

# Rede de sensores sem fio para monitoramento e controle de processos em ambiente agrícola

André Torre-Neto<sup>1\*</sup>, Raquel Ghini<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Eletrônico, Pesquisador Dr., Embrapa Instrumentação, CP 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

<sup>2</sup> Agrônoma, Pesquisadora Dra., Embrapa Meio Ambiente, CP 69, CEP 13820-000, Jaguariúna, SP, Brasil

\*e-mail: [andre@cnpdia.embrapa.br](mailto:andre@cnpdia.embrapa.br); [raquel@cnpma.embrapa.br](mailto:raquel@cnpma.embrapa.br)

**Resumo:** As mudanças climáticas devem interferir no cenário mundial da agricultura. Os seus impactos econômicos, sociais e ambientais podem ser positivos, negativos ou ainda neutros. Um tipo de experimento chamado FACE (*Free Air Carbon-dioxide Enrichment*) tem sido conduzido nos Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Japão, Austrália, Itália, Dinamarca, entre outros países, para estudar particularmente os impactos do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico sobre as plantações. O primeiro experimento FACE da América Latina está sendo instalado no Brasil por um grupo de cientistas da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Comparado aos projetos existentes, a implantação do FACE brasileiro inova com a utilização da tecnologia de rede de sensores sem fio. Neste trabalho são descritos os detalhes desta abordagem e apresentados os resultados preliminares obtidos. Apesar da instrumentação apresentada primariamente ter sido desenvolvida para um experimento FACE, ela tem características adequadas ao monitoramento e controle de processos no ambiente agrícola em geral.

**Palavras-chave:** rede de sensores sem fio, monitoramento ambiental, instrumentação agrícola.

## *Wireless Sensor Network for monitoring and controlling processes in the agricultural environment*

**Abstract:** Climate change is considered one of humankind's greatest challenges in the near future. The climate change is expected to interfere in the scenario of worldwide agriculture. Its economic, social and environmental impacts can be positive, negative or neutral. A type of experiment known by FACE, *Free Air Carbon-dioxide Enrichment*, has been conducted in the USA, UK, Germany, Japan, Australia, Italy, Denmark, among other countries to study particularly the impacts of the CO<sub>2</sub> concentration increasing on crops. In Brazil, the first FACE experiment in South America is being installed by a group of scientists of Embrapa (Brazilian Agricultural Research Corporation). Compared to the existing FACE projects, the Brazilian implementation innovates with a wireless sensor network approach. In this article it is described the details for that implementation and presented the preliminary results. Despite of this instrumentation has been primarily developed for a FACE experiment it has adequate features for monitoring and controlling processes in the agricultural area.

**Keywords:** wireless sensor network, environment monitoring, agricultural instrumentation.



## 1. Introdução

A concentração de dióxido de carbono atmosférico vem aumentando nos últimos anos e esse aumento continuará por décadas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2010). Tal aumento resulta em benefícios para o desenvolvimento das plantas. Porém, há poucos trabalhos publicados sobre os efeitos do aumento do CO<sub>2</sub> para a sanidade vegetal (GHINI; HAMADA, 2008). Testes conduzidos em ambientes controlados podem auxiliar na elucidação de efeitos isolados, mas, de modo geral, apresentam limitações. Podem não refletir a resposta das plantas nas condições de campo, onde há variações de interações entre temperatura, precipitação e outros fatores. A busca por condições mais realistas tem levado ao uso de câmaras de topo aberto (Open-top chambers, OTCs) ou experimentos com emissão de CO<sub>2</sub> a céu aberto (Free Air Carbon-dioxide Enrichment, FACE) como descrito por Hendrey e Miglieta (2006).

No Brasil, o primeiro FACE está sendo instalado próximo à cidade de Jaguariúna, SP, por iniciativa de Embrapa, através do projeto “Impacto das Mudanças Climáticas Globais Sobre Problemas Fitossanitários”. Além do FACE, também estão previstos seis experimentos com OTCs espalhados pelo país (Belém, PA; Petrolina, PE; Sete Lagoas, MG; Londrina, PR; Jaguariúna, SP e Vacaria, RS). O FACE está planejado para estudos sobre as pragas e doenças do café e as OTCs sobre espécies florestais, maçã, pêssego, soja, uva, milho, algodão, forrageiras, mandioca e banana.

## 2. Material e métodos

Os FACEs existentes consistem de um conjunto de anéis circundados por tubos perfurados que fazem a fumigação do CO<sub>2</sub>. O diâmetro destes círculos variam e podem chegar a até 30 m. A principal questão operacional de uma instalação FACE está em se manter a flutuação e o gradiente da concentração de CO<sub>2</sub> dentro dos círculos em níveis aceitáveis diante, principalmente, das condições do vento. Muitas instalações seguem um arranjo octogonal da tubulação. Cada segmento do octógono tem uma válvula associada e um

controlador de fluxo para compensar as mudanças na velocidade e direção do vento. As OTCs têm círculos menores, cerca de 2 m de diâmetro, e são circundadas por um revestimento plástico com o topo afunilado e aberto. A instrumentação básica para experimentos FACE e OTCs normalmente consiste de um analisador de gás por infravermelho (*Infra Red Gas Analyzer, IRGA*) para medir a concentração do CO<sub>2</sub>, um anemômetro, válvulas liga/desliga e proporcionais, além de sensores ambientais como, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação e radiação solar. A inovação planejada para o FACE e OTCs brasileiros é a utilização de uma instrumentação baseada na tecnologia de rede de sensores sem fio. Trata-se de uma tecnologia já presente no campo agrícola (WANG et al., 2006) e de domínio do grupo responsável pela implantação destes experimentos (TORRE-NETO et al., 2005). A expectativa é facilitar a instalação e manutenção do sistema, além de melhorar sua compatibilidade eletromagnética, visto que no país a incidência de raios é uma questão relevante.

Decidiu-se adquirir sensores e atuadores convencionais e adaptá-los a módulos de comunicação sem fio via um circuito de interface para propósito geral. Na Tabela 1 é mostrada uma lista dos dispositivos escolhidos e as características relevantes consideradas no desenvolvimento da interface. O Sensor 1 de CO<sub>2</sub>, o IRGA GMP343, foi escolhido para o experimento FACE e o Sensor 2, o IRGA GMM222, foi adquirido para as OTCs. Os sensores climatológicos, ou seja, o anemômetro, o sensor de temperatura e umidade do ar, o pluviômetro e o sensor barométrico são todos partes do mesmo instrumento, a estação climatológica WXT520.

Os módulos de rede sem fio foram comprados da empresa Telegesis Inc. [UK], especificamente a série ETRX3. Eles incorporam o protocolo ZigBee no padrão IEEE 802.15.4 e operam na frequência de 2.4 GHz. O alcance esperado está na faixa de 100 m entre eles e operando com antena interna, incorporada na placa do módulo. Possuem todas as entradas e saídas analógicas e digitais necessárias para interface com os dispositivos previstos, o que inclui uma interface serial e cinco temporizadores.

O desenvolvimento do software é facilitado por um conjunto de comandos AT, que inclui operações tanto para o estabelecimento e manutenção da rede, como para acesso às portas e conversão analógico/digital.

O diagrama em blocos deste circuito é apresentado na Figura 1a. Este circuito básico foi utilizado para a interface de todos os dispositivos listados na Tabela 1. Na Figura 1b é mostrada a implementação

do dispositivo sem fio para o IRGA GMM222. Devido ao elevado consumo de energia desta sonda, foi utilizada a opção de bateria externa de chumbo-ácido associada a um painel fotovoltaico e controlador de carga.

A comunicação entre um microcomputador e os dispositivos da rede sem fio é proporcionada por um circuito de interface USB-ZigBee, também adquirido da empresa Telegesys. Baseando-se no

Tabela 1. Lista dos sensores e atuadores e as características consideradas no desenvolvimento do circuito para interface de propósito geral.

Dispositivo	Princípio de funcionamento	Sinal de interface / Protocolo	Requisitos de energia (W)	Tempo de resposta (s)	Fabricante	Modelo / Comentários
CO <sub>2</sub> Sensor 1	IRGA	Serial RS-232/ ASCII ou analógico (0-2.5 V)	A 12 Vdc (11 to 36): 1 (max. 3.5)	2 (sem filtro)	Vaisala	GMP343 / Sonda por difusão
CO <sub>2</sub> Sensor 2	IRGA	Serial TTL/ASCII ou analógico (0-2.5 V)	A 12 Vdc (11 to 20): 2.5	20	Vaisala	GMM222 / OEM / Difusão
Anemômetro	Ultrassom	Serial RS-232/ ASCII	A 12 Vdc (5 to 32): 0,036	0.25	Vaisala	WXT 520 / Estação Climatológica integrada em um único instrumento
Temperatura do ar	Capacitivo		(sem aquecimento do sensor de precipitação para caso de neve)	Imediato		
Umidade do ar	Capacitivo			Imediato		
Precipitação	Piezelétrico			Imediato		
Pressão Barométrica	Capacitivo			Imediato		
Radiação solar	Fotodiodo de silício	Analogico (mV)	Não há	Imediato	Li-cor	LI-90 (Quantum) e LI-200 (Piranômetro)
Controle de Fluxo	Diferença de temperatura com precisão	Serial RS-232/ ASCII ou analógico (0-5V)	A 12 Vdc: 9.6	2	Aalborg	GFC 17 com RS-232 opcional
Válvula Solenoide	"Latching"	Pulsos de corrente c/ polaridades direta e reversa	12 Vdc / 24W (Pulsos de 100ms)	Imediato	Jefferson	BA222-70

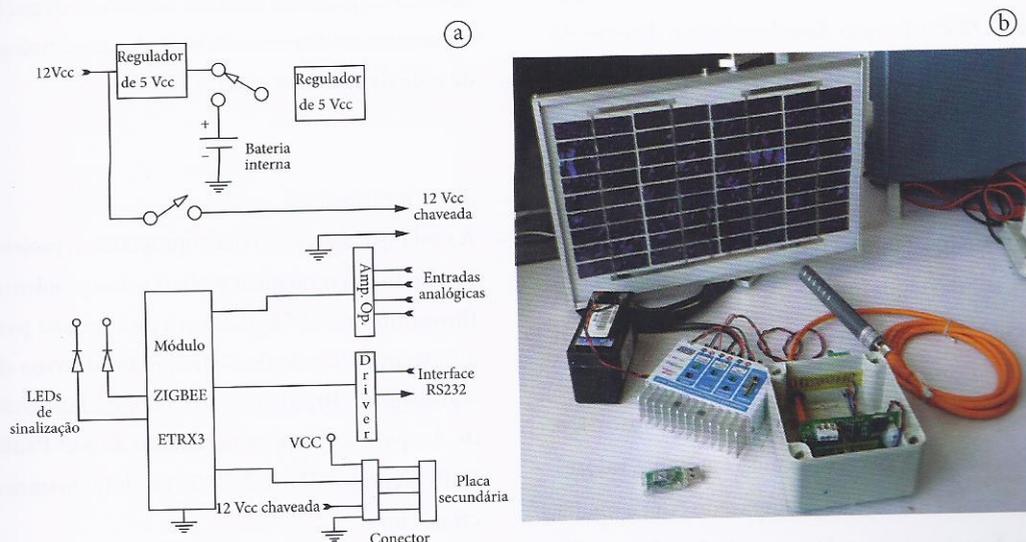


Figura 1. a) Diagrama em blocos do circuito da interface de propósito geral dos nós da rede de sensores sem fio e b) adaptação da sonda IRGA GMM222 como nó sem fio.

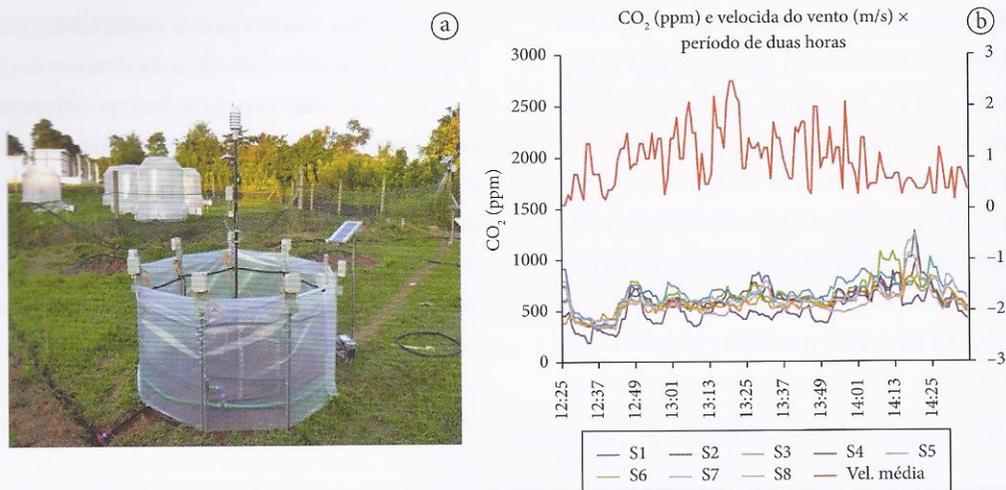


Figura 2. a) O experimento OTC implantado com a rede de sensores sem fio e b) avaliação de curto termo para verificar a variabilidade espacial do  $\text{CO}_2$  em um anel dos anéis.

elenco de comandos AT, foi escrito um programa de controle e monitoramento das OTCs na linguagem de programação visual *LabView* versão 8.2.

### 3. Resultados e discussão

Um piloto do experimento OTC foi implantado com os dispositivos sem fio desenvolvidos (Figura 2a). Oito sondas de  $\text{CO}_2$  IRGA GMM22 foram distribuídas em um anel, juntamente com uma estação climatológica WXT520 localizada no centro, a 2 m de altura. Um controlador de fluxo foi instalado para se regular a injeção do  $\text{CO}_2$ . Este arranjo permitiu a fumigação controlada e o monitoramento da flutuação da concentração de  $\text{CO}_2$  em função da velocidade e direção do vento. Com este teste preliminar conduzido em Jaguariúna, SP, obteve-se os gráficos mostrados na Figura 2b. Durante os 10 min iniciais não houve fumigação de  $\text{CO}_2$ . Em seguida o fluxo foi mantido constante a 3 L/min. Devido à distribuição das sondas, igualmente espaçadas ao longo da meia circunferência entre a borda e o centro da OTC, o efeito da direção do vento pode ser observado como mostra o gráfico do Sensor 4, o qual, na maior parte do tempo apresenta valores ligeiramente inferiores comparado com a média dos demais sensores. Uma possível explicação é a posição contra a direção predominante do vento.

### 4. Conclusões

A instrumentação sem fio não oferece tempos de atraso significativos e permite que as mudanças de concentração influenciadas pelo vento sejam rapidamente acompanhadas. Trabalhos futuros incluem testes operacionais com um número maior de nós sensores e a implementação do algoritmo de controle da fumigação para manter a concentração de  $\text{CO}_2$  no nível desejado (usualmente em torno de 550 ppm). Para os anéis do FACE, além do controle do fluxo, as válvulas solenoide *Latching*, lembrando que há uma por seção do octógono, serão utilizadas para compensar também os efeitos da direção do vento.

Os circuitos, interfaces e softwares desenvolvidos deverão ser portados para um sistema de irrigação espacialmente diferenciada baseado em tecnologia de rede de sensores sem fio.

### Agradecimentos

À Embrapa, através do Macroprograma 1, projetos “Impacto das mudanças globais sobre problemas fitossanitários” e “Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro”, ao CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo, FAPESP, projeto INCT NAMITEC: <http://namitec.cti.gov.br/>.

Aos técnicos da Embrapa Instrumentação, especialmente ao Sr. Gilmar Victorino.

## Referências

- GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças Climáticas: Impacto sobre Doenças e Plantas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa, 2008.
- HENDREY, G. R.; MIGLIETA, F. FACE Technology: past, present and Future. In: NOSBERGER, J.; LONG, S. P.; NORBY, R. J.; STITT, M.; HENDREY, G. R.; BLUM, H. (Eds.). **Managed ecosystem and CO2**. Alemanha, 2006. v. 187.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/index.htm>>. Acesso em: out. 2010.
- TORRE-NETO, A.; FERRAREZI, R. A.; RAZERA, D. E.; SPERANZA, E.; LOPES, W. C.; LIMA, T. P. F. S.; RABELLO, L. M.; VAZ, C. M. P. Wireless sensor network for **variable rate irrigation** in Citrus. In: FRUIT, NUT AND VEGETABLE PRODUCTION ENGINEERING SYMPOSIUM; INFORMATION & TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE FRUIT & VEGETABLE PRODUCTION, 7., 2005, Montpellier, França. **Proceedings...** Montpellier, 2005. CD-ROM.
- WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective. **Computer and Electronics in Agriculture**, n. 50, p. 1-14, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2005.09.003>