

## **DETERMINANDO O TEMPO DE RESPOSTA EM SISTEMA DE INJEÇÃO DIRETA COM UM SENSOR DE CONDUTIVIDADE INTELIGENTE ACOPLADO DIRETAMENTE NO BICO PULVERIZADOR DE HERBICIDA**

CAIO H. FUJIWARA<sup>1</sup>, HEITOR V. MERCALDI<sup>2</sup>, ELMER A. GAMBOA PEÑALOZA<sup>3</sup>,  
PAULO E. CRUVINEL<sup>4</sup>, VILMA A. OLIVEIRA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduando do Departamento de Engenharia Elétrica e computação, EESC-USP, e-mail: [caio.fujiwara@usp.br](mailto:caio.fujiwara@usp.br).

<sup>2</sup> Doutorando do Departamento de Engenharia Elétrica e computação, EESC-USP, e-mail: [heitor@usp.br](mailto:heitor@usp.br).

<sup>3</sup> Doutorando do Departamento de Engenharia Elétrica e computação, EESC-USP, e-mail: [egambo@usp.br](mailto:egambo@usp.br).

<sup>4</sup> Doutor, Pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos SP, e-mail: [paulo.cruvinel@embrapa.br](mailto:paulo.cruvinel@embrapa.br).

<sup>5</sup> Professor titular do Departamento de Engenharia Elétrica e Computação, EESC-USP, e-mail: [vilma@sc.usp.br](mailto:vilma@sc.usp.br).

Apresentado no  
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015  
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

**RESUMO:** Na aplicação de herbicida com sistemas de injeção direta, o tempo de resposta é um fator determinante para a qualidade da pulverização em tempo real. O tempo de resposta é definido como o tempo medido a partir do instante de injeção necessário para a concentração da calda (mistura de água com o herbicida) atingir 95% do seu valor de equilíbrio nos bicos de pulverização. Assim, o tempo de resposta considera o atraso de transporte e o transiente da concentração. Esse trabalho apresenta a instrumentação para um sensor inteligente montado junto aos bicos de pulverização para medir o tempo de resposta em um sistema de injeção direta de herbicidas baseado em medidas da condutividade elétrica da calda, o qual utiliza excitação senoidal de alta estabilidade. Sua calibração foi realizada usando soluções de NaCl e KCl em concentrações semelhantes às encontradas em situações reais de aplicação. Foi desenvolvido um algoritmo que relaciona as medidas realizadas ao tempo de resposta usando uma placa Arduino<sup>®</sup> acoplada ao transdutor.

**PALAVRAS-CHAVE:** tempo de resposta, injeção direta, condutividade elétrica.

### **DIRECT INJECTION SYSTEM RESPONSE TIME DETERMINATION USING A CONDUCTIVITY SMART SENSOR DIRECTLY COUPLED INTO HERBICIDE SPRAYER NOZZLE**

**ABSTRACT:** In herbicide application based on direct injection systems, the response time plays an important role for the spraying quality, mainly when operating in real time. The response time is defined as a measurement of the time of injection necessary to get the concentration of the mixture (water mixed with the herbicide) with 95% of its equilibrium value in the spray nozzles. Thus, such measurement takes into account the delay for transport, as well the transient time to reach the desirable concentration. This paper presents an intelligent sensor mounted near the spray nozzles to measure the response time in a direct injection system of herbicides. It allows the measurements of the electrical conductivity of the mixture and also uses a very stable sinusoidal excitation. Calibration was performed using NaCl and KCl solutions at concentrations similar to those found in actual application conditions. Also, using an Arduino<sup>®</sup> board coupled to the transducer, an algorithm that relates the measurements with the response time was included.

**KEYWORDS:** response time, direct injection, electrical conductivity.

#### **INTRODUÇÃO:**

Os pulverizadores com injeção direta são caracterizados por possuírem reservatórios separados para o agroquímico e para a água. A mistura realizada em tempo real forma a calda que deve ser homogênea para garantir a qualidade da aplicação. Para a aplicação em taxa variável, utilizando pulverizadores com injeção direta, o tempo de resposta é de grande importância. Uma vez que, a estratégia de controle da taxa aplicada deve considerar este tempo de resposta para não incorrer em erros de aplicação. O tempo de resposta pode ser definido como o tempo decorrido a partir do instante em que

a injeção começa até que a concentração da mistura atinja 95% de seu valor final (PECK & ROTH, 1975). Em 1997, Bennet e Brown consideraram uma concentração de 95%, o limiar de eficácia para o controle adequado de ervas daninha (BENNET & BROWN, 1997). Além disso, a relação entre as vazões do herbicida ( $Q_h$ ) e da mistura ( $Q_m$ ) deve ser constante. Para determinar o tempo de resposta em sistemas com injeção direta, podem ser utilizados sensores de condutividade elétrica (CROWE *et al.*, 2005; HLOBEN, 2007). Esses sensores possuem dois eletrodos metálicos que devem permanecer em contato com a calda, cuja condutividade elétrica depende da concentração da mistura. Neste trabalho é apresentada a instrumentação envolvida no desenvolvimento de um sensor de condutividade elétrica de líquidos com sensibilidade adequada para a obtenção do tempo de resposta em um sistema de pulverização com injeção direta, baseado na medida da condutividade elétrica das soluções da mistura.

## MATERIAL E MÉTODOS:

O sensor de condutividade desenvolvido é composto por três estágios principais: Circuito de excitação, transdutor de condutividade e circuito de condicionamento de sinal (Figura 1).

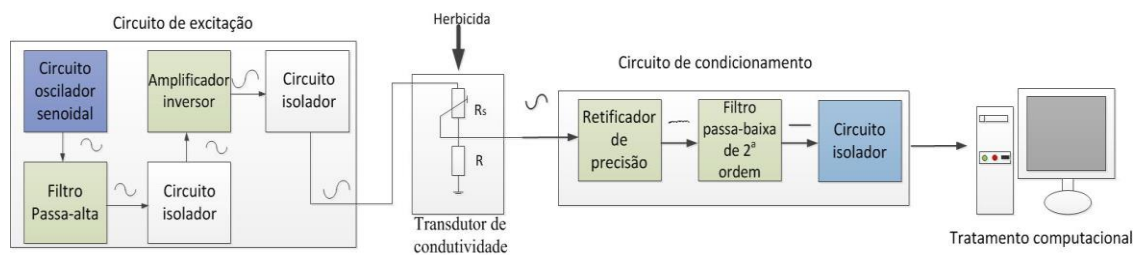


FIGURA 1. Diagrama de blocos da instrumentação para o sensor de condutividade.

### Circuito de excitação

Para reduzir o efeito da eletrólise nos eletrodos e da polarização da mistura, um circuito de excitação, representado no diagrama de blocos da Figura 1, foi construído com a finalidade de se obter um sinal senoidal alternado com frequência aproximada de 1kHz e amplitude aproximada de 5V. O nível de tensão contínua do oscilador senoidal é removido com um filtro passivo de primeira ordem do tipo passa-alta. Os circuitos de isolamento e de amplificação garantem a amplitude do sinal senoidal gerado para a excitação do transdutor. O esquema elétrico do circuito de excitação é apresentado na Figura 2, a qual também exibe o sinal de saída do circuito de excitação.

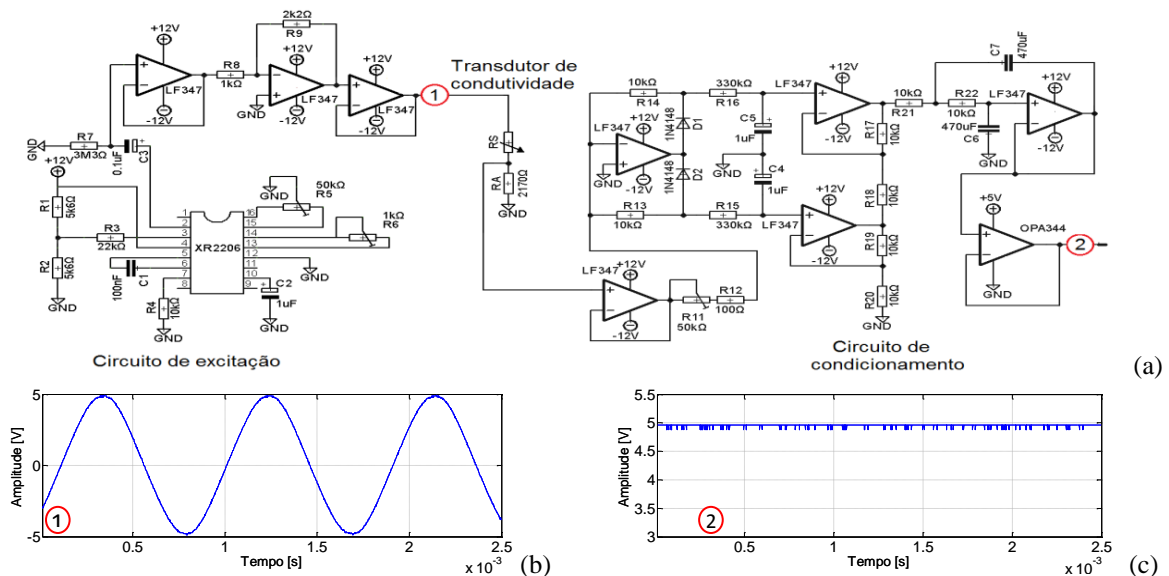


FIGURA 2. (a) Sensor de condutividade; (b) Sinal de saída do circuito de excitação; (c) Sinal de saída do circuito de condicionamento.

### Transdutor de condutividade

O transdutor de condutividade, construído em poliacetal e com dois eletrodos de inox com 5 mm de diâmetro, foi projetado para ser acoplado no sistema corta gotas dos bicos de pulverização. Os eletrodos inseridos na base de poliacetal foram espaçados de 1 mm e deste modo, o circuito equivalente do transdutor de condutividade pode ser representado envolvendo a fonte de excitação  $V_e$  e as resistências  $R_s$  e sua auxiliar  $R_a$  (Figura 3).

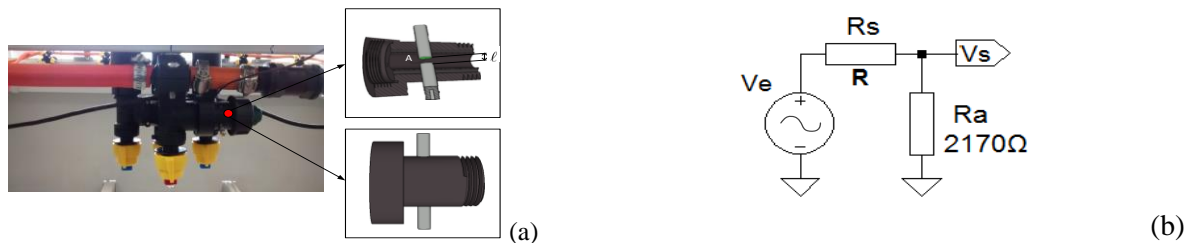


FIGURA 3. (a) Foto do sensor para validação do tempo de resposta em um sistema de injeção direta, instalado nos bicos (TeeJetR QJS e e-ChemSaver); (b) Circuito elétrico equivalente do transdutor.

### Circuito de Condicionamento de Sinal

O circuito de condicionamento é composto por um circuito retificador de precisão, um filtro passa-baixa ativo da topologia Sallen-Key de segunda ordem, para a filtragem de sinais de interferência e um circuito isolador. O circuito de condicionamento foi construído com a finalidade de se obter um sinal de tensão contínua proporcional à amplitude obtida no divisor de tensão formado no transdutor de condutividade e adequado para a aferição do tempo de resposta através dos valores de condutividade elétrica (Figura 2a).

O sensor desenvolvido foi acoplado e testado em um sistema de desenvolvimento de pulverizadores (CRUVINEL et al., 2011). Assim, o sensor foi utilizado para a obtenção de dados da concentração de soluções compostas de NaCl e água e de KCl e água. Buscando-se obter a análise para um caso geral, o sensor de condutividade desenvolvido foi analisado em função dos valores de condutividade elétrica, bem como, foi calibrado utilizando o condutivímetro comercial Tecnopom<sup>®</sup> mCa 150.

### Modelo do tempo de resposta

O tempo de resposta depende da dinâmica da concentração da mistura, que pode ser aproximada por uma função de transferência de primeira ordem com tempo de atraso:

$$C_o = \frac{Q_h}{Q_m} \frac{1}{T_c s + 1} e^{-sT_a} \quad (1)$$

em que  $C_o$  é a concentração final desejada;

$T_c$  é a constante de tempo da concentração e

$T_a$  é o tempo do atraso (MERCALDI, 2012; FELIZARDO, 2013). O tempo de resposta (0 a 95%) baseando-se na (Equação 1) pode ser calculado por  $T_r = 3T_c + T_a$ .

### RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O tratamento computacional dos dados obtidos do sensor de condutividade desenvolvido foi realizado com o software LabVIEW<sup>®</sup>, após a conversão analógica/digital da tensão de saída do circuito de condicionamento por meio do Arduino Uno<sup>®</sup>. Foram avaliados os tempos de resposta para um degrau de vazão na injeção  $Q_h = 2,3$  L/min e para as vazões da mistura  $Q_m$  de 16 L/min (200 kPa) e 23 L/min (400 kPa) com três repetições cada. A Tabela 1 apresenta resultados obtidos a partir da análise gráfica dos resultados experimentais que foram obtidos tomando por base os parâmetros do modelo (Equação 1) e o tempo de resposta  $T_r$ . A média e o desvio padrão para cada um dos casos foram calculados para fins de análise e comparação dos resultados. Durante o desenvolvimento do sensor foram testadas outras configurações de espaçamento e diâmetro dos eletrodos. Assim, para os circuitos de excitação e condicionamento desenvolvidos, a configuração apresentada neste trabalho foi a mais adequada para as medições de condutividade dentro da faixa de concentrações testadas.

TABELA 1. Valores experimentais do tempo de atraso, constante de tempo da concentração e tempo de resposta.

<i>Vazão (L/min)</i>	<i>Repetição</i>	<i>T<sub>a</sub></i>	<i>T<sub>c</sub></i>	<i>T<sub>r</sub></i>
16	1 <sup>a</sup>	29,56	4,31	42,48
	2 <sup>a</sup>	28,80	4,25	41,55
	3 <sup>a</sup>	28,36	4,35	41,40
	Média	28,91	4,30	41,81
	Desvio padrão	0,61	0,05	0,59
23	1 <sup>a</sup>	22,53	3,43	32,81
	2 <sup>a</sup>	22,52	3,50	33,01
	3 <sup>a</sup>	23,09	3,56	33,77
	Média	22,71	3,49	33,20
	Desvio padrão	0,33	0,07	0,51

### CONCLUSÕES:

Os resultados mostram que é possível fazer a distinção entre as duas situações avaliadas. O coeficiente de variação calculado para todos os casos é inferior a 2,5%, o que indica boa repetibilidade e robustez da instrumentação desenvolvida junto ao sensor para medida do tempo de resposta. Desta forma, há indicativo de que o sensor possui potencial aplicação em campo, visando a parametrização de um modelo da concentração em tempo real.

### AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem o apoio financeiro da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Instrumentação, Processo MP2 No. 02.11.07.0.25.00.00), bem como a agência Brasileira CNPq sob concessão 306.477 / 2013-0.

### REFERÊNCIAS

- BENNET, K. A.; BROWN, R. B. Direct nozzle injection and precise metering for variable rate herbicide application. Transaction of the ASAE, 1997. p. Paper No. 97-1046, 1997.
- CROWE, T. G.; DOWNEY, D.; GILES, D. K.; SLAUGHTER, D. C. An electronic sensor to characterize transient response of nozzle injection for pesticide spraying. Transaction of the ASAE, 2005. v. 48, n. 1, p. 73-82, 2005.
- CRUVINEL, P.E.; OLIVEIRA, V.A.; FELIZARDO, K. R.; MERCALDI, H. V. Bancada automatizada para ensaios e desenvolvimento de pulverizadores de agrotóxicos, aplicadores de fertilizantes líquidos e maturadores em culturas agrícolas sob manejo baseado em agricultura de precisão, pp. 96-100. In: Agricultura de precisão: um novo olhar. Editores: Ricardo Yassushi Inamasu, João de Mendonça Naime, Álvaro Vilela de Resende, Luis Henrique Bassoi, Alberto Carlos de Campos Bernardi. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 334 pp., ISBN 978-85-86463-31-0, 2011.
- FELIZARDO, K. R. Modelagem e controle preditivo de um sistema de pulverização com injeção direta. Tese (Doutorado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em Sistemas Dinâmicos) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- HLOBEN, P. Study on the response time of direct injection systems for variable rate application of herbicides. Tese (Doutorado) Universitäts-und Landesbibliothek Bonn, 2007.
- MERCALDI, H. V. Automação de um sistema de pulverização para aplicação de agroquímicos a taxa variada usando injeção direta. Dissertação (Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em Sistemas Dinâmicos) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- PECK, D.; ROTH, L. Field sprayer induction system development and evaluation. ASAE Papers, 1975. v. 75, 1975.