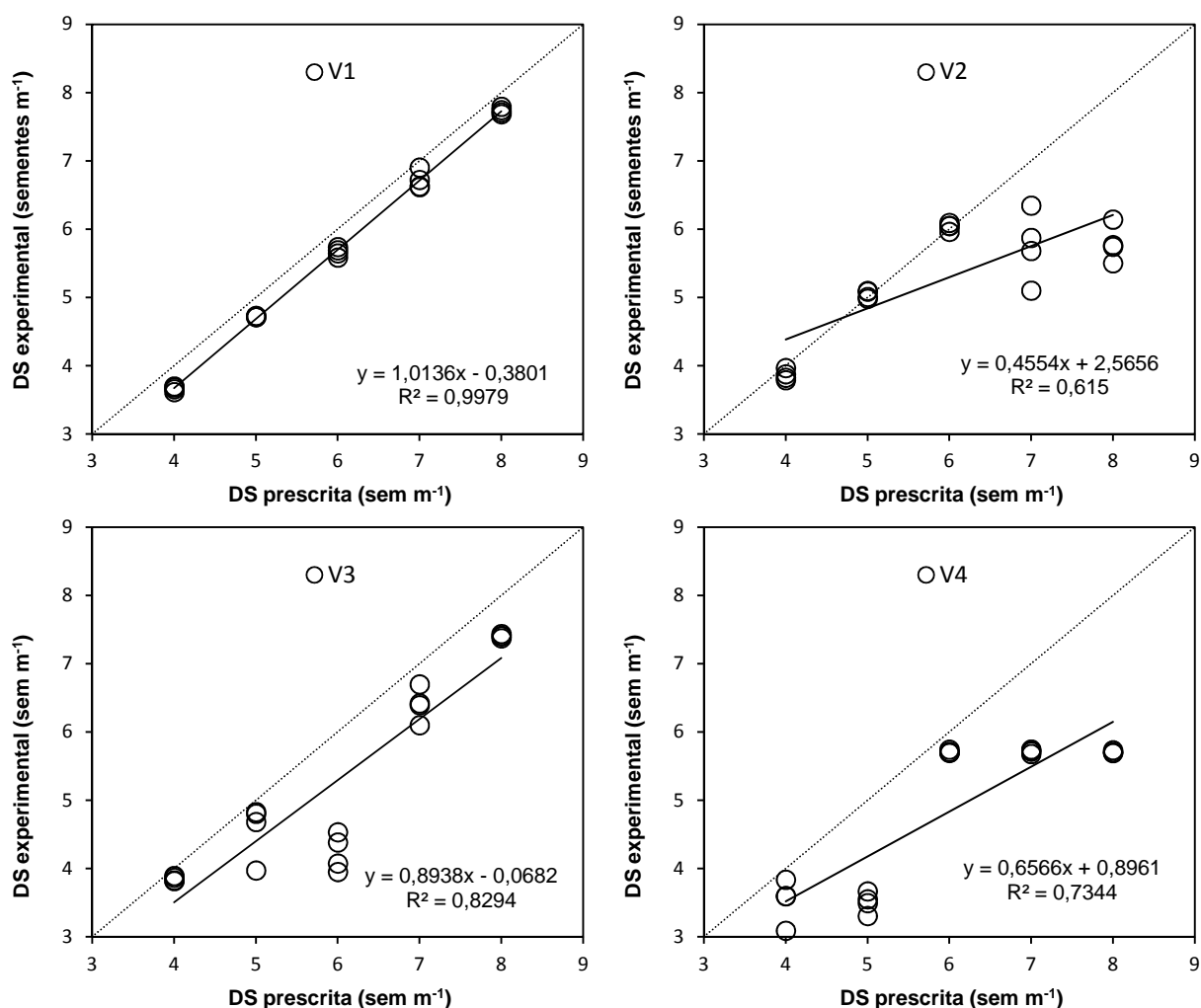


Figura 39 – Equações lineares e dispersão das densidades experimentais em função das prescrições da avaliação indireta do regime estacionário



A figura 39 demonstrou o potencial positivo do protótipo, analisando-se a equação da acurácia expressa na V1. Embora o erro seja em torno de 10%, o paralelismo entre a reta dos resultados e a meta expressa pela linha 1:1, demonstrou potencial de correção do problema. A qualidade de ajuste dos pontos apresentou coeficiente de determinação de 99,79%, demonstrando que, ao corrigir a acurácia, a máquina seria capaz de operar com baixa variabilidade. Na V1, o protótipo não apresentou tendência de erro com o aumento da dosagem, pois a inclinação da reta foi de 1,01.

Dentre as velocidades V2, V3 e V4, as mesmas não possuem potencial de uso para o protótipo nas condições atuais, pois todos os pontos marcadores da dosagem das unidades experimentais encontram-se afastados da linha 1:1. Para a V3, embora pareça haver o indicativo de que a correlação seja satisfatória, na ordem de 82,94%, esse valor foi influenciado pelos pontos de V3D5, que não são representativos, pois tratam-se de "falsa acomodação". Com exceção de V1, apenas em V2D1, V2D2, V2D3 e V3D1, isoladamente, a máquina poderia ser utilizada sem variações excessivas da dosagem, devido à observada proximidade dos marcadores das unidades experimentais.

A qualidade da distribuição longitudinal de sementes, quanto à regularidade, compreendeu valores apresentados na tabela 33.

As porcentagens de espaçamentos aceitáveis foram proporcionais à acurácia, e ambas à rotação. Essa afirmativa atesta que as predições tiveram correspondência com o fenômeno e efetividade, pois os desvios das rotações se comprovaram nas variáveis preditas. Ou seja, quando a rotação se distanciava da referência, isto aumentava a acurácia, e simultaneamente era refletida nos resultados das equações de predição. Os aceitáveis foram comprometidos pela ocorrência de oscilações excessivas, que reduziram as médias das rotações das unidades experimentais, ou seja, os períodos compreendidos pelos vales das curvas das leituras foram mais extensos que os dos picos. Nos casos onde a acurácia havia sido até 5,30 até 13,84%, os aceitáveis apresentaram de 90,39 a 99,01%, o que indicou que o sistema de controle foi capaz de explorar o potencial do dosador indicado pela modelagem. Mesmo nessa faixa de acurácia, onde as rotações aferidas foram menores que as rotações de referência, aumentando o espaçamento médio entre sementes, isso não atingiu o critério para classificá-los como múltiplos.

Tabela 33 – Aceitáveis, múltiplos e falhos da avaliação indireta em regime estacionário

Tratamentos	A (%)	M (%)	F (%)
V1D1	64,63	0,00	35,37
V1D2	94,03	0,00	5,97
V1D3	95,68	0,00	4,32
V1D4	90,49	0,00	9,51
V1D5	95,05	2,46	2,50
V2D1	97,43	0,00	2,57
V2D2	92,18	3,69	4,13
V2D3	98,34	0,77	0,89
V2D4	77,08	1,57	21,35
V2D5	40,57	1,14	58,29
V3D1	99,01	0,99	0,00
V3D2	95,42	0,18	4,40
V3D3	52,88	0,12	47,00
V3D4	90,39	3,97	5,64
V3D5	83,80	6,75	9,45
V4D1	94,82	1,10	4,07
V4D2	46,63	1,35	52,01
V4D3	89,82	10,18	0,00
V4D4	75,11	3,72	21,17
V4D5	55,96	3,90	40,14

Nota: Porcentagens de espaçamentos verificados por predição. A: Aceitáveis. M: Múltiplos. F: Falhos.

A tabela 33 descreveu níveis de desempenho superiores valor mínimo estabelecido por Coelho (1996) para o dosador de discos alveolados, de 50% de aceitáveis. Os valores preditos tiveram proximidade de Hörbe et al. (2013), cuja média de aceitáveis foi de 92,02%, para densidades de 50.000 a 90.000 plantas ha<sup>-1</sup> e velocidade de trabalho de 5 km h<sup>-1</sup>. Para a V1, o protótipo operou com qualificação do dosador como ótimo, pela classificação de Tourino e Klingensteiner (1983), com exceção de V1D1, onde a redução dos aceitáveis pode ser atribuída ao ajuste do modelo. Na V2 o nível de desempenho manteve o mesmo potencial para V2D1, V2D2 e V2D3, seguido de redução dos aceitáveis a partir de V2D4 e V2D5, sendo essa redução proporcional ao aumento do erro da dosagem. Para estes casos, a acurácia que antes era de 6,19% em V2D3, passou para 31,40 e 41,35%, enquanto que os aceitáveis, que eram 98,34%, reduziram-se para 77,08 e 40,57%. Na V3, como destacado pelas considerações anteriores sobre a acomodação, podem ser

consideradas V3D1 e V3D2 como condições operacionais adequadas, apresentando 99,01 e 95,42% de espaçamentos aceitáveis.

Para demonstrar a compensação entre os falhos e múltiplos, para os casos onde os aceitáveis reduziram-se, os percentuais de cada tratamento encontram-se dispostos na figura 40.

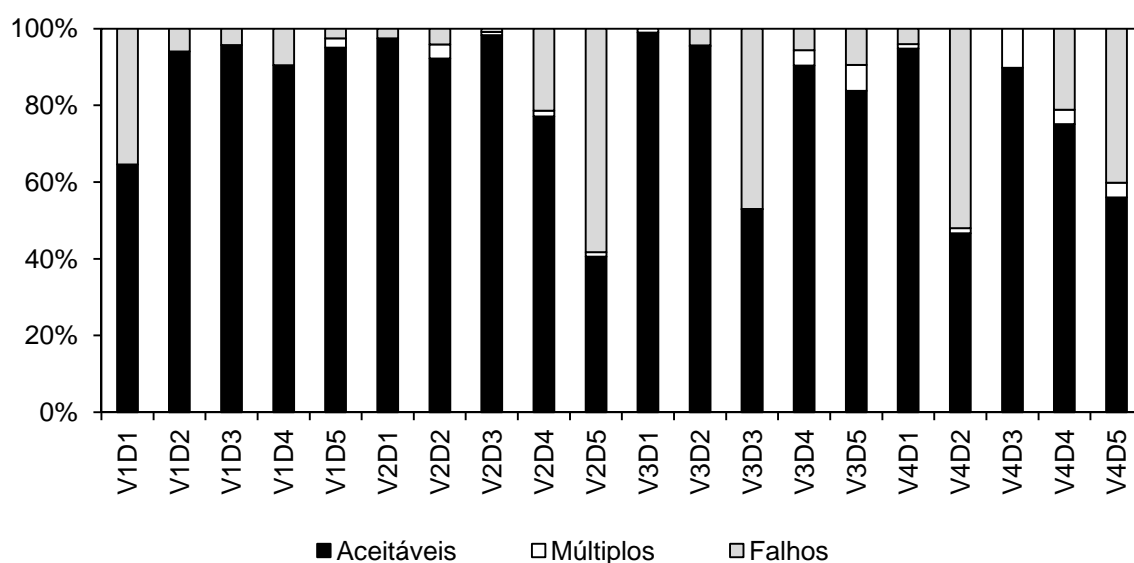


Figura 40 – Comparação entre os aceitáveis, múltiplos e falhos de cada tratamento da avaliação indireta do regime

Analisando-se a figura 40, percebe-se que quando reduziram-se os aceitáveis, isto era devido, em maior parte, ao aumento da proporção de falhos. Nesse caso, tal afirmativa é condizente com o sentido do erro, ou seja, a máquina operou sempre com a rotação média de acionamento menor que as rotações de referência. Tal fato decorreu, portanto, em maiores espaçamentos entre as sementes e maior qualificação dos mesmos como falhos.

Os testes de médias para as variáveis da qualidade da distribuição longitudinal de sementes, definidas pelas porcentagens de espaçamentos aceitáveis, falhos e múltiplos, encontram-se descritos nas tabelas 34, 35 e 36.

Tabela 34 – Teste de médias dos aceitáveis da avaliação indireta em regime estacionário

Tratamentos	A (%)
V3D1	99,01 a
V2D3	98,34 ab
V2D1	97,43 abc
V1D3	95,68 abcd
V3D2	95,42 abcd
V1D5	95,05 abcd
V4D1	94,82 abcd
V1D2	94,03 abcd
V2D2	92,18 abcd
V1D4	90,49 abcd
V3D4	90,39 abcd
V4D3	89,82 abcd
V3D5	83,80 abcd
V2D4	77,08 abcd
V4D4	75,11 abcd
V1D1	64,63 bcd
V4D5	55,96 cd
V3D3	52,88 cd
V4D2	46,63 d
V2D5	40,57 d

Nota: Porcentagem de espaçamentos verificados por predição. A: Aceitáveis.

Segundo análise da tabela 34, os maiores valores de aceitáveis foram observados nos agrupamentos com rotações e acurácias estáveis, sendo que diferenciaram-se do grupo de tratamentos que apresentaram pulsação, os quais tiveram as menores porcentagens para a variável. As combinações de fatores, V3D1, V2D3 e V2D1, obtiveram mais de 97,43% de espaçamentos aceitáveis, desempenho com valores superiores aos de Mahl et al. (2004) e Hörbe et al. (2013). Considerando-se que as diferenças ocorreram entre diferentes velocidades e densidades das zonas de semeadura, quando contrastados os agrupamentos inicial e final do ranking, assegura-se a comprovação da hipótese alternativa. Da mesma forma, sendo a rotação do dosador resultado combinado de velocidade de trabalho e densidade, indicou que ocorreu interação significativa entre os fatores.

Tabela 35 – Teste de médias dos múltiplos da avaliação indireta em regime estacionário

Tratamentos	M (%)
V1D1	0,00 a
V1D4	0,00 a
V1D2	0,00 a
V1D3	0,00 a
V2D1	0,00 a
V3D3	0,12 ab
V3D2	0,18 ab
V2D3	0,77 abc
V3D1	0,99 abc
V4D1	1,10 abc
V2D5	1,14 abc
V4D2	1,35 abc
V2D4	1,57 abc
V1D5	2,46 abc
V2D2	3,69 abc
V4D4	3,72 abc
V4D5	3,90 abc
V3D4	3,97 abc
V3D5	6,75 bc
V4D3	10,18 c

Nota: Porcentagens de espaçamentos verificados por predição. M: Múltiplos.

Segundo a tabela 35 os espaçamentos múltiplos tiveram participações de até 10,18%, sendo representados por valores baixos, que não diferiram até V3D4, compreendendo 18 das 20 combinações de tratamentos, com até 3,97% de múltiplos. Entretanto, as diferenças observadas foram para diferentes velocidades e densidades, indicando que houve efeito de ambas na variável.

A tabela 36 demonstrou que os espaçamentos falhos tiveram maiores participações em relação aos múltiplos, com até 58,29%. Os falhos não apresentaram diferença estatística até 16 dos 20 tratamentos, atingindo 35,37% em V1D1, estando concentrados em valores menores que 9,51%, a partir do qual aumentaram expressivamente. Entretanto, diferenças observadas no teste de médias foram devido a diferentes velocidades e densidades, o que demonstra que houve efeito de ambas nos falhos.

Tabela 36 – Teste de médias dos falhos da avaliação indireta em regime estacionário

Tratamentos	F (%)
V3D1	0,00 a
V4D3	0,00 ab
V2D3	0,89 abc
V1D5	2,50 abcd
V2D1	2,57 abcd
V4D1	4,07 abcd
V2D2	4,13 abcd
V1D3	4,32 abcd
V3D2	4,40 abcd
V3D4	5,64 abcd
V1D2	5,97 abcd
V3D5	9,45 abcd
V1D4	9,51 abcd
V4D4	21,17 abcd
V2D4	21,35 abcd
V1D1	35,37 abcd
V4D5	40,14 bcd
V3D3	47,00 cd
V4D2	52,01 d
V2D5	58,29 d

Nota: Porcentagens estimadas por comparação com aceitáveis e múltiplos. F: Falhos.

### 3.3. Experimentos de avaliação do protótipo em regime transitório

#### 3.3.1. Avaliação indireta dos tempos de resposta

O resumo da análise estatística para as variáveis de tempo, operando com dosador pneumático, foi disposto na tabela 37, descrevendo os resultados nas análises de normalidade e testes dos efeitos das variáveis. Os tempos de atraso (td), tempo de transição (tr) e tempo de acomodação (ts), apresentaram efeitos significativos, verificados pelo teste de Kruskal-Wallis, análogo ao teste F da análise da variância. O teste Comparações Múltiplas identificou pares contrastantes de

tratamentos apenas para o tempo de acomodação, nas fases crescente e decrescente de troca de dosagem.

Tabela 37 – Síntese da análise estatística da avaliação indireta dos tempos de resposta

Parâmetros	td (s)	tr (s)	ts (s)
Fase crescente			
Anderson-Darling (P-valor - %)	$7,14106 \cdot 10^{-10} ns^*$	$7,67082 \cdot 10^{-12} ns$	$1,00 \cdot 10^{-28} ns$
Transformação Box-Cox (P-valor - %)	$2,92766 \cdot 10^{-18} ns$	$1,58905 \cdot 10^{-12} ns$	$4,23134 \cdot 10^{-28} ns$
Kruskal-Wallis (P-valor - %)	$8,69671 \cdot 10^{-13} s$	$9,87142 \cdot 10^{-14} s$	$3,49434 \cdot 10^{-11} s$
Pares diferenciados – Comparações Múltiplas	<i>ns</i>	<i>s</i>	<i>ns</i>
Fase decrescente			
Anderson-Darling (P-valor - %)	$1,00 \cdot 10^{-28}$	$1,10923 \cdot 10^{-15}$	$1,00 \cdot 10^{-28}$
Transformação Box-Cox (P-valor - %)	$1,00 \cdot 10^{-28}$	$3,48274 \cdot 10^{-24}$	$1,00 \cdot 10^{-28}$
Kruskal-Wallis (P-valor - %)	$1,59783 \cdot 10^{-02} s$	$2,69507 \cdot 10^{-05} s$	$5,05273 \cdot 10^{-13} s$
Pares diferenciados – Comparações Múltiplas	<i>ns</i>	<i>s</i>	<i>ns</i>

Nota: Experimento trifatorial com aferição da rotação do dosador pneumático, em regime transitório nas fases crescente e decrescente. Variáveis: td: Tempo de atraso; tr: Tempo de transição e ts: Tempo de acomodação. *ns*: Não significativo. *s*: Significativo em nível de 95% de probabilidade.

Os tempos td, tr e ts da fase crescente encontram-se descritos na tabela 38. Os dados demonstram que a média do tempo de atraso foi 0,32 s, ocorrendo tempos desde 0,10 a 0,65 s. O protótipo demonstrou ser capaz de responder efetivamente ao comando, quanto à resposta inicial até atingir 50% do valor onde o sistema deve se estabilizar, para cada tratamento. O tempo de atraso avaliado foi inferior a Gadanha Júnior et al. (2001) e Figueiredo et al. (2000).

Tabela 38 – Tempos de resposta da fase crescente do regime transitório

Tratamentos	td (s)	tr (s)	ts (s)
C1V1T1	0,13	0,20	2,68
C1V1T2	0,13	0,20	0,38
C1V1T3	0,23	0,38	2,90
C1V1T4	0,38	0,45	2,93
C1V1T5	0,45	0,55	1,93
C1V1T6	0,40	0,55	2,65
C1V2T1	0,18	0,23	4,73
C1V2T2	0,15	0,18	9,10
C1V2T3	0,18	0,25	10,00
C1V2T4	0,38	0,53	1,50
C1V2T5	0,45	0,58	3,88
C1V2T6	0,48	0,55	10,00
C1V3T1	0,13	0,18	10,00
C1V3T2	0,15	0,18	10,00
C1V3T3	0,13	0,15	10,00
C1V3T4	0,43	0,68	2,10
C1V3T5	0,48	0,55	10,00
C1V3T6	0,38	0,45	10,00
C1V4T1	0,10	0,13	10,00
C1V4T2	0,10	0,10	10,00
C1V4T3	0,15	0,18	10,00
C1V4T4	0,40	0,48	4,83
C1V4T5	0,40	0,50	10,00
C1V4T6	0,40	0,50	10,00
C2V1T1	0,20	0,40	1,78
C2V1T2	0,23	0,33	1,65
C2V1T3	0,20	0,35	2,30
C2V1T4	0,55	0,70	4,53
C2V1T5	0,60	0,98	2,20
C2V1T6	0,55	0,80	3,18
C2V2T1	0,18	0,25	1,78
C2V2T2	0,15	0,23	3,80
C2V2T3	0,20	0,23	4,08
C2V2T4	0,48	0,78	1,08
C2V2T5	0,53	0,75	3,40
C2V2T6	0,50	0,68	2,48
C2V3T1	0,15	0,28	5,98
C2V3T2	0,20	0,25	5,18
C2V3T3	0,20	0,20	10,00
C2V3T4	0,50	0,93	2,40
C2V3T5	0,65	0,75	3,50
C2V3T6	0,45	0,55	10,00
C2V4T1	0,13	0,15	10,00
C2V4T2	0,10	0,18	5,25
C2V4T3	0,13	0,20	10,00
C2V4T4	0,48	0,63	1,83
C2V4T5	0,55	0,65	10,00
C2V4T6	0,50	0,60	10,00

Nota: Experimento trifatorial, com dosador pneumático e aferição por sensor. Tratamentos: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0. Variáveis: td: Tempo de atraso; tr: Tempo de transição e ts: Tempo de acomodação.



Segundo a análise da tabela 38, constata-se ainda que o tempo de transição teve média 0,43 s, numericamente superior ao tempo de atraso. Para o protótipo, foi demonstrada a capacidade de rapidamente passar de 50% para 100% dos degraus proporcionados, sem acréscimos de tempo excessivos. Em média, os tempos de transição foram 37% maiores que os tempos de atraso, tendo em vista que variaram de 0,10 a 0,98 s. Independente da qualidade da estabilização do sistema, que somente impactou no tempo de acomodação, o equipamento demonstrou ser capaz de rapidamente atingir o valor meta final da troca de dosagem, independente do tratamento, velocidade ou calibração.

Embora os dados demonstrem que o sistema atua eficazmente até atingir o resultado final pela primeira vez, problemas de desempenho do protótipo foram decorrentes do tempo de acomodação. Em combinações de tratamentos que atingiam as maiores densidades, foram identificadas oscilações constantes nos 10 s das avaliações, ou seja, durante todo o tempo de avaliação não ocorreu acomodação. As combinações de operação em que a acomodação foi efetiva, foram para C1V1, C2V1 e C2V2. Para esses conjuntos de tratamentos, os tempos de acomodação médios foram 2,24; 2,60 e 2,77 s; os mínimos foram 0,38; 1,35 e 1,08 s e máximos 2,93; 4,53 e 4,08 s.

Nos casos onde a máquina operou adequadamente a troca de dosagem, sem oscilações excessivas, o potencial de desempenho da máquina foi superior ao limite de um segundo, determinado por Schumann et al. (2006a), bem como ao potencial de cinco segundos, preconizado por Figueiredo et al. (2000).

As combinações de tratamentos, cujas alterações do comportamento ocorreram durante todo o tempo de avaliação de 10 s, ocorreram em 18 dos 48 tratamentos testados. Destes, observou-se participação dos tratamentos T3 e T6 em 28% dos casos. As oscilações de rotação apresentadas pelo protótipo foram consideradas excessivas, embora possam ocorrer com a utilização de sistemas de controle, ao exemplo de Schumann et al. (2006a). As oscilações aferidas por estes autores apresentaram menor amplitude e frequência, sendo que não comprometeram a operacionalidade do equipamento.

Para complementar a análise dos efeitos dos tratamentos, o teste de médias para o tempo de transição, na fase crescente, foi apresentado na tabela 39.

Tabela 39 – Teste de médias do tempo de transição da fase crescente

Tratamentos	tr (s)
C1V4T2	0,10 a
C1V4T1	0,13 ab
C2V4T1	0,15 abc
C1V3T3	0,15 abc
C1V4T3	0,18 abc
C1V2T2	0,18 abc
C2V4T2	0,18 abc
C1V3T2	0,18 abc
C1V3T1	0,18 abc
C2V4T3	0,20 abc
C1V1T2	0,20 abc
C2V3T3	0,20 abc
C1V1T1	0,20 abc
C2V2T3	0,23 abc
C2V2T2	0,23 abc
C1V2T1	0,23 abc
C2V3T2	0,25 abc
C2V2T1	0,25 abc
C1V2T3	0,25 abc
C2V3T1	0,28 abc
C2V1T2	0,33 abc
C2V1T3	0,35 abc
C1V1T3	0,38 abc
C2V1T1	0,40 abc
C1V1T4	0,45 abc
C1V3T6	0,45 abc
C1V4T4	0,48 abc
C1V4T6	0,50 abc
C1V4T5	0,50 abc
C1V2T4	0,53 abc
C1V1T5	0,55 abc
C2V3T6	0,55 abc
C1V1T6	0,55 abc
C1V3T5	0,55 abc
C1V2T6	0,55 abc
C1V2T5	0,58 abc
C2V4T6	0,60 abc
C2V4T4	0,63 abc
C2V4T5	0,65 abc
C1V3T4	0,68 abc
C2V2T6	0,68 abc
C2V1T4	0,70 abc
C2V3T5	0,75 abc
C2V2T5	0,75 bc
C2V2T4	0,78 bc
C2V1T6	0,80 bc
C2V3T4	0,93 bc
C2V1T5	0,98 c

Nota: Dosador pneumático e transição crescente. Tratamentos: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dose 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>. Tr: Tempo de transição.

Os resultados da tabela 39 demonstram que o tratamento C1V4T2, com tempo de transição de 0,10 s, diferiu-se de um grupo que agregou os tratamentos T4, T5 e T6, calibração C2 e velocidades V1, V2 e V3. O grupo que ocupou a parte inferior do ranking apresentou tempos de transição crescentes de 0,75 a 0,98 s. O tratamento C1V4T1 apresentou tempo de transição 0,13 s, o qual diferiu-se de C2V1T5, com 0,98 s. Foi verificado que ambas as condições que diferenciaram-se participaram de C1 e V4, entretanto estes tratamentos não apresentaram acomodação efetiva, oscilando durante todo o tempo de gravação dos dados das unidades experimentais.

Os tempos apresentados na fase decrescente do fenômeno de resposta foram demonstrados na tabela 40. Os valores aferidos foram numericamente inferiores nesta etapa, corroborando as afirmativas de Cerri (2001) e Umezu (2003). Na fase decrescente, tempos de atraso, transição (nesse caso da dose maior para a menor) e acomodação, foram entre 43 e 54% inferiores.

O tempo de atraso na fase decrescente teve média geral 0,15 s, cujo menor valor foi 0,10 e o maior 0,33 s. O tempo de transição apresentou média de 0,24 s, repetindo menores valores em 0,10 s, o que indica que neste tempo, o protótipo foi capaz de alterar 100% das doses no sentido decrescente. O valor máximo para o tempo de transição na fase decrescente foi de 0,55 s, o que demonstra que os efeitos de distorções no acionamento afetaram, nessa etapa, apenas os tempos de acomodação.

O tempo de acomodação decrescente teve média 2,61 s, com valores desde 0,18 até 10 s. Analisando-se o tratamento com média 0,18 s, o tratamento teve 3 repetições com leitura 0,20 s e uma com 0,10 s. o sistema apresentou 28 tratamentos nos quais o tempo de acomodação foi inferior a um segundo. Em três tratamentos, envolvendo T2, o tempo de acomodação teve média de 10 s.

Corroborando as análises anteriores, de que a máquina rapidamente respondia até 50% das trocas, foi constatado que a aceleração e desaceleração até 100% também foram rápidas, sendo um ponto positivo para o protótipo. Dessa forma, a degradação do desempenho foi devido ao tempo de acomodação.

O teste de médias para o tempo de transição na fase decrescente foi apresentado na tabela 41. Os tempos mais rápidos da transição foram para T1, T2 e T3. Ocorreu somente a diferenciação dos tratamentos C1V3T1 e C1V3T3 em relação ao tratamento C2V1T3.

Tabela 40 – Tempos de resposta da fase decrescente do regime transitório

Tratamentos	td (s)	tr (s)	ts (s)
C1V1T1	0,13	0,15	7,18
C1V1T2	0,13	0,35	0,38
C1V1T3	0,10	0,23	5,00
C1V1T4	0,15	0,23	0,23
C1V1T5	0,18	0,23	0,23
C1V1T6	0,23	0,33	0,33
C1V2T1	0,20	0,30	1,35
C1V2T2	0,13	0,23	6,93
C1V2T3	0,13	0,23	3,53
C1V2T4	0,33	0,38	0,38
C1V2T5	0,15	0,23	0,23
C1V2T6	0,13	0,23	0,23
C1V3T1	0,10	0,10	5,20
C1V3T2	0,10	0,13	10,00
C1V3T3	0,10	0,10	9,00
C1V3T4	0,13	0,20	0,20
C1V3T5	0,10	0,28	0,28
C1V3T6	0,13	0,25	0,25
C1V4T1	0,13	0,15	8,60
C1V4T2	0,10	0,13	10,00
C1V4T3	0,13	0,13	7,33
C1V4T4	0,20	0,25	0,25
C1V4T5	0,13	0,23	0,23
C1V4T6	0,13	0,23	0,23
C2V1T1	0,23	0,40	6,53
C2V1T2	0,13	0,35	0,98
C2V1T3	0,23	0,55	5,85
C2V1T4	0,15	0,20	0,20
C2V1T5	0,20	0,28	0,28
C2V1T6	0,28	0,33	0,33
C2V2T1	0,18	0,43	0,43
C2V2T2	0,13	0,20	1,95
C2V2T3	0,13	0,23	1,80
C2V2T4	0,18	0,23	0,23
C2V2T5	0,15	0,25	0,25
C2V2T6	0,18	0,25	0,25
C2V3T1	0,13	0,18	3,13
C2V3T2	0,13	0,18	5,13
C2V3T3	0,25	0,40	4,25
C2V3T4	0,10	0,18	0,18
C2V3T5	0,13	0,20	0,20
C2V3T6	0,10	0,20	0,20
C2V4T1	0,10	0,33	0,73
C2V4T2	0,10	0,13	10,00
C2V4T3	0,10	0,15	4,20
C2V4T4	0,18	0,28	0,28
C2V4T5	0,10	0,20	0,20
C2V4T6	0,10	0,25	0,25

Nota: Experimento trifatorial, com dosador pneumático e aferição por sensor. Tratamentos: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0. Variáveis: td: Tempo de atraso; tr: Tempo de transição e ts: Tempo de acomodação.

Tabela 41 – Teste de médias do tempo de transição da fase decrescente

Tratamentos	tr (s)
C1V3T3	0,10 a
C1V3T1	0,10 a
C1V3T2	0,13 ab
C1V4T2	0,13 ab
C2V4T2	0,13 ab
C1V4T3	0,13 ab
C2V4T3	0,15 ab
C1V4T1	0,15 ab
C1V1T1	0,15 ab
C2V3T1	0,18 ab
C2V3T2	0,18 ab
C2V3T4	0,18 ab
C2V2T2	0,20 ab
C2V3T5	0,20 ab
C2V3T6	0,20 ab
C2V4T5	0,20 ab
C1V3T4	0,20 ab
C2V1T4	0,20 ab
C1V1T3	0,23 ab
C1V2T2	0,23 ab
C1V2T6	0,23 ab
C1V2T5	0,23 ab
C1V4T6	0,23 ab
C2V2T3	0,23 ab
C2V2T4	0,23 ab
C1V1T4	0,23 ab
C1V1T5	0,23 ab
C1V2T3	0,23 ab
C1V4T5	0,23 ab
C2V2T6	0,25 ab
C2V4T6	0,25 ab
C1V3T6	0,25 ab
C1V4T4	0,25 ab
C2V2T5	0,25 ab
C1V3T5	0,28 ab
C2V4T4	0,28 ab
C2V1T5	0,28 ab
C1V2T1	0,30 ab
C1V1T6	0,33 ab
C2V4T1	0,33 ab
C2V1T6	0,33 ab
C2V1T2	0,35 ab
C1V1T2	0,35 ab
C1V2T4	0,38 ab
C2V1T1	0,40 ab
C2V3T3	0,40 ab
C2V2T1	0,43 ab
C2V1T3	0,55 b

Nota: Experimento trifatorial, com dosador pneumático e aferição por sensor. Tratamentos: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0. Variáveis: td: Tempo de atraso; tr: Tempo de transição e ts: Tempo de acomodação.

Para a discussão da acomodação do sistema de controle, foram organizados gráficos da evolução da rotação durante o período de 10 s monitorado durante as transições, a partir do início da troca de dosagem. Na figura 41, os gráficos descrevem o comportamento do sistema operando na V1, durante as trocas T1, T2 e T3. As rotações de referência foram demonstradas pelas linhas pontilhadas.

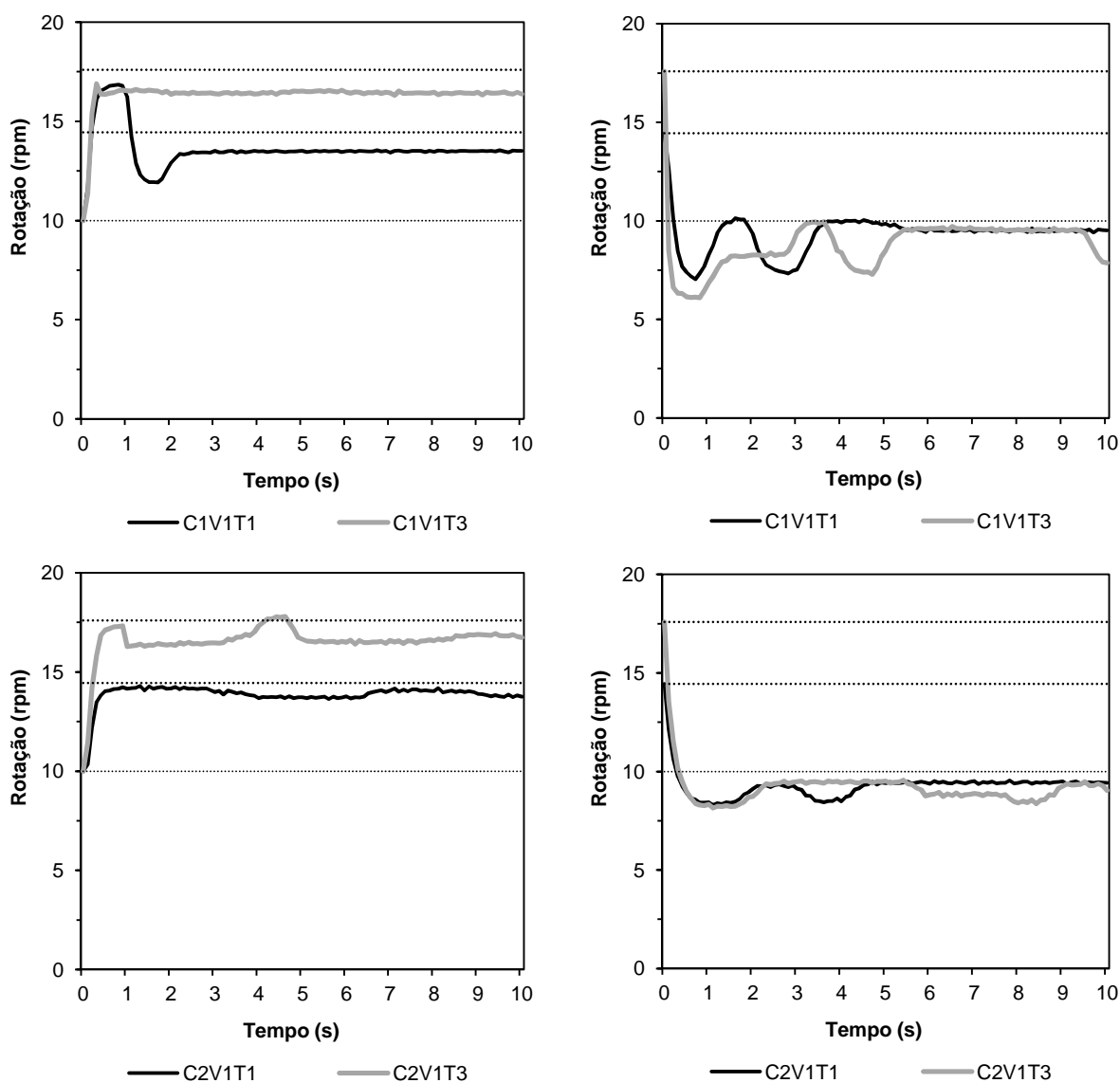


Figura 41 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T1 e T3 na velocidade  $4 \text{ km h}^{-1}$

Segundo os gráficos, constata-se que as transições T1 e T3, durante os tratamentos da velocidade V1, apresentaram comportamento normal, não ocorrendo

oscilações excessivas, sendo observada acomodação em todas as trocas. As rotações ocorreram abaixo da referência, determinando erros absolutos negativos.

As unidades experimentais representativas da transição T2, para as calibrações na V1, foram demonstradas na figura 42.

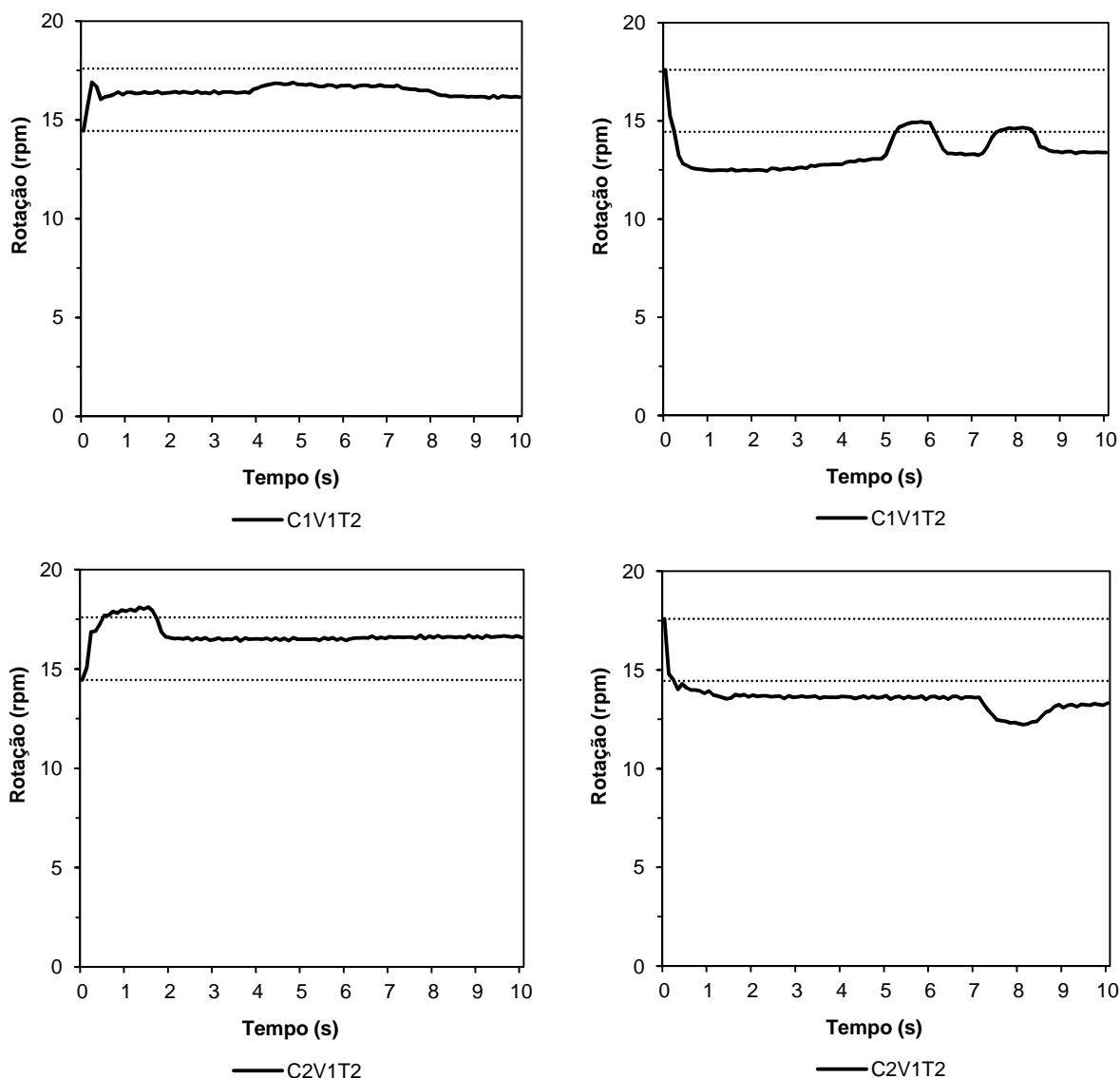


Figura 42 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T2 na velocidade  $4 \text{ km h}^{-1}$

Na figura 42, observa-se que as trocas entre 6 e 7,2 sementes  $\text{m}^{-1}$  ocorreu adequadamente para ambas as fases. As rotações aferidas foram inferiores às

referências. Ocorreram picos após a acomodação inicial, caracterizando oscilações aleatórias, que elevaram a rotação, que em seguida retornava para o valor médio.

Os tratamentos T4, T5 e T6, representando bordaduras do cultivo com operação na velocidade V1, foram representados na figura 43. A verificação dos efeitos do corte ou acionamento pleno da dose constou da utilização das três densidades testadas no experimento, combinadas com a dose nula no início e final dos degraus.

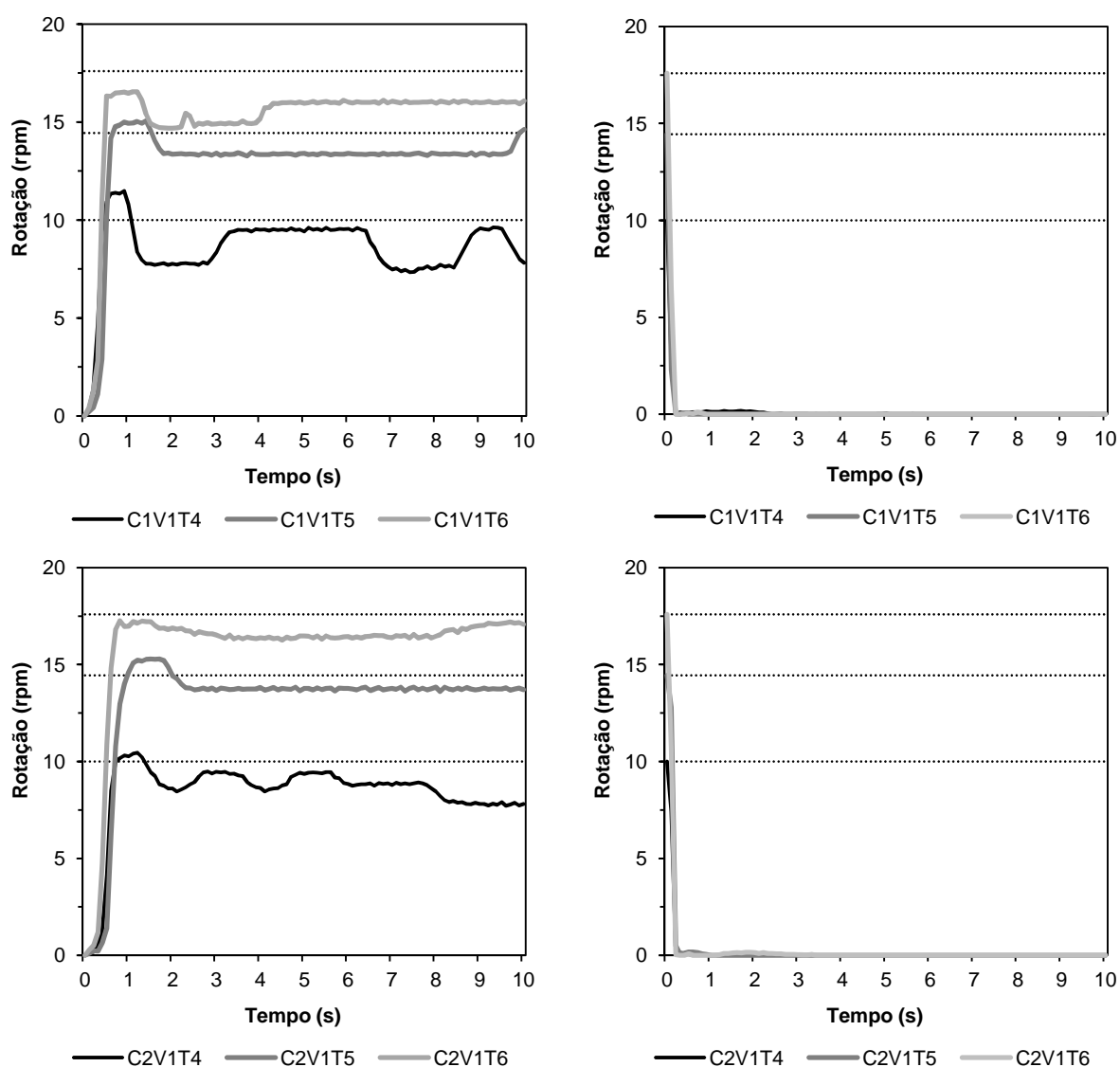


Figura 43 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T4, T5 e T6 na velocidade  $4 \text{ km h}^{-1}$



Na Figura 43, pode ser verificado que o acionamento apresentou acomodação efetiva em todos os tratamentos avaliados, repetindo-se aferições de rotação inferiores às referências. As dosagens decrescentes ocorreram entre 0,20 a 0,35 s, sendo essas trocas de dosagem mais rápidas que os valores verificados por Schumann (2006a), que foram de 0,32 a 0,46 s.

A partir da V2, as aferições passaram a demonstrar oscilações excessivas, prejudicando a acomodação ao atingir o comando da maior densidade. Essa condição corresponde ao T3, podendo ser visualizada na figura 44.

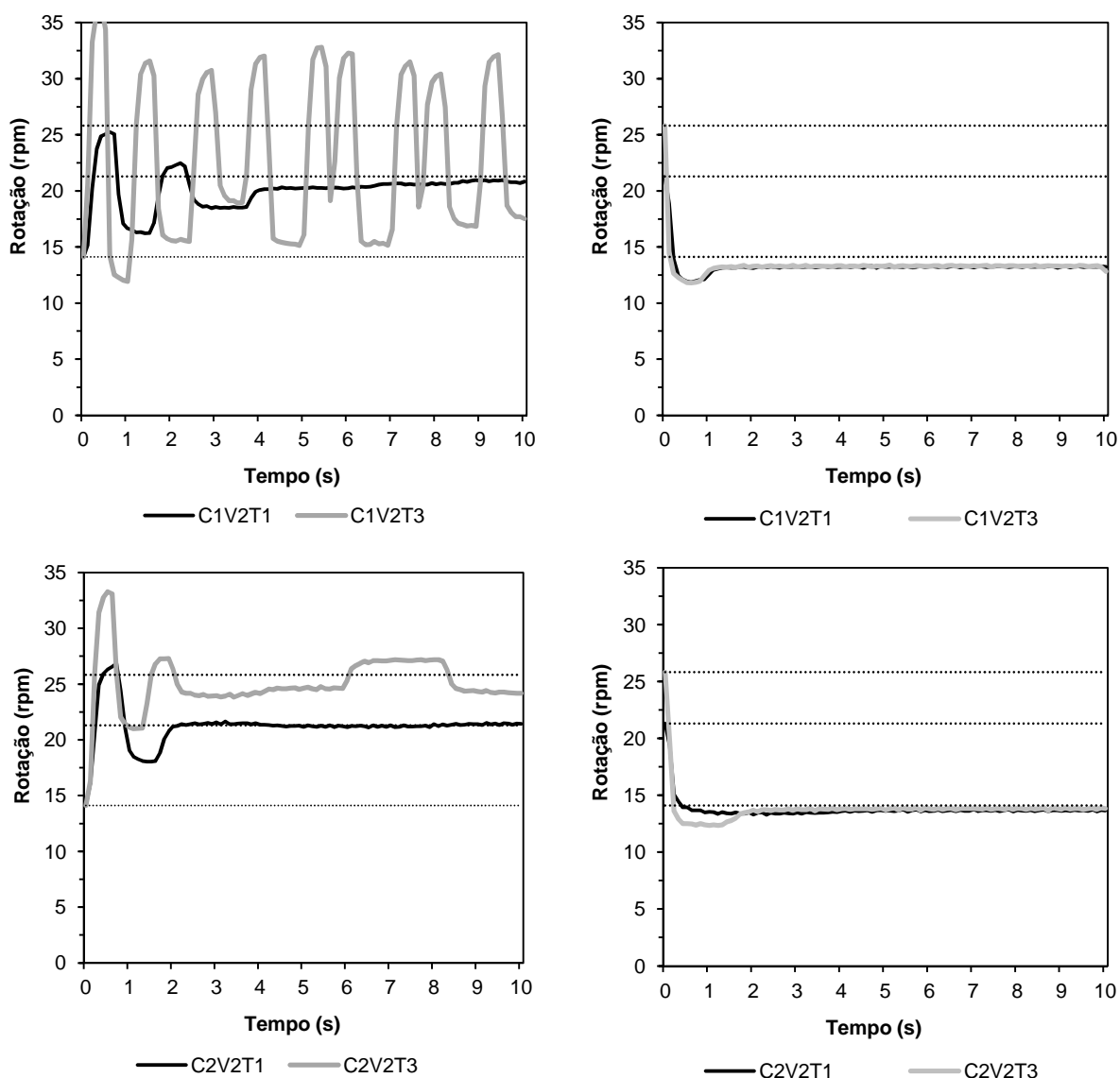


Figura 44 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T1 e T3 na velocidade  $6 \text{ km h}^{-1}$

A partir da figura 44, pode ser constatada maior amplitude das oscilações na calibração C1, além de maior frequência. Na C2 observam-se picos menores e retorno ao patamar médio de rotação.

Os resultados dos tratamentos C1V2T2 e C2V2T2, apresentados na figura 45, apresentaram oscilações, corroborando as verificações anteriores (C1V2T3 e C2V2T3), da maior densidade comprometer o desempenho a partir de  $6 \text{ km h}^{-1}$ . A acomodação foi mais prejudicada na calibração C1 na fase crescente, enquanto que os demais tratamentos estabilizaram-se entre 1 a 3 s após o início da transição.

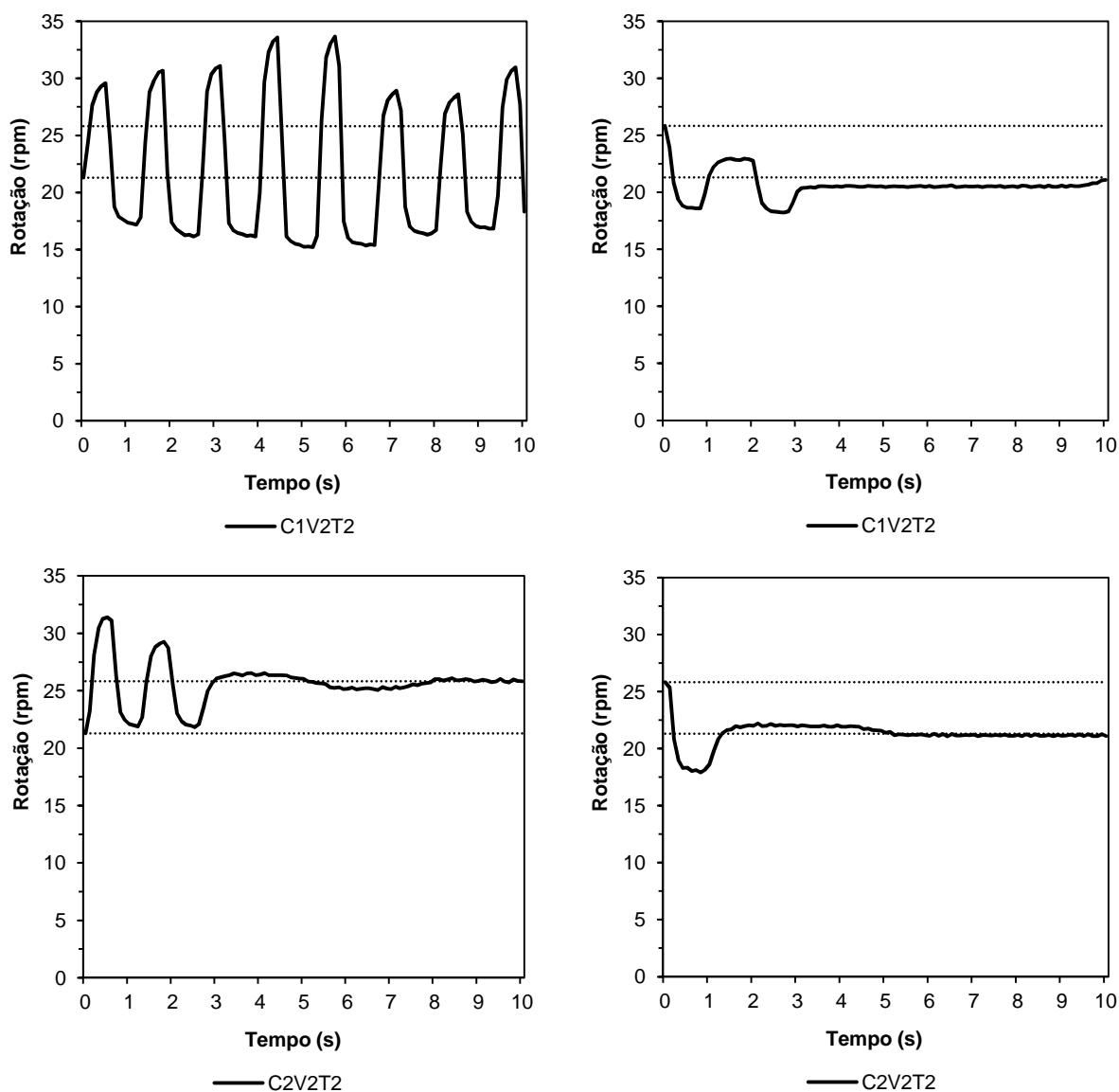


Figura 45 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T2 na velocidade  $6 \text{ km h}^{-1}$

Os tratamentos de transição de dosagem T4, T5 e T6, durante a velocidade V2, tiveram os gráficos apresentados na figura 46. Em  $6 \text{ km h}^{-1}$ , passam a ocorrer oscilações excessivas na transição T6, corroborando o comportamento verificado para a transição T2, devido a ambas apresentarem a maior dose meta ao final da troca. A intensidade das oscilações é maior em C1, e quanto maior a rotação meta, maior o efeito de pulsação.

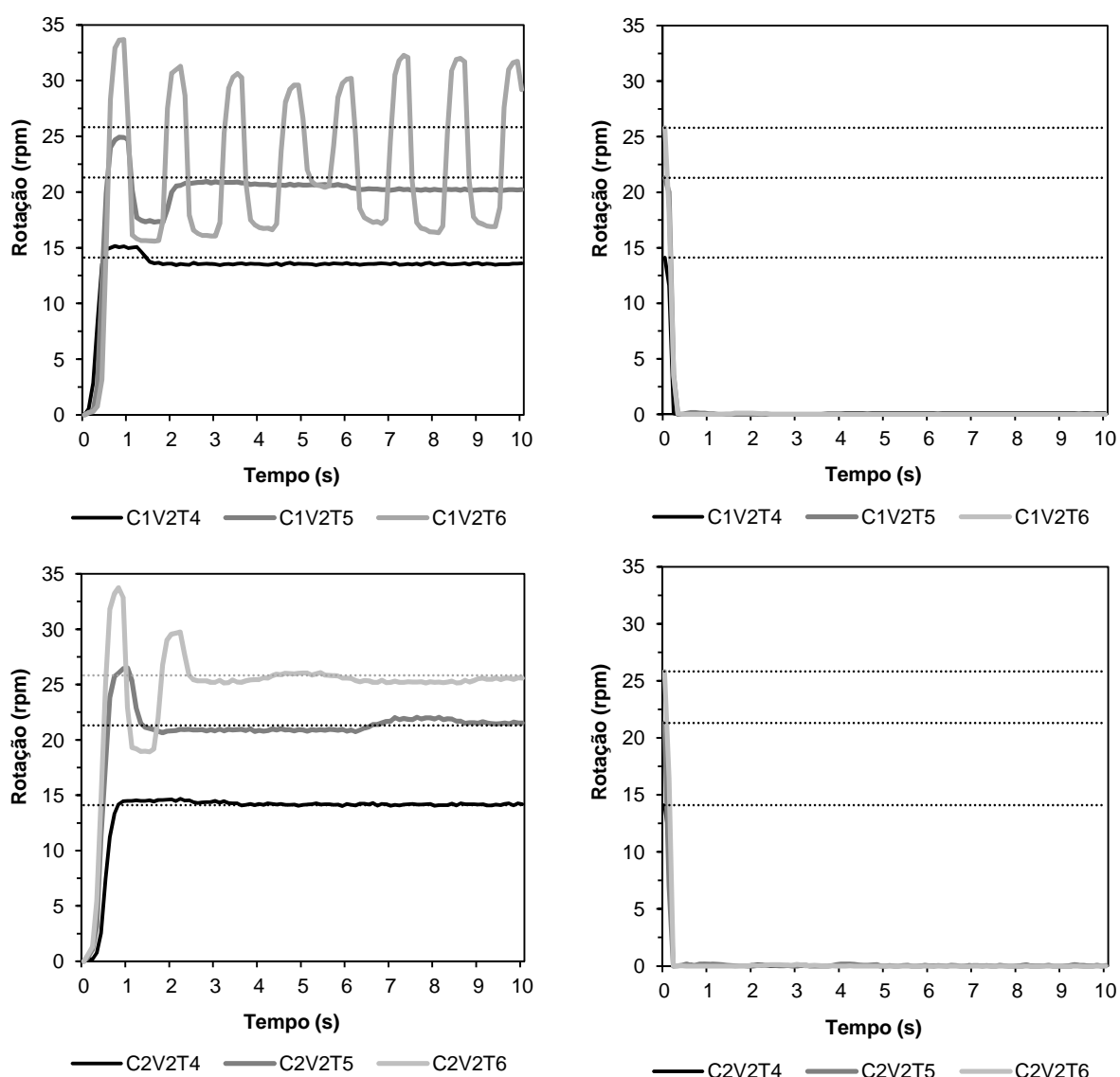


Figura 46 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T4, T5 e T6 na velocidade  $6 \text{ km h}^{-1}$

Dessa maneira, uma síntese da análise da operação na V2, demonstra que a rapidez das transições foi comprometida sempre que o sistema de controle acionava a maior dosagem testada, correspondente a  $7,2$  sementes  $m^{-1}$ , no final das transições crescentes, tanto a partir de doses intermediárias quanto nulas. Nas fases decrescentes, não foi observado comprometimento do desempenho, pois na etapa final os comandos não atingem as rotações restritivas da maior dose.

As unidades experimentais selecionadas para representação das transições T1 e T3, na V3, encontram-se dispostas na figura 47.

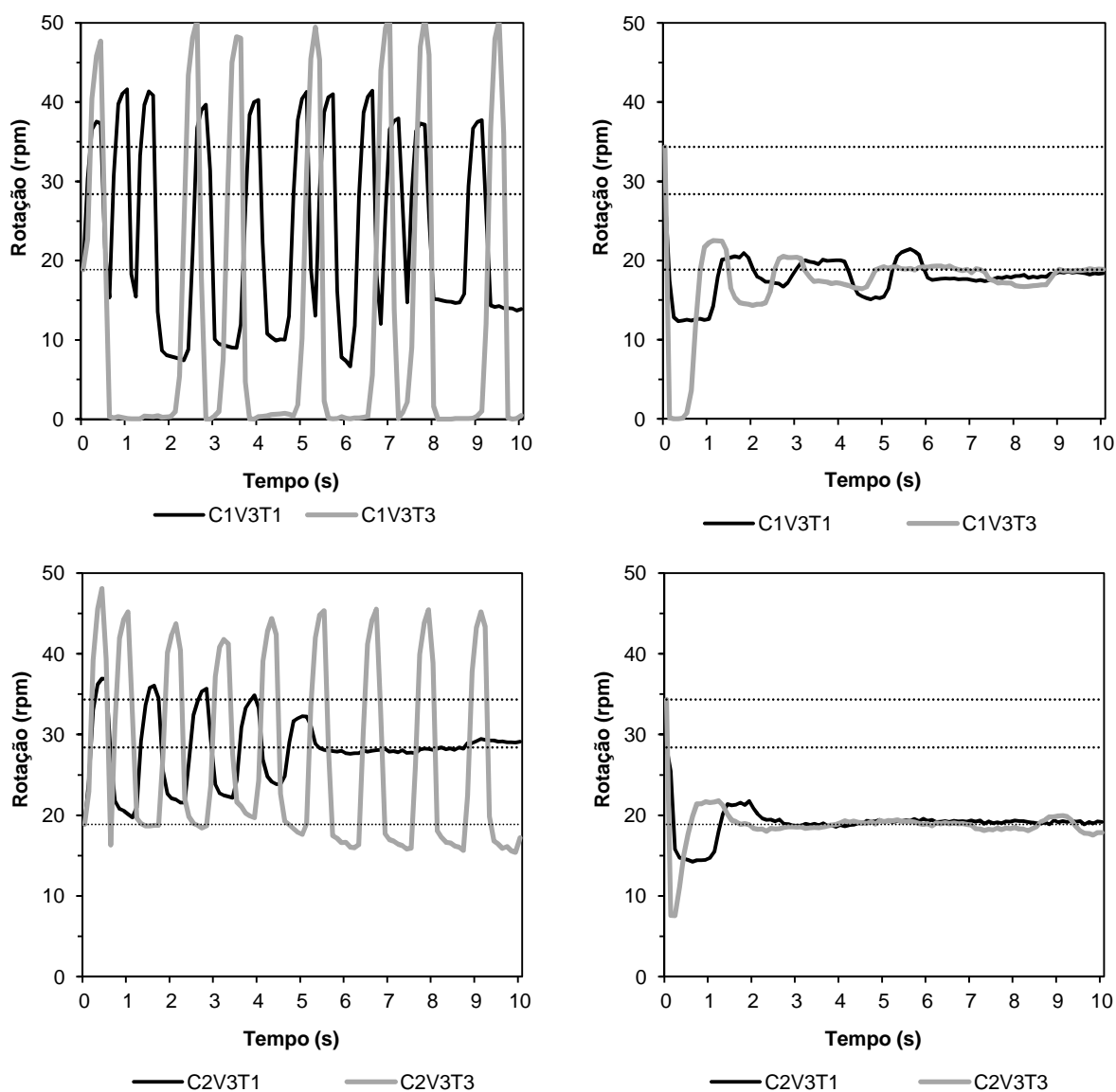


Figura 47 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T1 e T3 na velocidade  $8 \text{ km h}^{-1}$

Segundo a figura 47, pode-se constatar que a V3 não pode ser recomendada para a operação do protótipo. Sempre que o sistema passou da densidade de 4 sementes  $m^{-1}$ , correspondente a 18,84 rpm, as oscilações foram expressivas, com poucas possibilidades de acomodação tardia, sempre gerando tempo excessivo, para a C1. As fases decrescentes, apesar de menos oscilatórias que as crescentes, apresentaram vales excessivos, oscilações e acomodações tardias.

As unidades experimentais selecionadas para a discussão da acomodação da transição T2 foram demonstradas na figura 48.

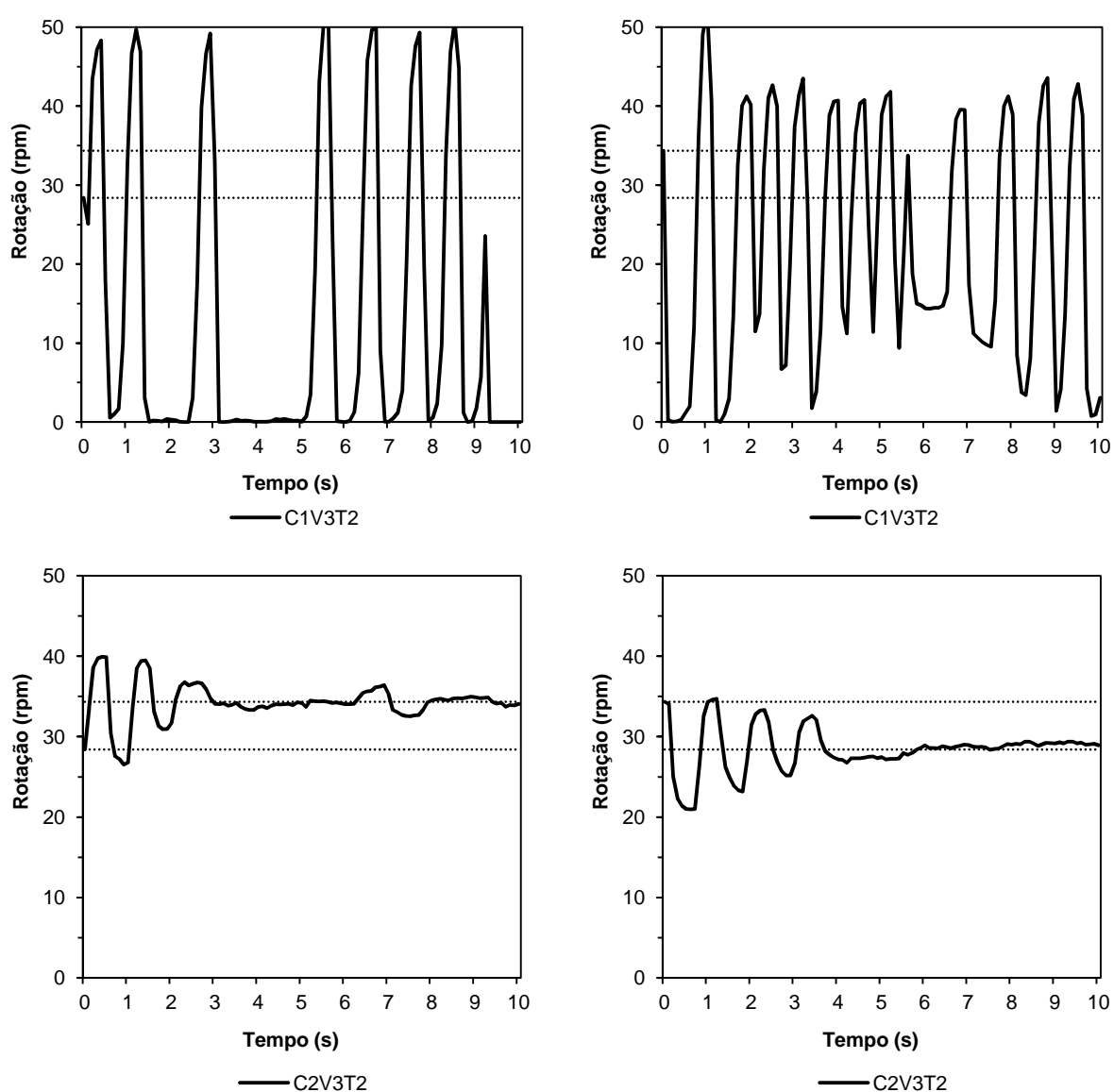


Figura 48 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T2 na velocidade  $8 \text{ km h}^{-1}$

A figura 48 comprova que a partir dessas condições, mesmo a fase decrescente foi totalmente degradada. A C2 é pouco menos oscilatória, com algumas possibilidades de acomodação, mas condições arriscadas para operação em campo, pois a acomodação é tardia e varia novamente ao longo da unidade experimental. A rotação final da fase crescente foi 28,39 rpm para T1 e 34,35 rpm para T3, de acordo com as rotações de referência (tabela 4 do item 2.3.1.2.).

Na figura 49, estão dispostos os tratamentos T4, T5 e T6, para a V3. Quando o sistema parte de zero, é recomendável a semeadura somente na menor densidade. Na fase decrescente, as supressões foram rápidas e eficazes.

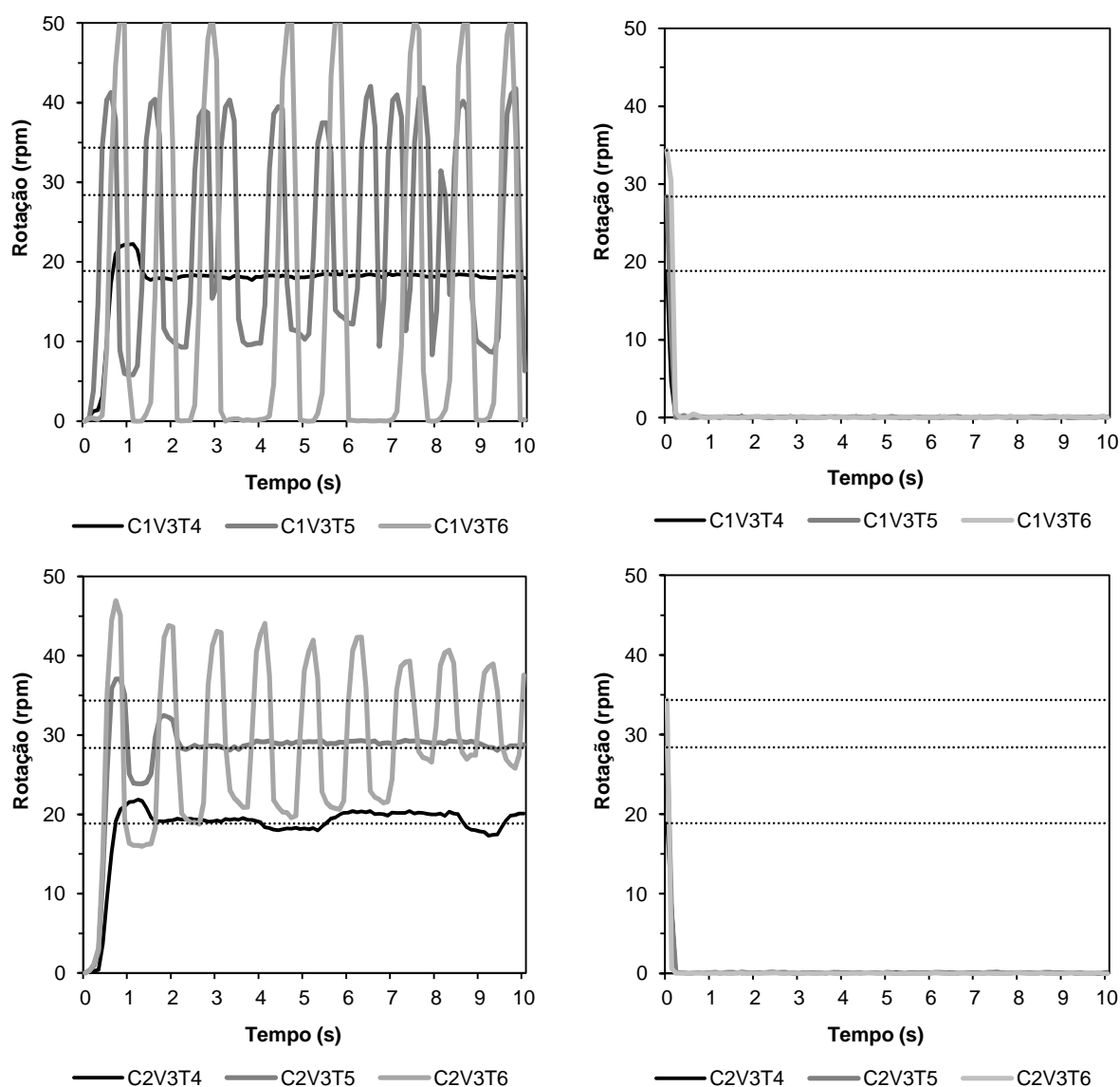


Figura 49 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T4, T5 e T6 na velocidade  $8 \text{ km h}^{-1}$

A velocidade V4 foi detalhada na figura 50, para os tratamentos T1 e T3. As oscilações da rotação atingem a maior frequência e amplitude, sendo que as condições inadequadas, ampliam-se de 7,2, também para a dose 6 sementes  $m^{-1}$ . O sistema praticamente para de movimentar-se e retoma ao nível máximo de 50 rpm, em menos de um segundo. As oscilações ocorrem de forma tão abrupta quanto os menores tempos de resposta e transição, ou seja, se esta resposta fosse aproveitável, representaria uma transição de dose muito rápida. São esparsas as possibilidades de acomodação, e somente para a menor densidade.

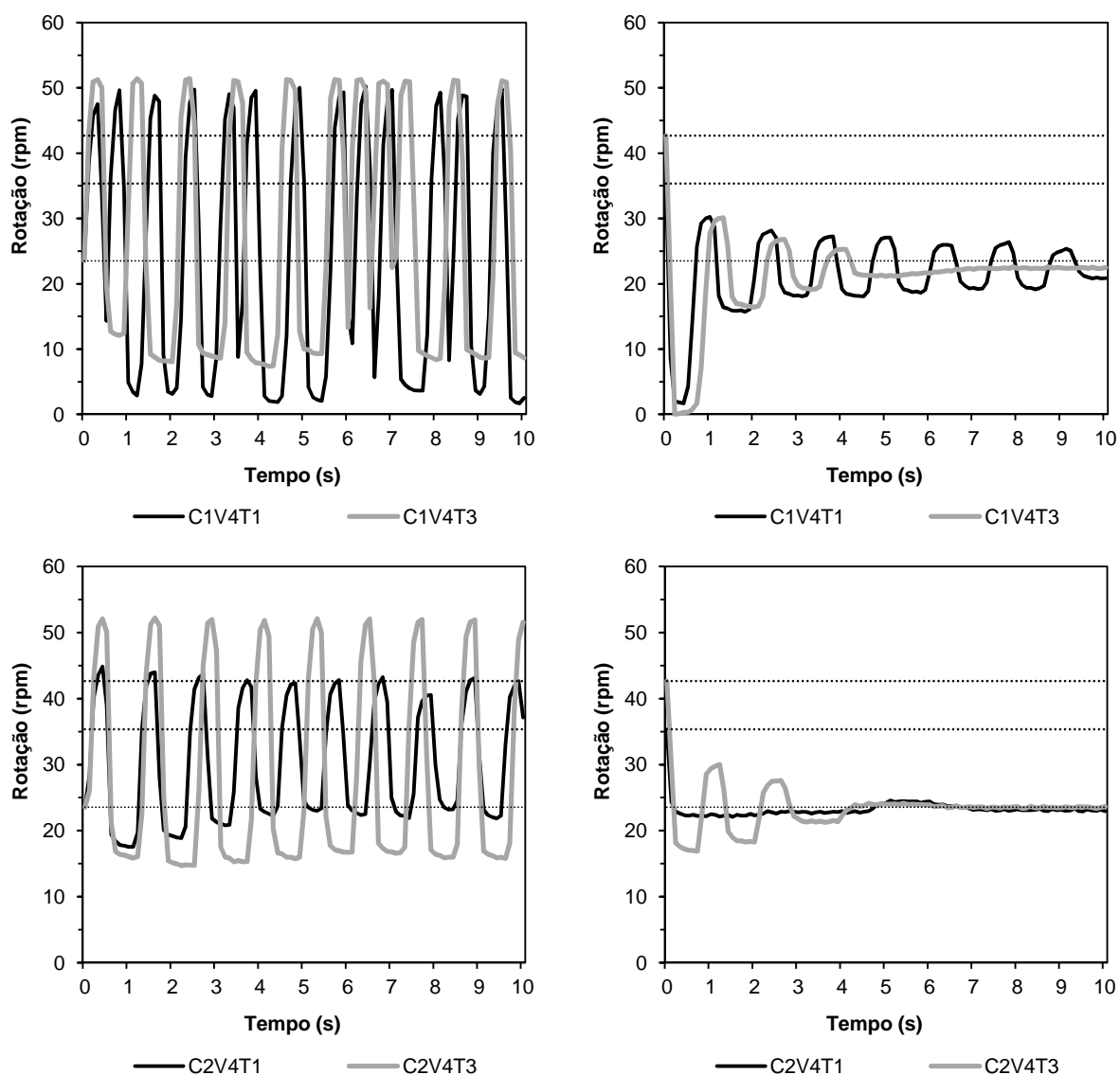


Figura 50 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decréscentes (direita) das transições T1 e T3 na velocidade  $10 \text{ km h}^{-1}$

O T2, na velocidade V4 foi demonstrado na figura 51, para o qual os efeitos entre as maiores densidades não se diferem entre fases crescentes e decrescentes, pois tanto o início quanto o final dos degraus compreendem doses que foram oscilantes nesta velocidade. As maiores densidades ocasionaram picos próximos de 50 rpm. As frequências foram menores para C2.

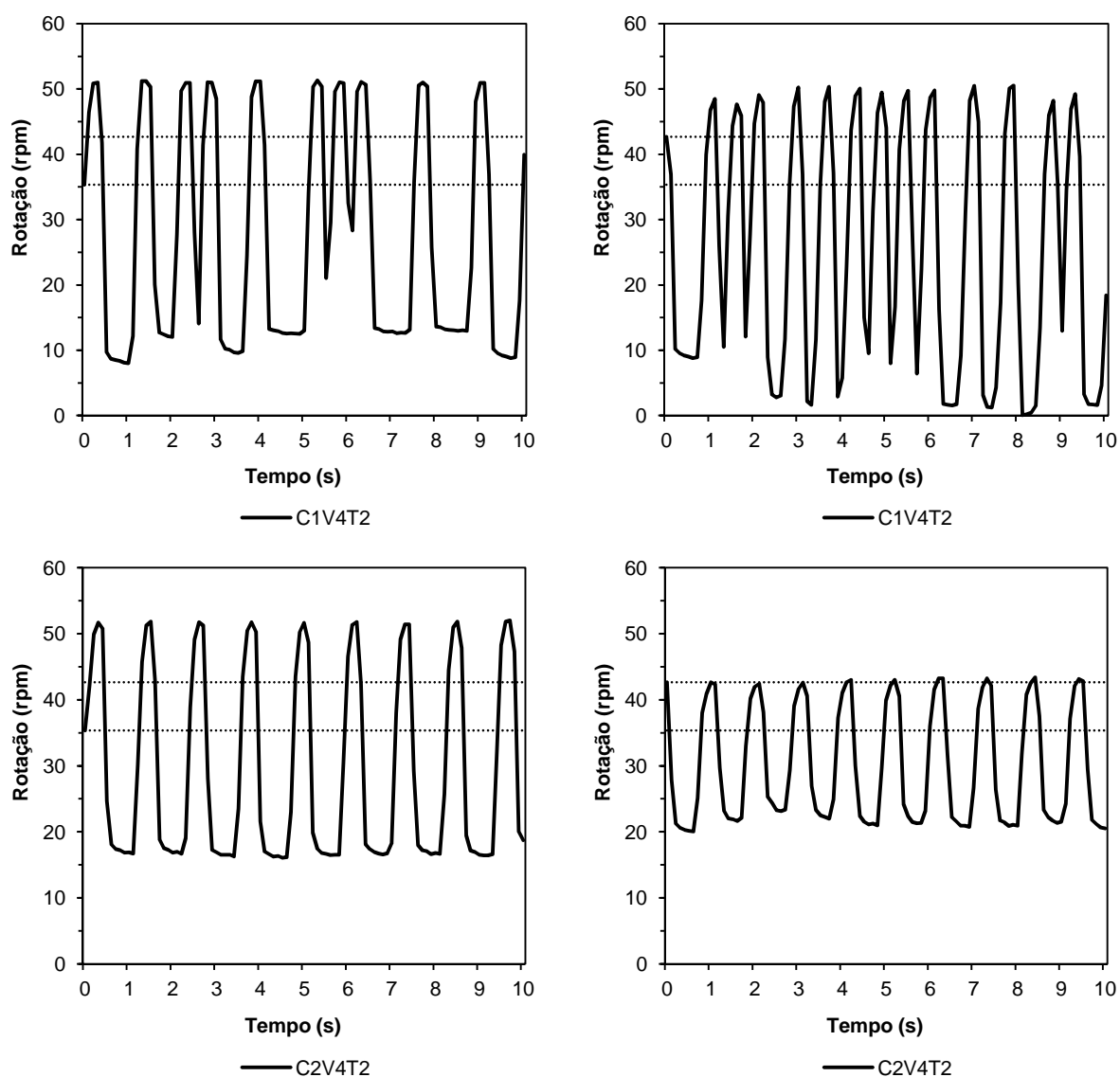


Figura 51 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T2 na velocidade  $10 \text{ km h}^{-1}$



Os T4, T5 e T6, para V4, foram demonstrados pelas unidades experimentais descritas na figura 52. As oscilações comprometeram novamente o desempenho, sendo que as maiores densidades atingiram os maiores picos. Há uma tendência de menores oscilações para as menores densidades. As fases decrescentes em todas as combinações foram efetivas no corte pleno da dosagem. A máquina apresenta potencial de estabilização na V4 na dosagem de 4 sementes  $m^{-1}$ .

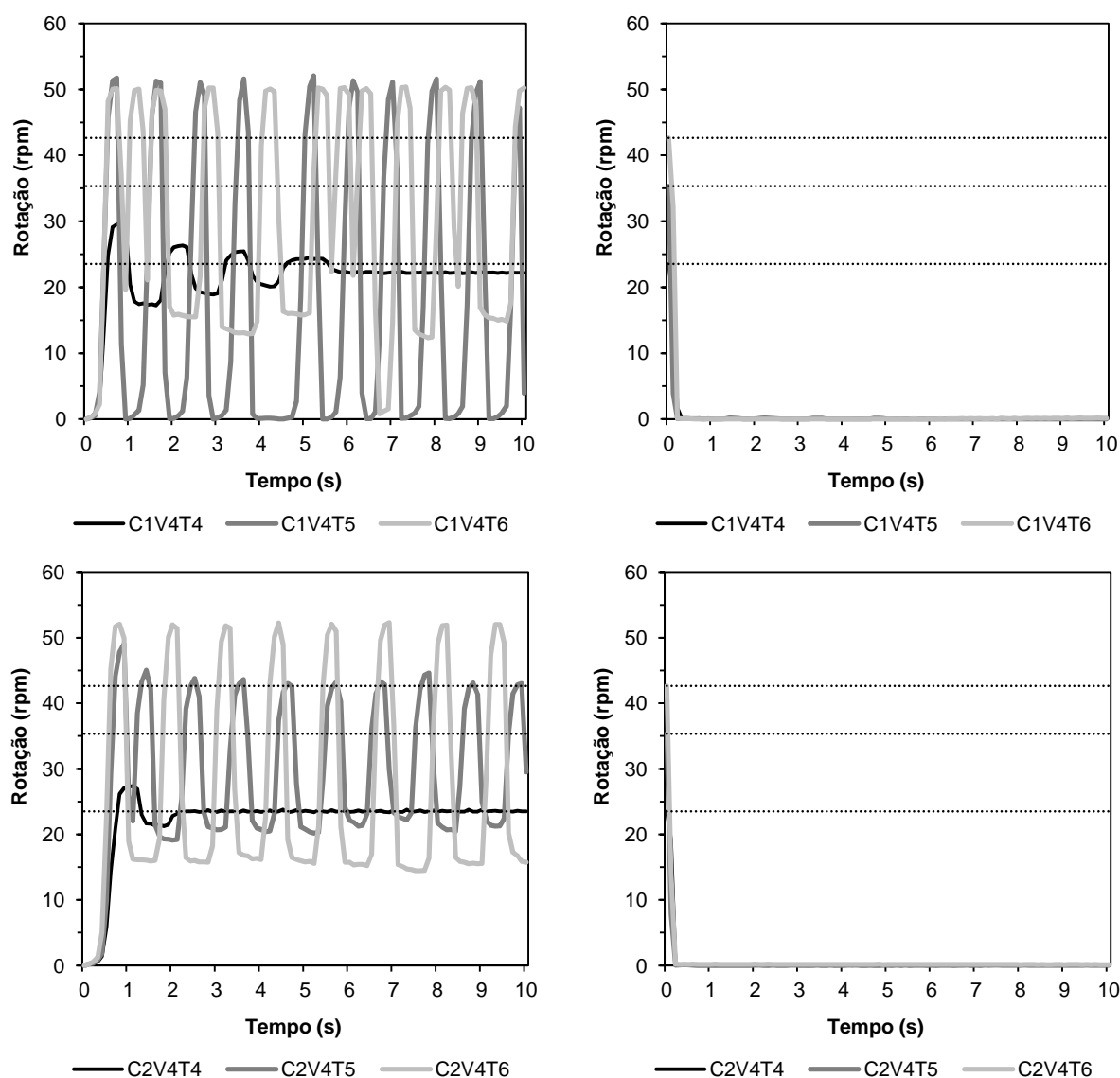


Figura 52 – Exemplos de rotações das fases crescentes (esquerda) e decrescentes (direita) das transições T4, T5 e T6 na velocidade 10  $km\ h^{-1}$

### 3.3.2. Avaliação indireta da acurácia e da distribuição longitudinal de sementes

O resumo da análise estatística para as variáveis da qualidade da distribuição longitudinal de sementes, nas fases crescente e decrescente do regime transitório, operando com dosador pneumático, foi disposto na tabela 42. As porcentagens dos espaçamentos entre sementes aceitáveis, múltiplos e falhos, apresentaram efeitos significativos, verificados pelo teste de Kruskal-Wallis, análogo ao teste F da análise da variância. As Comparações Múltiplas identificaram pares contrastantes de tratamentos apenas para aceitáveis e falhos, na fase crescente, e para aceitáveis, múltiplos e falhos, na fase decrescente.

A descrição da acurácia e das variáveis complementares rotação de referência, rotação e desvio padrão do acionamento, encontram-se na tabela 43.

Tabela 42 – Síntese da análise estatística da avaliação indireta da acurácia e qualidade da distribuição longitudinal de sementes

Parâmetros	ACU (%)	A (%)	M (%)	F (%)
Fase crescente				
Anderson-Darling (P-valor - %)	1,46179.10 <sup>-09</sup> <i>ns</i>	1,00.10 <sup>-28</sup> <i>ns</i>	1,00.10 <sup>-28</sup> <i>ns</i>	1,00.10 <sup>-28</sup> <i>ns</i>
Transformação Box-Cox (P-valor - %)	0,0819944 <i>ns</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Kruskal-Wallis (P-valor - %)	4,68516.10 <sup>-08</sup> <i>s</i>	7,06221.10 <sup>-14</sup> <i>s</i>	1,55772.10 <sup>-14</sup> <i>s</i>	6,86475.10 <sup>-14</sup> <i>s</i>
Pares diferenciados – Comparações Múltiplas	<i>ns</i>	<i>s</i>	<i>ns</i>	<i>s</i>
Fase decrescente				
Anderson-Darling (P-valor - %)	1,00.10 <sup>-28</sup> <i>ns</i>	1,00.10 <sup>-28</sup> <i>ns</i>	1,00.10 <sup>-28</sup> <i>ns</i>	1,00.10 <sup>-28</sup> <i>ns</i>
Transformação Box-Cox (P-valor - %)	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
Kruskal-Wallis (P-valor - %)	1,77788.10 <sup>-16</sup> <i>s</i>	1,91142.10 <sup>-05</sup> <i>s</i>	7,33111.10 <sup>-04</sup> <i>s</i>	3,19143.10 <sup>-06</sup> <i>s</i>
Pares diferenciados – Comparações Múltiplas	<i>ns</i>	<i>s</i>	<i>s</i>	<i>s</i>

Nota: Experimento trifatorial com aferição da rotação do dosador pneumático, em regime transitório nas fases crescente e decrescente. Variáveis: ACU: Acurácia; A: Porcentagem de espaçamentos entre sementes aceitáveis; M: Múltiplos e F: Falhos. *ns*: Não significativo. *s*: Significativo em nível de 95% de probabilidade. *na*: Não avaliável devido a ocorrerem unidades experimentais com valor nulo.

Tabela 43 – Rotação do dosador e acurácia da fase crescente do regime transitório

Tratamentos	ROT (rpm)	RR (rpm)	ACU (%)	dp ROT
C1V1T1	13,49	14,45	9,90	4,08
C1V1T2	16,51	17,59	8,66	4,36
C1V1T3	16,37	17,59	9,02	4,56
C1V1T4	8,70	9,99	12,80	3,35
C1V1T5	13,09	14,45	10,79	5,06
C1V1T6	15,84	17,59	12,25	5,98
C1V2T1	20,21	21,29	11,58	6,76
C1V2T2	23,19	25,82	20,78	9,71
C1V2T3	23,44	25,82	25,50	11,14
C1V2T4	13,21	14,11	9,29	4,92
C1V2T5	19,62	21,29	13,01	7,91
C1V2T6	22,02	25,82	25,49	10,90
C1V3T1	23,69	28,39	42,04	16,74
C1V3T2	16,51	34,35	59,13	19,59
C1V3T3	16,01	34,35	56,24	18,42
C1V3T4	17,78	18,84	9,46	6,81
C1V3T5	22,80	28,39	42,82	16,64
C1V3T6	16,38	34,35	57,65	19,24
C1V4T1	25,42	35,35	45,94	19,93
C1V4T2	28,89	42,66	41,06	21,11
C1V4T3	24,43	42,66	47,86	20,51
C1V4T4	21,75	23,53	15,66	9,03
C1V4T5	23,98	35,35	49,74	21,00
C1V4T6	28,52	42,66	39,29	20,19
C2V1T1	13,68	14,45	7,64	3,88
C2V1T2	16,68	17,59	8,73	4,65
C2V1T3	16,47	17,59	7,95	4,42
C2V1T4	8,36	9,99	13,91	3,39
C2V1T5	13,19	14,45	9,87	5,30
C2V1T6	15,95	17,59	11,06	6,44
C2V2T1	21,36	21,29	8,32	6,36
C2V2T2	25,70	25,82	9,15	7,32
C2V2T3	25,56	25,82	11,17	8,19
C2V2T4	13,71	14,11	7,72	5,49
C2V2T5	20,47	21,29	11,58	8,16
C2V2T6	24,77	25,82	10,98	9,51
C2V3T1	28,61	28,39	15,59	10,45
C2V3T2	33,60	34,35	16,96	11,95
C2V3T3	29,17	34,35	28,35	14,25
C2V3T4	18,54	18,84	11,30	7,45
C2V3T5	27,20	28,39	15,12	11,77
C2V3T6	29,93	34,35	27,19	14,93
C2V4T1	30,30	35,35	27,68	14,53
C2V4T2	36,41	42,66	19,45	12,90
C2V4T3	29,80	42,66	37,89	18,61
C2V4T4	22,68	23,53	9,83	8,51
C2V4T5	29,12	35,35	28,91	15,13
C2V4T6	28,08	42,66	39,51	18,45

Nota: Tratamentos: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>. Variáveis: ROT: Rotação média da UE; ACU: Acurácia.

Segundo a tabela 43, destaca-se que os menores erros na fase crescente estão representados por valores entre 7 e 9% de acurácia, para o período considerado de avaliação de 10 s, a partir do início do regime transitório. As combinações de tratamentos C1V1, C2V1 e C2V2, destacadas no experimento anterior, com tempos de acomodação de 2,24; 2,60 e 2,77 s, tiveram acurácias médias de 10,57; 9,86 e 9,82%, com desvios padrão da rotação de 4,56; 4,68 e 7,51, respectivamente. Quando a estabilidade foi mais expressiva, ocorreram menores diferenças entre os desvios padrão para cada uma das combinações dos tratamentos. As zonas onde os desvios padrão apresentam valores usuais e estáveis, se equivaleram àquelas destacadas no experimento anterior. Já naqueles tratamentos onde a acomodação não foi efetiva, cujos tempos de acomodação foram máximos, os desvios padrão elevaram-se para um intervalo entre 14 e 21 rpm.

Os dados demonstram ainda que, para as combinações C1V1, onde as trocas não apresentaram oscilações excessivas, não houve aumento significativo da acurácia. Entretanto, a máquina passou a apresentar oscilações na C1, especificamente para C1V2T3 e C1V2T6, onde esses distúrbios elevaram a acurácia para 25,50 e 25,49%, por envolver a maior densidade, que, de acordo com os gráficos anteriores, nesta velocidade apresentou oscilações excessivas.

É possível medir o impacto que este protótipo teria em uma lavoura de milho, pelo tempo de resposta avaliado de 10 s. Para a V2, o tempo de acomodação avaliado seria correspondente a 16,67 m de linhas de semeadura em que, ao invés de 7,2, ocorreriam somente 5,4 sementes  $m^{-1}$ . Uma conversão dos dados verifica que, ao invés da 90.000 sementes, estariam sendo dosadas 67.500 sementes  $ha^{-1}$ . Ainda somado a isso, é possível que as oscilações não permitam acomodação. Nesses casos todas as áreas da zona teriam 25% menos plantas.

A acurácia para a calibração C2 teve melhor desempenho e potencial de utilização, caso seja corrigida a calibração, tanto na V1 quanto V2. Em C2V2 a acurácia variou entre 8,32 e 11,58%, para tempos médios de 2,77 s.

Os resultados da acurácia e variáveis complementares, para a fase decrescente das trocas, encontram-se na tabela 44. O protótipo teve desempenho superior para os tratamentos T4, T5 e T6. Os dados demonstram que as fases decrescentes ocorreram mais rapidamente, corroborando os resultados dos experimentos de Cerri (2001) e Umezu (2003).

Tabela 44 – Rotação do dosador e acurácia da fase decrescente do regime transitório

Tratamentos	ROT (rpm)	RR (rpm)	ACU (%)	dp ROT
C1V1T1	8,61	9,99	14,03	0,95
C1V1T2	13,32	14,45	8,01	0,44
C1V1T3	8,64	9,99	13,57	0,91
C1V1T4	0,07	0,00	0,00	0,00
C1V1T5	0,09	0,00	0,00	0,00
C1V1T6	0,25	0,00	0,00	0,00
C1V2T1	13,23	14,11	7,22	0,69
C1V2T2	20,04	21,29	8,12	1,65
C1V2T3	13,04	14,11	8,13	1,08
C1V2T4	0,29	0,00	0,00	0,00
C1V2T5	0,16	0,00	0,00	0,00
C1V2T6	0,14	0,00	0,00	0,00
C1V3T1	17,79	18,84	10,15	2,60
C1V3T2	22,75	21,29	46,31	13,48
C1V3T3	16,36	18,84	19,13	5,73
C1V3T4	0,12	0,00	0,00	0,00
C1V3T5	0,17	0,00	0,00	0,00
C1V3T6	0,17	0,00	0,00	0,00
C1V4T1	21,64	23,53	15,78	4,69
C1V4T2	23,53	35,35	57,02	19,44
C1V4T3	21,15	23,53	17,39	5,60
C1V4T4	0,23	0,00	0,00	0,00
C1V4T5	0,18	0,00	0,00	0,00
C1V4T6	0,19	0,00	0,00	0,00
C2V1T1	8,87	9,99	12,01	0,67
C2V1T2	13,34	14,45	7,74	0,51
C2V1T3	8,73	9,99	14,12	0,95
C2V1T4	0,05	0,00	0,00	0,00
C2V1T5	0,14	0,00	0,00	0,00
C2V1T6	0,07	0,00	0,00	0,00
C2V2T1	13,81	14,11	3,83	0,62
C2V2T2	21,45	21,29	4,56	1,50
C2V2T3	13,96	14,11	3,80	0,77
C2V2T4	0,10	0,00	0,00	0,00
C2V2T5	0,16	0,00	0,00	0,00
C2V2T6	0,25	0,00	0,00	0,00
C2V3T1	18,84	18,84	6,20	1,71
C2V3T2	28,85	21,29	6,42	2,16
C2V3T3	19,02	18,84	6,57	2,26
C2V3T4	0,12	0,00	0,00	0,00
C2V3T5	0,16	0,00	0,00	0,00
C2V3T6	0,09	0,00	0,00	0,00
C2V4T1	23,13	23,53	3,24	0,79
C2V4T2	29,75	35,35	28,95	9,82
C2V4T3	22,55	23,53	7,26	2,89
C2V4T4	0,22	0,00	0,00	0,00
C2V4T5	0,13	0,00	0,00	0,00
C2V4T6	0,24	0,00	0,00	0,00

Nota: Tratamentos: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>. Variáveis: ROT: Rotação média da UE; ACU: Acurácia.

A tabela 44, não considerou valores significativos para T4, T5 e T6 (trocas envolvendo prescrição nula), atribuindo-se valor zero para a acurácia. A dosagem foi corretamente suprimida para os trechos com dose nula. O comportamento da máquina, quanto à supressão da dosagem, demonstrou ser efetivo para todas as velocidades e densidades testadas, evitando impactos nas bordaduras ou áreas de isolamento. A acurácia média foi 6,82%, desempenho superior à fase crescente, para a qual foi aferida média de 22,33%. Os desvios reduziram-se de 10,83 para 1,71 rpm, em média. O desempenho superior pode ter sido influenciado por menores tempos de acomodação, o que reduziu as oscilações e, portanto, os impactos na acurácia, durante o tempo de avaliação.

Pode-se ainda verificar que as combinações em que a acurácia aumentou expressivamente, foram diferenciadas entre as calibrações. Nos tratamentos C1V3T2, C1V3T3, C1V4T2, C1V4T3, C2V3T2, C2V3T3, C2V4T2, C2V4T3 a acurácia elevou-se para valores entre 17,39 e 57,02%, correspondendo a unidades experimentais com instabilidade, pelos gráficos anteriormente descritos. A C2 demonstrou melhores valores, pois com esta calibração a dosagem apenas degradou-se na V4 com a T2. A T3 impactou em desempenhos inferiores para todas as combinações de velocidades, o que pode ser devido a maior amplitude de troca, ao comandar redução da dosagem de 7,2 para 4 sementes  $m^{-1}$ .

As avaliações da qualidade da distribuição longitudinal de sementes foram demonstradas na tabela 45. As variáveis preditas, para a fase crescente, apresentaram aceitáveis com média 81,27%. O método de predição teve correlação com a acurácia, pois para as combinações C1V1, C2V1, C2V2, que obtiveram de 80,15 a 100,00% de aceitáveis, haviam demonstrado acomodação efetiva, nos gráficos discutidos nos resultados do experimento anterior, dos tempos de resposta. Para essas combinações, os tratamentos T3 e T6, apresentaram redução da variável, para 74,87 a 79,78%. As condições em que os aceitáveis mantiveram-se nos melhores níveis, são compatíveis aos resultados em torno de 95%, de Hörbe et al. (2013). Para as combinações C1V1, C2V1 e C2V2, os potenciais de desempenho superam os valores mínimos estabelecidos por Coelho (1996) e também os resultados do experimento de Mahl et al. (2004). A qualificação de desempenho é de nível ótimo, segundo Tourino e Klingensteiner (1983).

O ranking do teste de médias, dos aceitáveis na fase crescente do regime transitório foi exposto na tabela 46.

Tabela 45 – Densidade de semeadura, aceitáveis, múltiplos e falhos da fase crescente do regime transitório

Tratamentos	DS (sementes m <sup>-1</sup> )	A (%)	M (%)	F (%)
C1V1T1	5,55	95,65	0,00	4,35
C1V1T2	6,82	80,15	0,00	19,85
C1V1T3	6,76	79,05	0,00	20,95
C1V1T4	3,51	97,26	0,00	2,74
C1V1T5	5,38	93,95	0,00	6,05
C1V1T6	6,54	74,87	0,00	25,13
C1V2T1	5,69	98,89	0,00	1,11
C1V2T2	6,55	92,93	0,00	7,07
C1V2T3	6,62	94,32	0,00	5,68
C1V2T4	3,69	96,34	0,00	3,66
C1V2T5	5,53	95,84	0,00	4,16
C1V2T6	6,21	90,08	0,00	9,92
C1V3T1	5,05	84,81	0,36	14,83
C1V3T2	3,50	20,39	0,22	79,39
C1V3T3	3,39	17,30	0,18	82,52
C1V3T4	3,78	88,42	0,00	11,58
C1V3T5	4,86	80,40	0,51	19,09
C1V3T6	3,47	18,97	0,22	80,82
C1V4T1	3,32	62,51	0,44	37,05
C1V4T2	3,49	57,20	0,38	42,42
C1V4T3	3,38	32,78	0,40	66,82
C1V4T4	3,26	93,59	1,27	5,13
C1V4T5	3,30	55,05	0,52	44,43
C1V4T6	3,56	55,41	0,41	44,18
C2V1T1	5,63	96,36	0,00	3,64
C2V1T2	6,89	81,37	0,00	18,63
C2V1T3	6,81	79,78	0,00	20,22
C2V1T4	3,37	94,45	0,00	5,55
C2V1T5	5,42	94,42	0,00	5,58
C2V1T6	6,59	75,80	0,00	24,20
C2V2T1	6,02	100,00	0,00	0,00
C2V2T2	7,26	100,00	0,00	0,00
C2V2T3	7,22	100,00	0,00	0,00
C2V2T4	3,83	98,36	0,00	1,64
C2V2T5	5,77	99,65	0,00	0,35
C2V2T6	6,99	75,34	0,00	24,66
C2V3T1	6,10	100,00	0,00	0,00
C2V3T2	7,16	99,44	0,00	0,56
C2V3T3	6,22	91,57	0,15	8,28
C2V3T4	3,94	93,93	0,00	6,07
C2V3T5	5,80	99,25	0,00	0,75
C2V3T6	6,38	94,23	0,09	5,68
C2V4T1	3,55	88,48	0,43	11,09
C2V4T2	2,63	84,54	0,17	15,30
C2V4T3	3,56	63,32	0,38	36,30
C2V4T4	3,35	98,09	0,85	1,06
C2V4T5	3,57	83,38	0,51	16,11
C2V4T6	3,57	52,66	0,43	46,91

Nota: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>. Variáveis: DS: Densidade de semeadura; A: Aceitáveis; M: Múltiplos e F: Falhos.

Tabela 46 – Teste de médias dos aceitáveis da fase crescente do regime transitório

Tratamentos	A (%)
C2V2T3	100,00 a
C2V3T1	100,00 a
C2V2T1	100,00 a
C2V2T2	100,00 a
C2V2T5	99,65 ab
C2V3T2	99,44 ab
C2V3T5	99,25 abc
C1V2T1	98,89 abc
C2V2T4	98,36 abc
C2V4T4	98,09 abc
C1V1T4	97,26 abc
C2V1T1	96,36 abc
C1V2T4	96,34 abc
C1V2T5	95,84 abc
C1V1T1	95,65 abc
C2V1T4	94,45 abc
C2V1T5	94,42 abc
C1V2T3	94,32 abc
C2V3T6	94,23 abc
C1V1T5	93,95 abc
C2V3T4	93,93 abc
C1V4T4	93,59 abc
C1V2T2	92,93 abc
C2V3T3	91,57 abc
C1V2T6	90,08 abc
C2V4T1	88,48 abc
C1V3T4	88,42 abc
C1V3T1	84,81 abc
C2V4T2	84,54 abc
C2V4T5	83,38 abc
C2V1T2	81,37 abc
C1V3T5	80,40 abc
C1V1T2	80,15 abc
C2V1T3	79,78 abc
C1V1T3	79,05 abc
C2V1T6	75,80 abc
C2V2T6	75,34 abc
C1V1T6	74,87 abc
C2V4T3	63,32 abc
C1V4T1	62,51 abc
C1V4T2	57,20 abc
C1V4T6	55,41 abc
C1V4T5	55,05 abc
C2V4T6	52,66 abc
C1V4T3	32,78 bc
C1V3T2	20,39 c
C1V3T6	18,97 c
C1V3T3	17,53 c

Nota: Experimento com predição dos aceitáveis a partir da rotação média. C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>. A: Aceitáveis.



Ao verificar a tabela 46 percebe-se diferentes comportamentos dos aceitáveis em função da velocidade, calibração e troca de dosagem da fase crescente. Para a C2, principalmente na V2, ocorreram os melhores desempenhos, e as diferenças encontradas foram em relação às V3 e V4. A disposição dos tratamentos no ranking, demonstrou efeitos dos tratamentos e suas interações. O grupo de valores do ranking dos aceitáveis com 100% diferiu daqueles na ordem de 17,53 a 32,78%. Dentre as 48 combinações de tratamento, para 25 das mesmas foram aferidos valores maiores de 90%, com qualificação de nível ótimo, conforme Tourino e Klingensteiner (1983). Entre o 25ª e 33ª posições do ranking, o desempenho ainda manteve-se como bom, caindo para regular, com exceção dos 4 últimos tratamentos, com desempenho insuficiente. Os tratamentos T3 e T6, que se destacaram na redução qualitativa da dosagem, conforme descrito anteriormente com distúrbios atribuídos às maiores amplitudes de troca de dose, se concentraram na parte final do ranking, com menos de 80% de espaçamentos aceitáveis.

O teste de médias para os falhos na fase crescente foi demonstrado na tabela 47. Os falhos apresentaram média de 18,57, e máximo de 82,52%. Tendo em vista a baixa proporção de múltiplos, mantiveram-se em 10%, para aqueles casos onde o desempenho foi ótimo. Os contrastes ocorreram em função dos menores valores, em relação aos finais do ranking, atingindo 70% ou mais em falhos.

A descrição da fase decrescente do regime transitório, quanto à densidade de semeadura e às porcentagens de aceitáveis, falhos e múltiplos, foi disposta na tabela 48. Nestas avaliações, foram observados menores impactos do fenômeno de pulsação, sendo que a distribuição de sementes apresentou maior qualidade. As combinações C2V2, foram os agrupamentos entre tratamentos que tiveram melhor desempenho na fase decrescente, com aceitáveis de 98,68 a 100%. Essa condição demonstrou a superioridade da calibração otimizada em relação a padrão, afirmativa que é corroborada pelos gráficos demonstrativos da rotação do experimento descritos no item 3.3.1., que demonstram que as curvas dos tratamentos decrescentes T1, T2 e T3, obtiveram as maiores proximidades das linhas de referência, dentre as condições estudadas. A C2V2 representou as condições operacionais mais desejáveis para a operação de semeadura à TV, o que também lhe proporcionou os melhores valores de acurácia.

Tabela 47 – Teste de médias dos falhos da fase crescente do regime transitório

Tratamentos	F (%)
C2V2T1	0,00 a
C2V2T2	0,00 a
C2V2T3	0,00 a
C2V3T1	0,00 a
C2V2T5	0,35 ab
C2V3T2	0,56 abc
C2V3T5	0,75 abcd
C2V4T4	1,06 abcd
C1V2T1	1,11 abcd
C2V2T4	1,64 abcd
C1V1T4	2,74 abcd
C2V1T1	3,64 abcd
C1V2T4	3,66 abcd
C1V2T5	4,16 abcd
C1V1T1	4,35 abcd
C1V4T4	5,13 abcd
C2V1T4	5,55 abcd
C2V1T5	5,58 abcd
C1V2T3	5,68 abcd
C2V3T6	5,68 abcd
C1V1T5	6,05 abcd
C1V2T2	6,07 abcd
C2V3T3	7,07 abcd
C1V2T6	8,28 abcd
C2V4T1	9,92 abcd
C1V3T4	11,09 abcd
C1V3T1	11,58 abcd
C2V4T2	14,83 abcd
C2V4T5	15,30 abcd
C2V1T2	16,11 abcd
C1V3T5	18,63 abcd
C1V1T2	19,09 abcd
C2V1T3	19,85 abcd
C1V1T3	20,22 abcd
C2V1T6	20,95 abcd
C2V2T6	24,20 abcd
C1V1T6	24,66 abcd
C2V4T3	25,13 abcd
C1V4T1	36,30 abcd
C1V4T2	37,05 abcd
C1V4T6	42,42 abcd
C1V4T5	44,18 abcd
C2V3T4	44,43 abcd
C2V4T6	46,91 abcd
C1V4T3	66,82 bcd
C1V3T2	79,39 cd
C1V3T6	80,82 d
C1V3T3	82,52 d

Nota: Variável estimada pela porcentagem total, subtraída dos aceitáveis e múltiplos. C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>. F: Falhos.

Tabela 48 – Densidade de semeadura, aceitáveis, múltiplos e falhos da fase decrescente do regime transitório

Tratamentos	DS (sementes m <sup>-1</sup> )	A (%)	M (%)	F (%)
C1V1T1	3,47	96,05	1,09	2,86
C1V1T2	5,48	94,94	0,00	5,06
C1V1T3	3,48	97,04	2,44	0,52
C1V2T1	3,70	96,48	0,77	2,76
C1V2T2	5,65	97,95	0,30	1,75
C1V2T3	3,64	95,56	0,44	4,00
C1V3T1	3,78	88,53	0,79	10,68
C1V3T2	4,85	80,53	0,49	18,98
C1V3T3	3,47	76,58	0,21	23,20
C1V4T1	3,26	93,31	0,61	6,08
C1V4T2	3,31	53,65	0,38	45,97
C1V4T3	3,21	90,81	0,38	8,81
C2V1T1	3,58	97,90	0,68	1,42
C2V1T2	5,49	95,05	0,00	4,95
C2V1T3	3,52	97,65	2,35	0,00
C2V2T1	3,86	98,68	0,55	0,76
C2V2T2	6,05	100,00	0,00	0,00
C2V2T3	3,90	99,16	0,45	0,39
C2V3T1	4,01	95,89	0,84	3,27
C2V3T2	6,15	100,00	0,00	0,00
C2V3T3	4,05	96,99	0,31	2,71
C2V4T1	3,38	99,68	0,21	0,11
C2V4T2	3,56	86,11	0,38	13,51
C2V4T3	3,33	97,38	0,32	2,31

Nota: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>. Variáveis: DS: Densidade de semeadura; A: Aceitáveis; M: Múltiplos e F: Falhos.

Segundo a tabela 48, destaca-se ainda que os múltiplos e falhos, para as melhores combinações, foram de até 2,86%. Quando ocorreu deterioração da qualidade, foi devido ao aumento de falhos, corroborando as verificações realizadas na fase crescente.

Os testes de médias para as porcentagens de espaçamentos entre sementes aceitáveis na fase decrescente das transições, preditos a partir da rotação média das unidades experimentais, estão descritos nas tabelas 49.

Tabela 49 – Teste de médias dos aceitáveis da fase decrescente do regime transitório

Tratamentos	A ( %)
C2V2T2	100,00 a
C2V3T2	100,00 a
C2V4T1	99,68 ab
C2V2T3	99,16 abc
C2V2T1	98,68 abc
C1V2T2	97,95 abc
C2V1T1	97,90 abc
C2V1T3	97,65 abc
C2V4T3	97,38 abc
C1V1T3	97,04 abc
C2V3T3	96,99 abc
C1V2T1	96,48 abc
C1V1T1	96,05 abc
C2V3T1	95,89 abc
C1V2T3	95,56 abc
C2V1T2	95,05 abc
C1V1T2	94,94 abc
C1V4T1	93,31 abc
C1V4T3	90,81 abc
C1V3T1	88,53 abc
C2V4T2	86,11 abc
C1V3T2	80,53 bc
C1V3T3	76,58 bc
C1V4T2	53,65 c

Nota: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>. A: Aceitáveis.

A tabela 49 demonstrou que as maiores velocidades reduziram os aceitáveis, confirmando os efeitos significativos identificados para os tratamentos. Os maiores valores corresponderam à transição T2, nas velocidades V2 e V3 e com calibração C2. O efeito da calibração pode ser verificado na V3T2, combinação na qual o uso da C1 apresentou 80,53% de aceitáveis, contra 100% preditos para a C2. Na fase decrescente, os menores valores de rotação final da transição colaboraram no desempenho, tendo em vista os gráficos do item 3.3.1., terem demonstrado que o protótipo, nas maiores dosagens, combinadas com o aumento da velocidade e calibração, aumentaram as oscilações.

Pelos aceitáveis, o desempenho supera o referencial de Hörbe et al. (2013), com velocidade  $5 \text{ km h}^{-1}$ , intermediária as deste experimento. Os cinco últimos valores do ranking tiveram nível bom, conforme Tourino e Klingensteiner (1983).

Os contrastes entre os espaçamentos múltiplos, preditos na avaliação do regime transitório na fase decrescente, foram apresentados na tabela 50. Os múltiplos se concentraram em menos de 0,50% em mais da metade dos tratamentos. Os valores máximos foram de 2,35 e 2,44%.

Tabela 50 – Teste de médias dos múltiplos da fase decrescente do regime transitório

Tratamentos	M (%)
C1V1T2	0,00 a
C2V1T2	0,00 a
C2V2T2	0,00 a
C2V3T2	0,00 a
C2V4T1	0,21 ab
C1V3T3	0,21 ab
C1V2T2	0,30 ab
C2V3T3	0,31 ab
C2V4T3	0,32 ab
C1V4T2	0,38 ab
C2V4T2	0,38 ab
C1V4T3	0,38 ab
C1V2T3	0,44 ab
C2V2T3	0,45 ab
C1V3T2	0,49 ab
C2V2T1	0,55 ab
C1V4T1	0,61 ab
C2V1T1	0,68 ab
C1V2T1	0,77 ab
C1V3T1	0,79 ab
C2V3T1	0,84 ab
C1V1T1	1,09 ab
C2V1T3	2,35 ab
C1V1T3	2,44 b

Nota: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e  $10 \text{ km h}^{-1}$ ; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes  $\text{m}^{-1}$ . M: Múltiplos.

O teste de médias das porcentagens de falhos estimadas foi disposto na tabela 51. Devido às oscilações provocadas por determinadas combinações de tratamentos, a rotação média aferida durante o período de avaliação foi reduzida. Isso fez com que aumentasse a participação dos falhos nesses casos.

Tabela 51 – Teste de médias dos falhos da fase decrescente do regime transitório

Tratamentos	F( %)
C2V1T3	0,00 a
C2V2T2	0,00 a
C2V3T2	0,00 a
C2V4T1	0,11 ab
C2V2T3	0,39 abc
C1V1T3	0,52 abc
C2V2T1	0,76 abc
C2V1T1	1,42 abc
C1V2T2	1,75 abc
C2V4T3	2,31 abc
C2V3T3	2,71 abc
C1V2T1	2,76 abc
C1V1T1	2,86 abc
C2V3T1	3,27 abc
C1V2T3	4,00 abc
C2V1T2	4,95 abc
C1V1T2	5,06 abc
C1V4T1	6,08 abc
C1V4T3	8,81 abc
C1V3T1	10,68 abc
C2V4T2	13,51 abc
C1V3T2	18,98 abc
C1V3T3	23,20 bc
C1V4T2	45,97 c

Nota: C1 e C2: Calibrações padrão e otimizada; V1, V2, V3 e V4: Velocidades simuladas de 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>; T1, T2, T3, T4, T5 e T6: Trocas de dosagem 4-6-4, 6-7,2-6, 4-7,2-4, 0-4-0, 0-6-0 e 0-7,2-0 sementes m<sup>-1</sup>. F: Falhos.

Uma síntese geral da avaliação da distribuição longitudinal de sementes durante o regime transitório, demonstra que as transições, ao ocorrerem por tempos demasiadamente excessivos, acabaram por comprometer o trecho de avaliação

aferido. A qualidade de distribuição de sementes durante o regime transitório ainda não está referenciada na literatura, mas os dados apresentados permitiram comprovar que os mesmos podem comprometer a qualidade da operação.

Embora o regime transitório tenha sido estudado para outros equipamentos, na maioria dos estudos os objetivos têm tido foco nos tempos, não considerando os impactos na acurácia e qualidade da operação, ao longo de cada etapa das transições. Neste experimento, os impactos qualitativos foram expressivos ao longo do regime transitório, comprovando-se que aumentam a acurácia e reduzem os aceitáveis. Nesse caso, em sendo os distúrbios da rotação maiores em vales que picos, ocorreu predominância dos falhos, do que de múltiplos. Os efeitos do regime transitório incluíram casos onde os aceitáveis foram avaliados em menos de 20%.

Sendo que as rotações mais baixas participam de seções das curvas dos modelos afastadas das zonas de maximização dos aceitáveis do dosador pneumático, pode-se inferir que o decréscimo de qualidade não é atribuído ao dosador, e sim ao sistema de controle. Em contrapartida, quando atingida proximidade efetiva das rotações metas, e o sistema de controle operou de forma estável, as predições atingiram os patamares superiores do modelo, com qualidade da máquina operando na semeadura à TV, superior aos referenciais.





## CONCLUSÃO

O sistema de controle que equipa o protótipo foi inadequado para operar na semeadura à TV, para os valores máximos da acurácia e dos tempos de resposta estipulados, quando analisado o conjunto de todas as condições testadas. As deficiências estão relacionadas com os valores determinados pelas rotinas de calibrações e com a instabilidade do sistema, com impactos para os regimes estacionário e transitório. As avaliações permitiram aceitar as hipóteses alternativas descritas, identificando efeitos significativos dos tratamentos.

Quanto ao desempenho do protótipo da semeadora à TV, de acordo com os experimentos de avaliação, pode-se concluir que:

No regime estacionário, a avaliação direta em esteira com dosador pneumático, verificou que as calibrações, velocidades e densidades de semeadura, afetaram a acurácia e a qualidade da distribuição de sementes. A acurácia ultrapassou o valor máximo de 3%, entretanto, para C1V1, C1V2, C2V1, C2V2, as dosagens testadas apresentaram estabilidade em relação às metas. Para estas combinações, a acurácia esteve em torno de 11%, e as retas da correlação das dosagens apresentaram-se paralelas às metas. A qualidade da distribuição de sementes, para estes casos, foi superior aos referenciais de outros experimentos, pois os desvios quantitativos medidos pela acurácia, não incidiram em redução dos aceitáveis. O destacado potencial do dosador, identificado pelo experimento preliminar de modelagem, foi explorado adequadamente pelo sistema de controle, nos tratamentos sem distorções na rotação de acionamento. Isso fez com que a qualidade da distribuição de sementes, nestes casos, superasse os referenciais da literatura, do dosador pneumático operando na cultura do milho.

A avaliação do regime estacionário com sensor, com utilização do dosador de discos alveolados, demonstrou efeitos significativos das velocidades operacionais e zonas de prescrição, sendo que a acurácia da operação ultrapassou o valor máximo de 3%. O método com monitoramento da rotação permitiu avaliar a acomodação, diferenciando os acionamentos estáveis daqueles com oscilações excessivas. Condições operacionais adequadas quanto à estabilidade da rotação, foram aferidas em todas as densidades da V1, bem como em V2D1, V2D2 e V2D3, resultando em

acurácias desde 5,73 a 10,34%. Os aceitáveis para estes casos foram em torno de 95%, demonstrando que o sistema foi capaz de operar com o potencial pleno do dosador de discos alveolados, aferido durante o experimento preliminar de modelagem e de seleção das sementes. A qualidade de distribuição obtida nesses casos foi compatível com os referenciais do dosador operando na cultura do milho.

No regime transitório, os tempos de resposta foram mais rápidos na fase decrescente, o que foi devido às menores rotações nas etapas finais dos degraus testados. As velocidades, dosagens das transições e calibrações testadas, apresentaram efeitos significativos no acionamento do dosador. Os tempos de acomodação foram superiores ao valor máximo de um segundo. Entretanto, o protótipo obteve tempos de atraso e de transição mais rápidos que valores referenciais de outras máquinas. Apesar de conseguir alterar rapidamente a dosagem, ocorreram deficiências durante a estabilização, comprometendo o tempo de acomodação por oscilações excessivas, que ocorreram nos tratamentos em que a rotação atingia mais de 25 rpm. As combinações C1V1, C2V1 e C2V2 apresentaram estabilização adequada para os casos onde a rotação não atingia este limite, com tempos de acomodação médios na fase crescente de 2,24; 2,60 e 2,77 s, respectivamente. Nas mesmas condições, a máquina foi capaz de suprimir a dosagem em 0,33 s, caracterizando menores tempos que os referenciais.

A qualidade de distribuição longitudinal de sementes e a acurácia foram afetadas pelos tratamentos da avaliação em regime transitório. As velocidades, calibrações e densidades de semeadura afetaram a acurácia, aceitáveis, múltiplos e falhos, durante o período avaliado a partir do regime transitório. A acurácia esteve entre 9 a 12%, nas combinações C1V1, C2V1 e C2V2, da fase crescente. Nesses casos, os espaçamentos aceitáveis foram superiores a 98%. Nos casos onde as transições foram mais rápidas, a qualidade da distribuição não foi comprometida durante o tempo de avaliação. Os falhos apresentaram maiores proporções que os múltiplos, pois as oscilações foram maiores em vales do que picos, aumentando os espaçamentos entre as sementes. O regime transitório foi expressivo na redução do desempenho da máquina, devendo ser mais atentamente avaliado em experimentos futuros.

Os experimentos realizados de forma indireta demonstraram viabilidade técnica, para experimentação com semeadoras-adubadoras à TV, com aspectos positivos destacados. Houve consistência nos dados, e correspondência com as

avaliações em esteira, com menores custos e maior rapidez na coleta e processamento dos dados.

De uma forma geral, os experimentos indicam que o protótipo, embora excedendo os limites de acurácia e tempos, tem condições operacionais que merecem destaque nas velocidades 4 e 6 km h<sup>-1</sup>. As mesmas dizem respeito à operação com dosagens estáveis, que permitiram trocas entre grupos de densidade sem oscilações excessivas. Caso corrigido o projeto, e o desempenho seja compatível com estas condições, sendo corrigida a proporção de acionamento, esta semeadora à TV na cultura do milho poderia operar com acurácia abaixo de 3%, e com tempos de acomodação entre 0,3 e 3 s.



## RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Organizar os modelos de densidade de semeadura, alterando a entrada rotação para frequência, visando utilização em novos experimentos na BEDOSA;
- Comparar os resultados dos modelos, para utilização com outras classificações das sementes, identificando diferenças, e, se sistemáticas, propondo um fator de correção;
- Montar previsões ao calcular as frequências para novos experimentos na BEDOSA. As mesmas poderão auxiliar para que novos experimentos tenham tratamentos melhor ajustados entre si. Atualmente alguns casos podem ter variações indesejadas na densidade de semeadura;
- Continuar os testes iniciados pelos bolsistas sobre modelagem a partir de contagem de sementes, ao invés de aferição de espaçamentos;
- Com o protótipo, testar novas calibrações que possivelmente poderão reduzir o erro quantitativo, para todos os experimentos;
- Realizar os experimentos 3 e 4 para o dosador de discos alveolados;
- Aplicar avaliações indiretas para o regime estacionário, com espaçamento reduzido para a cultura do milho;
- Realizar experimentos para avaliação da TV para a cultura da soja;
- Realizar estudos sobre a efetividade de mapas de rastreabilidade, comparados aos dados dos experimentos;
- Caso for realizar a montagem de motor elétrico na base de acionamento que simula a TDP, adquirir também fonte de potência 12V com capacidade adequada para o motor do trocador de calor do sistema hidráulico do protótipo. Nesse caso, adaptar a alimentação do sistema de controle nessa fonte.



## **RECOMENDAÇÕES PARA O FABRICANTE**

- Realizar correções no projeto visando os potenciais positivos, corrigindo a acurácia;
- Corrigir as calibrações;
- Corrigir as oscilações da rotação;
- Mediante correções e novos testes, definir condições operacionais limites para a semeadora à TV;
- Definir condições limites para outros espaçamentos e outras culturas, principalmente para a cultura da soja.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 04: 015.06-004: Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1994. 7p.

AENOR. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, **UNE 68-081-88 - Maquinaria para siembra – sembradoras monograno: métodos de ensayo.** Madrid, 1988. 18p.

ALONÇO, A. dos S. SILVEIRA, H. A. T. da; ZOTTIS, J.; BEDIN, P. R.; DIAS, V. de O. Projeto de uma bancada para ensaios de dosadores pneumáticos de sementes: fase informacional e conceitual. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 39, 2010, Vitória. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2010, 1 CD-ROM.

AMADO, T. J. C.; SCHOSSLER D.; ALBA, P. **Evolucion de la Agricultura de Precisión en Brazil:** Descripción de la AP en el Mato Grosso respecto a Rio Grande do Sul. In: 10° Curso de Agricultura de Precisión y 5° Expo de Máquinas Precisas. Manfredi, 2011.

ANDRADE-SANCHEZ, P.; HEUN, J. Understanding technical terms and acronyms used in Precision Agriculture. Arizona Cooperative Extension, Tucson, n. AZ1534, 2010. Disponível em: <<http://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/146427>>. Acesso em 05 mar. 2012.

ANTUNIASSI, U. R.; MILLER, P.; PAICE, M. Performance evaluation of injection metering systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 159-165, jan./abr. 2002.

AQUARIUS. **Projeto Aquarius de Agricultura de Precisão.** Santa Maria, 2012. Disponível em <<http://w3.ufsm.br/projetoaquarius/>>. Acesso em 20 out. 2012.

ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASAE S341.3. **Procedure for measuring distribution uniformity and calibrating granular broadcast spreaders.** St. Joseph, 2004. 5 p.

ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. Standardization procedures. Disponível em <<http://www.asabe.org/media/52623/projects.pdf>>, acesso em 19 mar. 2012.

ASSIS, J. P. de; NETO, K. D.; REICHARDT, K.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; BONNECARRÈRE, R. A. G. Dados climáticos simulados e produtividade potencial do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 731-737, maio 2006.

AUERNHAMMER, H. Precision Farming - the environmental challenge. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 30, p. 31-43, 2001.

BALASTREIRE, L. A. Máquinas Agrícolas. Piracicaba: 2005. (impressão do autor).

BELMONTE, R. V. Mais precisão na agricultura. In: Revista Campo Aberto, n. 70, 2002.

BERNARDI, A. C. de C.; GIMENEZ, L. M.; MACHADO, P. L. O. de A; SILVA, C. A. Aplicação de fertilizantes a taxas variáveis. In: MACHADO, P. L. O. de A. et al. **Agricultura de Precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

BRAGACHINI, M.; MARTINI, A. V.; MÉNDEZ, A. Tecnologia de aplicación variable de insumos. In: PROYECTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN INTA MANFREDI, 2000.

BRAGACHINI, M.; BONGIOVANI, R.; MÉNDEZ, A.; SCARAMUZZA, F. Fertilización y densidad de siembra variable. In: PROYECTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN INTA MANFREDI, 2012.

BULLOCK, D. G.; BULLOCK, D. S.; NAFZIGER, E. D.; DOERGE, T. A.; PASZKIEWICZ, S. R.; CARTER, P. R.; PETERSON, T. A. Does variable rate seeding of corn pay? **Agronomy Journal**, v. 90, p. 830-836, 1998.

CERRI, D. G. P. **Desenvolvimento de um sistema de aplicação localizada de calcário a taxas variáveis**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

COELHO, J. L. D. Ensaio & certificação das máquinas para a semeadura. In MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio & Certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p. 551-569.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries Históricas: milho**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>> acesso em 28 out. 2012.

CRUVINEL, P. E.; TORRE-NETO, A. **Agricultura de Precisão: fundamentos, aplicações e perspectivas para a cultura do arroz**. Comunicado Técnico n. 30. Embrapa CNPDIA, 1999.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; GARCIA, J. C.; DUARTE, J. de O. Cultivo do milho. In: CRUZ, J. C. (Org.). **Sistemas de produção: milho**. Sete Lagoas: Embrapa milho e sorgo, 2011.

CUGATI, S. A.; MILLER, W. M.; SCHUELLER, J. K.; SCHUMANN, A. W.; BUCHANON, S. M.; HOSTLER, H. K. Benchmarking the dynamic performance of two commercial variable-rate controllers and components. **Transactions of ASAE**. St. Joseph, V. 50, n. 3, p. 795-802, 2007.

DELAFOSSÉ, R. M. **Máquinas semeadoras de grano grueso**. Santiago: FAO, 1986. 48 p.

DIAS, V. de O. ALONÇO, A. dos S.; BAUMHARDT, U. B.; BONOTTO, G. J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1721-1728, set. 2009.

DIAS, V. de O. **Tamanho amostral para ensaios em esteira de distribuição longitudinal de sementes de milho e soja**. 2012. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO Statistical Yearbook**, Rome: FAO, 2012.

FIGUEIREDO, Z. N. ; ANTUNIASSI, U. R. ; GADANHA JUNIOR, C. D. Desempenho de sistemas de controle de pulverização em condições de campo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 20, n. 2, p. 139-146, 2000.

FRAISSE, C., FAORO, L. Agricultura de precisão: a tecnologia de GIS/GPS chega às fazendas. **Revista Fator GIS On Line**, Curitiba, v.21, nov./jan. 1998.

FRANCETTO, T. R.; DAGIOS, R. F.; FERREIRA, M. F. P.; ALONÇO, A. dos S. Mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes presentes nas semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 41., 2012, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 2012. 1 CD-ROM.

FULTON, J. P.; SHEARER, S. A.; CHABRA, G.; HIGGINS, S. F. Field evaluation of a spinner disc variable-rate fertilizer applicator. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1999, Toronto. **Anais...** Toronto, 1999.

FULTON, J. P.; SHEARER, S. A.; CHABRA, G.; HIGGINS, S. F. Performance assessment and model development of a variable-rate, spinner-disc fertilizer applicator. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 5, p. 1.071-1.081, 2001.

FULTON, J. P.; SHEARER, S. A.; STOMBAUGH, T. S.; HIGGINS, S. F. Comparison of variable-rate granular application equipment. In: ASAE Annual International Meeting, Las Vegas, 2003.

FULTON, J. P.; SHEARER, S. A.; HIGGINS, S. F.; DARR, M. J.; STOMBAUGH, T. S. Rate response assessment from various granular VRT applicators. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 48, n. 6, p. 2095-2103, 2005.

FULTON, J. P.; NORWOD, S. H.; SHAW, J. N.; HALL, M. H.; BURMESTER, C. H.; MASK, P. L.; BRODBECK, C.; DILLARD, C. Evaluation of variable-rate seeding for cotton. In: 2006 COTTON RESEARCH REPORT, 2007.

FULTON, J. P. Overview of variable-rate technology. In: PRECISION AGRICULTURE SERIES, Alabama Precision Ag Extension, 2009a.

FULTON, J. P. Variable-rate application (VRA): does it works? In: EQIP Precision Agriculture Incentive Training, 2009b.

FULTON, J. P.; DAR, M. J.; TAYLOR, R. K.; SHEARER, S. A. Proper Implementation of Precision Agricultural Technologies for Conducting On-farm Research. In: PROCEEDINGS OF THE 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, Denver, 2010.

GADANHA JUNIOR, C. D. ; ANTUNIASSI, U. R.; FIGUEIREDO, Z. N. Avaliação do tempo de resposta de controladores eletrônicos de pulverização em função da variação da velocidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS, 2., 2001, Jundiaí. **Anais...** Jundiaí: SBEA, 2001.

GARCIA, A. P.; UMEZU, C. K.; CAPPELLI, N. L.; RUSSO, E. Caracterização de um mecanismo dosador helicoidal de fertilizantes sólidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., João Pessoa, 2006. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. 1 CD-ROM.

GARCIA, A. P. **Desenvolvimento de um sistema de controle eletro-mecânico para dosador de fertilizantes.** 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GARCIA, A. P.; CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K. Auger-type granular fertilizer distribution: mathematical model and dynamical simulation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 151-163, 2012.

GEBHARDT, M. R.; DAY, C. L.; GOERING, C. E.; BODE, L. E. Automatic sprayer control system. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 6, p.1043-1047, 1974.

GRIFFIN, T. W.; LOWENBERG-DEBOER, J.; LAMBERT, D. M.; PEONE, J. Precision Farming: adoption, profitability and making better use of data. In: TRIENNIAL NORTH CENTRAL FARM MANAGEMENT CONFERENCE, Lexington, 2004.

GRISSE, R.; ALLEY, M.; THOMASON, W.; HOLSHOUSER, D.; ROBERSON, G. T. Precision Farming Tools: variable-rate application. In: VIRGINIA COOPERATIVE EXTENSION, publication 442-505, 2011.

HAAG, L. A.; STAGGENBORG, S. A. Variable Rate corn seeding based on spatially variable growing season water supply. In: American Society of Agronomy International Meetings, Indianápolis, 2006.

HÖRBE, T. de A. N; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. J.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, New York,. v. 14, p.450-465, feb. 2013.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7256/1: Sowing equipment – Methods of test – Part 1: Single seed drills (precision drills).** Geneva, 1984. 16p.

JASPER, R. et al. Distribuição longitudinal e germinação de sementes de milho com emprego de tratamento fitossanitário e grafite. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 292-299, 2006.

JASPER, R. et al. Comparação de bancadas simuladoras do processo de semeadura em milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 623 – 629 out./dez. 2009.

KACHMAN, S. D.; SMITH, J. A. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 2, p. 379-387, 1995.

MACHADO, A. L. T., REIS, A. V., MORAES, M. L. B., ALONÇO, A. dos S. **Máquinas para preparo do solo, Semeadura, Adubação e Tratamentos Culturais**. 2ª ed. Pelotas: Ed. Univ. UFPEL, 2005. 253p.

MACHADO, O. D. da C.; ALONÇO, A. dos S ; BELLÉ, M. P. ; CARPES, D. P.; ROSSATO, F. P. . Distribuição longitudinal de sementes de milho por dosador mecânico em Agricultura de Precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 41., 2012, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 2012. 1 CD-ROM.

MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; FURLANI, C. E. A. ; SILVA, A. R. B. DA . Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 150-157, jan./abr. 2004.

MAHL, D.; FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A. Efficiency of pneumatic and horizontal perforated disk meter mechanism in corn no-tillage seeders in soil with different mobilization reports. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 535-542, jul./set. 2008.

MANTOVANI, E. C.; BERTAUX, S.; ROCHA, F. E. de C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 12, dez. 1992.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MELLO, L. M. M.; PINTO, E. R.; YANO, E. H. Velocidade de semeadura na cultura do milho: distribuição longitudinal de sementes e produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

MELLO, A. J. R.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; BORSATTO, E. A. Produtividade de híbridos de milho em função da velocidade de semeadura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 479-486, maio/ago. 2007.

MELO, R. P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L. A.; SOUZA, F. H.; SILVA, J. G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 94-101, jan./mar. 2013.

MÉNDEZ, A. Agricultura de Precisión y máquinas precisas. RAP, 2011. In: PROYECTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN INTA MANFREDI, 2011.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas para plantio**. Campinas: Millennium, 2012. 623p.

MILLER, W. M.; WHITNEY, J. D.; SCHUMANN, A. W.; BUCHANON, S. A test program to assess VRT granular fertilizer applications for citrus. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, Lake Alfred, 2003.

MILLER, W. M.; SCHUMANN, A. W.; WHITNEY, J. D. Evaluating variable rate granular fertilizer technologies in Florida citrus. **Proceedings of Florida State Horticultural Society**, Lake Alfred, v. 117, p. 161-166, 2004.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão. Parte 2: diagnóstico, aplicação localizada e considerações econômicas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.2, p.108-121, 1997.

MOLIN, J. P. Country Report 3 - Brazil. In: International Society of Precision Agriculture, The ISPA Report, 2012.

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A. A. Desempenho de distribuidora a lanço com doses variáveis de uréia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, P. 290-299, 2003.

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C. dos; OLIVEIRA, L. C. de. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, n. 3, 2009.

MONTEMEZZO JUNIOR, L.; ALONÇO, A. dos S.; MACHADO, O. D. da C.; CARPES, D. P.; ROSSATO, F. P.; RODRIGUES, M. W. Influência da velocidade tangencial do disco dosador na distribuição longitudinal de sementes. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO E MÁQUINAS PRECISAS, 1, 2011, Não-me-toque. **Anais...** Não-me-toque: Cotrijal, 2011.

MUNDSTOCK, C. M.; SILVA, P. R. F. da. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre : Evangraf, 2005. 51p.

MURRAY, J. R.; TULLBERG, J. N.; BASNET, B. B. **Planters and their components**: types, attributes, functional requirements, classification and description. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2006, 178 p.

NIELSEN, R. L. Planting speed effects on stand establishment and grain yield of corn: summary of 1993 on-farm trials. In: PURDUE UNIVERSITY, agry 94-02. 1994.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5 ed. São Paulo: Saraiva, 2011. 824p.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. **Las maquinas agrícolas y su aplicación**. 6 ed. Madrid: Mundiprensa, 2003. 526p.

PACHECO, E. P.; MANTOVANI, E. C.; MARTYN, P. J.; OLIVEIRA, A. C. de. Avaliação de uma semeadora-adubadora de precisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 209-214, mar. 1996.

PASZKIEWICZ, S.; BUTZEN, S. Corn hybrid response to plant population. **Pioneer Crop Insights**, Champaign, v. 17, n. 16, p. 1-4, 2007.

PAZ, S. M.; CUGNASCA, C. E.; SARAIVA, A. M. Programa de simulação de um receptor GPS para testes de equipamentos em agricultura de precisão. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGROINFORMÁTICA, 1.; Belo Horizonte, 1997. **Anais...** Belo Horizonte: SBI-agro, 1997.

PECHE FILHO, A.; KURACHI, S. A. H.; STORINO, M.; SILVA, M. R. da; NAGUMO, C. H. Análise de compatibilidade de disco dosador e semente de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2009, Juazeiro. **Anais...** Juazeiro: SBEA, 2009. 1 CD-ROM.



PECHE FILHO, A.; KURACHI, S. A. H.; STORINO, M. Análise de compatibilidade de disco dosador e semente de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: ABMS, 2012.

PING, J. L.; FERGUSON, R. B.; DOBERMANN, A. Site-specific nitrogen and plant density management in irrigated maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 4, p. 1193-1204, 2008.

PIONEER. Putting variable-rate seeding to work on your farm. Pioneer, 2009.

RED AGRICULTURA DE PRECISIÓN. Agricultura de Precisión y máquinas precisas. Actualización Técnica n. 9, 2011.

REEG, P. Corn plant population and variable rate planting. In: On-Farm Network Conference, Ames, 2011.

REIS, A. V.; ALONÇO, A. dos S. Comparativo sobre a precisão funcional de vários mecanismos dosadores estudados no Brasil entre os anos de 1989 e 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-Rom.

RESENDE, A. V. Adubação à Taxa Variável: aplicando a agricultura de precisão no manejo da fertilidade do solo. In: Dia de Campo. Da Embrapa milho e sorgo. 7. 2012.

ROCHA, F. E. de C.; MANTOVANI, E. C.; BERTAUX, S.; GARCIA, J. C. Comparação de semeadoras-adubadoras de milho com relação a preços de aquisição e eficiência operacional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 751-757, maio 1992.

ROLLOF, G.; FOCHT, D. **Agricultura de Precisão para a realidade brasileira**. 2004. Disponível em: <[http://www.ocepar.org.br/UPL/Outro/Agricultura %20de %20Precisao %20- %20Rollof %20- %20UFPR.ppt](http://www.ocepar.org.br/UPL/Outro/Agricultura%20de%20Precisao%20-%20Rollof%20-%20UFPR.ppt)>, acesso em 28 out. 2012.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. de; GRACIETTI, M. A.; HORN, D.; SCHWEITZER, C.; SCHMITT, A.; BIANCHET, P. Rendimento de grãos, produção e distribuição de massa seca de híbridos de milho em função do aumento da densidade de plantas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 1, p. 25-31, jan./mar. 2005.

SANTOS, S.R. dos; WEIRICH NETO, P. H. Estado de arte do processo de distribuição longitudinal de milho (*Zea mays*) da Cooperativa Agrária de Entre Rios Ltda. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPEL/SBEA, 1999. 1 CD-ROM.

SANTOS, A. P.; TOURIN, M. C. C.; VOLPATO, C. E. S. Qualidade de semente na implantação da cultura do milho por três semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1601-1608, set./out. 2008.

SARAIVA, M. A.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BORÉM, A. et al. (Org.). **Agricultura de Precisão**. 1ed. Viçosa: UFV, 2000, p.109-145.

SCHUMANN, A. W.; MILLER, W. M., HOSTLER, H. K., BUCHANON, S., CUGATI, S. Nutrient placement using variable rate technology (VRT). In: CITRUS NUTRIENT BMP PROGRAM, 2005.

SCHUMANN, A. W.; MILLER, W. M.; CUGATI, S. A.; HOSTLER, H. K.; BUCHANON, S. M. Optimizing variable rate granular fertilizer spreader performance for single-tree prescription zones. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, Portland, 2006a.

SCHUMANN, A. W.; MILLER, W. M.; ZAMAN, Q. U.; HOSTLER, K. H.; BUCHANON, S.; CUGATI, S. Variable rate granular fertilizations of citrus groves: spreader performance with single-tree prescription zones. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 22, n.1, p. 19-24, 2006b.

SERRANO, J. M.; PEÇA, M. J. O.; SILVA, J. R.; SERRAZINA, H.; MENDES, J. Avaliação de um distribuidor centrífugo de adubo na perspectiva de utilização em agricultura de precisão. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, 2007.

SHEARER, S. A.; STOMBAUGH, T. S.; FULTON, J. P.; MUELLER, T. G. Considerations for development of variable-rate controller test standard. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2002, Chicago. **Anais...** Chicago: ASAE e CGIR, 2002.

SILVA, J. G. da; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M., da. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p. 07-12, jan./abr. 2000.

SILVEIRA, J. C. M. da; GABRIEL FILHO, A.; TIEPPO, R. C.; TORRES, D. G. B.; BALDESSIN JÚNIOR, A.; BOLIGON, F. Uniformidade de distribuição de plantas e estande de milho em função do mecanismo dosador de sementes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 467-472, jul./set. 2005.

SILVEIRA, H. A. T. da et al. Projeto e desenvolvimento de uma bancada de ensaios de dosadores pneumáticos: fase preliminar e detalhada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 39., 2010, Vitória, **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2010, CD-rom.

STAFFORD, J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21st century. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Oxford, v. 76, p. 267-275, 2000.

STOUMBAUGH, T. S.; MUELLER, T. G.; SHEARER, S. A.; DILLON, C. R.; HENSON, G. T. Guidelines for adopting precision agricultural practices. In: Cooperative Extension Service, University of Kentucky, college of agriculture, PA-2, 2001.

TOURINO, M. C. C.; KLINGENSTEINER, P. Ensaio e avaliação de semeadoras-adubadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 13., 1983, Seropédica. **Anais...** Seropédica: SBEA, 1983.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M. de; SILVA, L. A. da; ALMEIDA, L. G. P. de. Semeadoras-adubadoras em semeadura convencional de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 241-245, jan./fev. 2009.

UATE, J. V.; PINHO, R. G. V.; GOMES, A. J. de S.; MAIDANA, L. H. Cultivares e distribuição espacial na cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 34., Águas de Lindóia, **Anais...** Águas de Lindóia: ABMS, 2012.

UMEZU, C. K. **Sistema de controle de um equipamento de formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis**. 2003. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VASQUEZ, G. H.; ARF, O.; SARGI, B. A.; PESSOA, A. C. O. Influência do tamanho e forma da semente de milho sobre o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos. In: **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 16-24, jan./fev. 2012.

VIDRINE, C. G.; GOERING, C. E.; DAY, C. L.; GEBHARDT, M. R.; SMITH, D. B. A constant pesticide application rate sprayer model. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 18, n. 3, 1975.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; MOLIN, J. P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P. A.; MASCARIN, L. S.; FAULIN, G. di C.; DETOMINI, E. R. População de plantas e alguns atributos do solo relacionados ao rendimento de grãos de milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 483-492, 2006.

YANG, C. A variable rate applicator for controlling rates of two liquid fertilizers. zones. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.17, n.3, p. 409-417, 2001.

ZAMAN, Q. U.; SCHUMANN, A. W.; MILLER, W. M. Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 21, n. 3, p. 331-335. 2005.

ZHAO, C.; HUANG, W.; CHEN, L.; MENG, Z.; WANG, Y.; XU, F. A harvest area measurement system based on ultrasonic sensors and DGPS for yield map correction. **Precision Agriculture**, New York, v. 11, p. 163-180, 2010.

## **APÊNDICES**



**Apêndice A – Imagens do processo de seleção do disco**

Figura A.1 – Primeiro passo do teste prático do ajuste entre sementes e discos

Nota: Verifica-se alojamento individual das sementes da combinação R12 (classificação R1+R2) com o disco 5 (alvéolo arredondado de 12 mm).



Figura A.2 – Segundo passo do teste prático

Nota: Não foi observada apreensão das sementes nos alvéolos.

**Apêndice B** – Descrição das classificações das sementes, discos e combinações do experimento preliminar de seleção das sementes

Tabela B.1 – Códigos e especificações das combinações testadas

Sementes (classificação)	Discos alveolados (mm)			
	(1) 8 x 12 mm Alvéolo oblongo	(2) 9.5 x 13.5 mm Alvéolo oblongo	(4) 11 mm Alvéolo arredondado	(5) 12 mm Alvéolo arredondado
	Códigos			
R2		R22		R25
R1+R2			R124	R125
R3+R4	R341		R344	
C2		C22		C25
C1+C2		C122		C125
C3+C4	C341		C344	C345
NC			NC4	NC5

Nota: Classificação segundo a empresa melhoradora. R: Peneiras para seleção de sementes arredondadas e C: Peneiras para seleção de sementes chatas. 1, 2, 4 e 5: Identificação dos discos alveolados. R125: Exemplo de combinação das sementes arredondadas R1 e R2 e do disco de identificação 5, de 12 mm. NC: Semente não classificada, obtida da mescla das demais.



### Apêndice C – Resultados do experimento preliminar de seleção de sementes

Tabela C.1 – Ranking da qualidade da distribuição de sementes das combinações entre classificações e discos do experimento preliminar das sementes

Códigos	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	DS (sementes m <sup>-1</sup> )	A (%)	M (%)	F (%)	P (%)	CV (%)
R125	6	6,99	95,24	2,86	1,90	18,42	25,85
C344	4	6,80	94,29	0,95	4,76	16,63	26,19
C125	4	6,91	93,33	2,86	3,81	19,01	30,69
C25	4	6,92	93,33	2	4,67	16,26	29,8
R125	4	7,20	91,43	5,71	2,86	17,01	29,15
R124	4	7,22	91,43	6,67	1,90	18,16	29,09
C345	4	7,03	90,48	5,71	3,81	17,65	32,56
C25	6	6,94	90,00	4,67	5,33	19,12	33,76
C345	6	7,17	89,52	8,57	1,90	22,07	38,74
R341	4	6,78	88,57	3,81	7,62	21,29	33,72
NC5	4	6,92	87,62	7,62	4,76	17,49	33,67
R25	6	6,99	86,67	7,33	6,0	19,13	37,10
R25	4	7,43	86,00	10,00	4,0	16,30	37,77
C122	4	7,00	85,71	8,57	5,71	21,69	41,31
C125	6	6,87	85,71	6,67	7,62	19,38	37,48
R341	6	6,59	85,71	5,71	8,57	16,99	37,29
C22	6	6,23	85,33	2,00	12,67	16,53	42,45
R125	8	6,74	84,76	8,57	6,67	23,17	38,59
C344	6	6,60	83,81	6,67	9,52	19,86	39,96
R125	10	6,79	83,81	9,52	6,67	24,69	42,65
C22	4	6,72	83,33	7,33	9,33	20,59	43,51
NC5	8	7,14	82,86	12,38	4,76	23,60	39,56
NC4	6	6,60	82,86	6,67	10,48	19,83	42,81
R344	6	5,94	81,90	4,76	13,33	19,81	50,99
R124	6	6,48	80,95	9,52	9,52	20,47	44,41
R344	4	6,11	80,95	1,90	17,14	19,68	40,77
NC5	6	7,18	80,95	13,33	5,71	19,10	39,53
R341	8	6,54	80,00	8,57	11,43	23,65	48,21
C25	8	6,85	80,00	12,67	7,33	25,02	44,69
R22	6	6,72	79,33	11,33	9,33	23,81	46,10
R22	4	6,72	78,67	10,67	10,67	25,37	48,03
C122	6	6,71	78,10	10,48	11,43	19,23	43,56

**continua**

**continuação**

Tabela C.1 – Ranking da qualidade da distribuição de sementes das combinações entre classificações e discos do experimento preliminar das sementes

Códigos	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	DS (sementes m <sup>-1</sup> )	A (%)	M (%)	F (%)	P (%)	CV (%)
NC4	4	6,69	78,10	10,48	11,43	20,28	42,86
C341	6	5,83	77,14	4,76	18,10	20,79	47,45
R25	8	6,42	76,67	11,33	12,00	26,18	47,63
R25	10	6,82	76,67	11,33	12,00	26,18	47,63
C125	8	6,49	75,24	11,43	13,33	23,60	46,98
C345	8	6,66	75,24	14,29	10,48	28,12	46,18
R124	8	6,23	75,24	10,48	14,29	23,61	50,70
NC4	8	6,46	75,24	11,43	13,33	22,64	49,18
C122	10	6,66	72,38	13,33	14,29	26,92	49,78
R124	10	5,98	72,38	8,57	19,05	22,60	55,10
C25	10	6,41	71,33	14,67	14,00	26,95	56,34
C341	4	5,59	70,48	4,76	24,76	25,57	47,47
C122	8	6,58	69,52	17,14	13,33	26,5	60,03
C125	10	6,57	66,67	15,24	18,1	26,66	55,38
C344	8	5,43	66,67	11,43	21,9	23,18	69,63
NC5	10	6,81	66,67	20,00	13,33	22,85	59,53
C22	8	5,91	66,67	13,33	20,00	23,39	57,05
NC4	10	5,76	65,71	13,33	20,95	30,04	59,64
C345	10	6,8	64,76	24,76	10,48	27,2	60,03
C22	10	6,11	62,00	18,00	20,00	27,08	69,14
R344	8	5,25	60,00	10,48	29,52	24,62	58,47
C344	10	5,73	58,10	16,19	25,71	26,84	70,87
R341	10	6,13	58,10	17,14	24,76	26,45	56,16
C341	8	4,52	57,14	4,76	38,1	23,87	56,55
R22	10	5,47	54,00	18,67	27,33	26,33	72,49
R22	8	5,42	52,00	21,33	26,67	27,14	75,23
R344	10	4,23	49,52	9,52	40,95	24,32	72,36
C341	10	3,65	40,95	12,38	46,67	28,79	74,01

**conclusão**

Nota: O acionamento do dosador de discos alveolados foi padronizado por meio das equações 3 e 4, do item 2.3.1.3., para a densidade de 6 sementes m<sup>-1</sup>, nas velocidades 4, 6, 8 e 10 km h<sup>-1</sup>, no experimento preliminar de seleção da classificação das sementes. Variáveis: DS: Densidade de semeadura, A: Porcentagem de espaçamentos aceitáveis, M: múltiplos, F: Falhos, P: Precisão e CV: Coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes.

**Apêndice D – Valores relativos do teste preliminar das sementes**

Tabela D.1 – Valores relativos de cada combinação em relação ao melhor desempenho dos aceitáveis

Códigos	Valor Relativo ( %)			
	4	6	8	10
R125	96,00	100,00*	89,00	88,00
R124	96,00	85,00	79,00	76,00
R344	85,00	86,00	63,00	52,00
R341	93,00	90,00	84,00	61,00
R25	90,30	91,00	80,50	80,50
R22	82,60	83,30	54,60	56,70
NC5	92,00	85,00	87,00	70,00
NC4	82,00	87,00	79,00	69,00
C25	98,00	94,50	84,00	74,90
C22	87,50	89,60	70,00	65,10
C125	98,00	90,00	79,00	70,00
C122	90,00	82,00	73,00	76,00
C345	95,00	94,00	79,00	68,00
C344	99,00	88,00	70,00	61,00
C341	74,00	81,00	60,00	43,00

Nota: Valores relativos calculados a partir da combinação R125, para qual foram aferidos 95,24% de aceitáveis, operando na velocidade de 6 km h<sup>-1</sup>.

**Apêndice E** – Planilha de registro dos testes preliminares da rotação de referência, para o dosador pneumático

CONTAGEM DAS SEMENTES PARA AS FREQUÊNCIAS (FREQ) CORRESPONDENTES A DENSIDADES 6SEMENTES POR M										
FREQ	TESTE4-R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	CONT	
465	84	84	83	83	84	84	84	83	83,625	
465,3	84	84	84	84	83	84	84	84	83,875	
465,6	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
465,9	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
<b>466,2</b>	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
466,5	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
466,8	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
467,1	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
467,4	84	84	84	84	84	84	85	84	85	84,25
467,7	85	84	84	85	85	84	84	85	84,5	

Figura E.1 – Processo de aferição da rotação de referência.

Nota: Ocorreram seis frequências diferentes que retornaram 84 sementes, caracterizando a estabilidade operacional do dosador, na densidade de 6 sementes  $m^{-1}$  e velocidade  $8 km h^{-1}$ . Essa estabilidade foi observada de uma forma geral ao longo do procedimento.