



## DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS COMPUTACIONAIS PARA REGISTRO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS E ANÁLISE OPERACIONAL DE PLUVIÔMETROS BASCULANTES

VOLTAN, Diego Scacalossi<sup>1</sup>; PEREA MARTINS, João E. M.<sup>2</sup>; BASSAN, José Marcio<sup>3</sup>

**RESUMO** – (DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS COMPUTACIONAIS PARA REGISTRO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS E ANÁLISE OPERACIONAL DE PLUVIOMÉTRICOS BASCULANTES) O objetivo desse trabalho foi apresentar uma pesquisa tecnológica sobre medição pluviométrica que resultou em três sistemas eletrônicos. Dois sistemas são para a aquisição e armazenamento de dados de chuva e o terceiro é para a verificação analítica e calibração de pluviômetros basculantes. O primeiro sistema de aquisição de dados foi projetado com computadores pessoais e instrumentação virtual para o sistema ser capaz de armazenar uma grande quantidade de dados pluviométricos, processá-los matematicamente e gerar gráficos em tempo real. O segundo sistema de aquisição de dados foi desenvolvido com microcontroladores programáveis que apresentam como característica dispositivos de pequeno porte e baixo custo e torna mais fácil sua utilização em massa diretamente no campo. Por último, o sistema de calibração projetado foi desenvolvido também com base na tecnologia de instrumentação virtual que oferece uma maneira viável de verificar pluviômetros basculantes de forma precisa e exata, parâmetros esses fundamentais para o processo de calibração. Os resultados finais foram considerados satisfatórios porque o sistema de instrumentação virtual permitiu de forma direta e intensiva o processamento de dados e, o sistema de aquisição de dados baseado em microcontroladores pode operar ininterruptamente no campo por meses sem a necessidade de trocar a bateria.

**Palavras-chave:** Pluviometria, Coletores de dados, Instrumentação eletrônica.

**ABSTRACT** – (DESIGN OF COMPUTATIONAL DEVICES FOR RAINFALL DATA LOGGING AND OPERATIONAL ANALYSES OF TIPPING BUCKET RAINFALL GAUGES) This work aims to present a technological research about rainfall gauging that resulted in the development of three electronic systems in this area. Two systems are for rainfall data acquisition and storage, and the third is for rainfall tipping-bucket gauges analysis and calibration. The first data acquisition system was designed with personal computers and virtual instrumentation technology to provide a system able to store large amount of rainfall data and to process mathematical calculus and graphs plotting in real time. The second data acquisition system was designed with programmable microcontrollers to provide a small and low-cost device to make easier their massive use directly in the field. The calibration system was also designed with virtual instrumentation technology, and it provides a

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Departamento de Engenharia Rural, Botucatu-SP, Brasil. E-mail: diegosvoltan@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências, Departamento de Computação, Bauru-SP, Brasil. E-mail: perea@fc.unesp.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Pesquisas Meteorológicas, Bauru-SP, Brasil. E-mail: bassan@ipmet.unesp.br

reliable way to verify the tipping-bucket gauges precision and accuracy that are fundamental parameters for their calibration process. The final results were considerate satisfactory, because virtual instrument system allowed an intensive and direct rainfall data processing, and the data acquisition system based on microcontrollers can operate uninterruptedly in field for months without a battery change.

**Keywords:** Rainfall gauging, Data loggers, Electronic instrumentation.

## 1. INTRODUÇÃO

Um sistema eletrônico de aquisição de dados pluviométricos é definido como um sistema composto por um pluviômetro, que realiza a medição da quantidade de chuva ocorrida em determinado ponto e, por um coletor de dados pluviométricos, que armazena as medições realizadas.

Os pluviômetros do tipo basculante permitem a sua conexão a um circuito eletrônico de registro de dados e possuem um mecanismo interno que envia automaticamente um sinal elétrico, chamado de evento neste trabalho, ao coletor de dados. Assim, todas as vezes que for registrada a ocorrência de uma lâmina de chuva igual a sua resolução, geralmente um valor típico entre 0,1 ou 0,2 mm.

Após seu armazenamento em um computador principal, esses dados podem ser manipulados pelo usuário através de softwares específicos, como editores de textos, planilhas de cálculos, etc. Neste trabalho, os coletores de dados

pluviométricos são classificados em dois tipos básicos:

- **Coletores de Dados Portáteis:** são formados por um circuito eletrônico que possui um pequeno processador dedicado exclusivamente para trabalhar nesta função. Normalmente são caracterizados por terem pequenas dimensões físicas, pequeno consumo de energia, possibilidade de alimentação por baterias, baixo custo e fácil instalação em campo;

- **Coletores com Processamento Intensivo:** são normalmente formados por computadores que possuem uma interface de hardware e um software específicos para a aquisição de dados pluviométricos. Normalmente são caracterizados pela alta capacidade processamento e de armazenamento de dados, pela facilidade de efetuarem cálculos matemáticos em tempo real, pelos recursos para disponibilização de dados na Internet e terem interfaces gráficas amigáveis com o usuário.

Leib (2003) e Riely (2006) destacam que modelos comerciais de coletores de dados para aplicações agrícolas e

ambientais giram na faixa de cem a mil dólares, enquanto que pesquisas mais recentes, como Fisher e Kebede (2010), apresentaram sistemas de aquisição de dados monitoramento de parâmetros físicos em agricultura com custo um pouco inferior a cem dólares. Obviamente que os custos dependem diretamente das características e eficiência do equipamento, mas existe uma tendência na diminuição dos custos.

Outro fator muito importante nos sistemas eletrônicos de aquisição de dados pluviométricos é a análise dos possíveis erros gerados nas medições dos pluviômetros (CIACH, 2002; SAVINA, 2012), pois as medições erradas podem comprometer toda a eficiência do sistema. Neste contexto, Humphrey (1997) e Vasvári (2005) mostram que podem ser desenvolvidos dispositivos eletrônicos dedicados especificamente para a aferição e auxílio à calibração de pluviômetros basculantes.

Assim, devido importância das informações pluviométricas em pesquisas científicas (BARBOSA *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2010; COSCARELLI e CALOIERO, 2012; MOREIRA *et al.*, 2012), a tecnologia pode ser utilizada para desenvolver dispositivos que auxiliem na calibração dos pluviômetros e dispositivos que façam o registro de medições corretas.

Devido a esses fatos, o presente trabalho também incluiu o desenvolvimento de uma ferramenta tecnológica para a aferição de pluviômetros basculantes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados pluviômetros basculantes modelo 7852M, fabricados pela Davis Instruments, com resolução de 0,2mm. Para o desenvolvimento dos coletores de dados pluviométricos portáteis, foi utilizada a tecnologia de *microcontroladores* programáveis. Para o desenvolvimento dos coletores com processamento intensivo e para o desenvolvimento do sistema computacional de aferição de pluviômetros basculantes foi utilizada a tecnologia de *instrumentação virtual*.

Os *microcontroladores* são componentes eletrônicos construídos com um pequeno computador já embutidos dentro de si, o que permite o desenvolvimento de projetos de baixo custo e pequenas dimensões físicas. Embora tenham um computador embutido, a sua velocidade de processamento é inferior a de um computador convencional, porém ela é extremamente eficiente para processar dados em diversas aplicações, inclusive na área ambiental. O microcontrolador programável utilizado

neste trabalho foi o modelo PIC16F628, da Microchip, que tem um custo na ordem de R\$10,00 e pode ser facilmente encontrado no mercado nacional.

A tecnologia de *instrumentação virtual* faz com que um computador convencional passe a operar como se fosse um instrumento específico para medir uma grandeza física ou ainda controlar algum equipamento. Essa tecnologia é composta por três elementos, que são o computador, uma interface de hardware, que faz a conexão entre o sensor e o computador, e um software de controle desenvolvido para a aplicação desejada. A partir daí, este conjunto passa a operar como se fosse um único instrumento específico de medições físicas ou, no presente caso, de medições pluviométricas.

Benghanem (2009), Benghanem (2010) e Ma *et al.* (2011) mostram trabalhos desenvolvidos nesta área com plataformas de instrumentação virtual e comprovam a eficiência do seu uso. No presente trabalho, tecnologia de instrumentação virtual utilizada foi utilizada a plataforma de instrumentação virtual, chamada LabVIEW, da National Instruments. Esta plataforma possui várias interfaces de hardware e a escolhida foi a interface modelo USB-6221-M.

A metodologia de trabalho foi baseada na divisão da pesquisa em três

partes distintas, porém inter-relacionadas, que são:

1. Desenvolvimento de um coletor de dados com Processamento Intensivo, baseado na plataforma LabVIEW, capaz de receber os dados do pluviômetro basculante e tratá-los em diferentes resoluções temporais, armazenar estas informações em bancos de dados, mostrar os dados em tempo real, interagir de forma amigável e intuitiva com o usuário;

2. Desenvolvimento de um sistema com instrumentação virtual, incluindo software e hardware, que permitisse a aferição de pluviômetros basculantes, com a finalidade de verificar sua taxa de erros de medições e facilitar sua posterior calibração;

3. Desenvolvimento de um coletor de dados portátil, baseado microcontrolador programável PIC16F628, que fosse receber os dados do pluviômetro basculante, eliminar os ruídos elétricos originários do pluviômetro sem a necessidade de componentes eletrônicos adicionais, integralizar os dados por dia, armazenar estes dados em uma memória interna e transferir os dados para um computador pessoal quando fosse necessário.

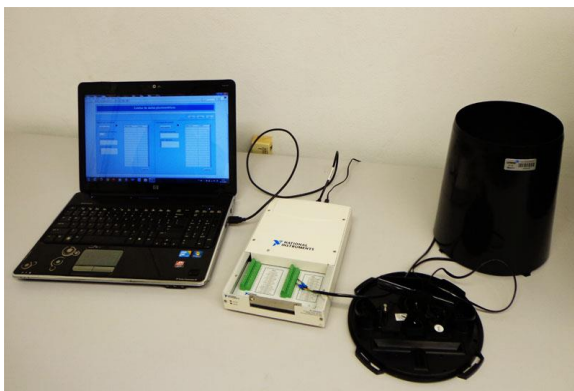
Para os testes, foram realizados procedimentos de avaliação em laboratório e também medições pluviométricas em campo, onde se pôde verificar a eficiência dos sistemas desenvolvidos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção mostra os três sistemas tecnológicos desenvolvidos e os seus respectivos resultados, além de incluir alguns exemplos de aplicações que permitem analisar de forma mais concreta o potencial de uso dos mesmos.

### O Coletor de Dados com Processamento Intensivo (CPI)

A Figura 1 mostra o Coletor de dados com Processamento Intensivo, onde o pluviômetro basculante é conectado diretamente a uma entrada de sinais elétricos da interface de hardware USB-6221-M, a qual, por sua vez, está conectada ao computador via interface USB. No computador é executado um software desenvolvido neste trabalho para a finalidade de aquisição de dados pluviométricos. Todo este conjunto cria o CPI que, em função da capacidade de processamento do computador, pode gerenciar grandes bases de dados pluviométricos e utilizá-las em tempo real.



**Figura 1.** Coletor de dados com Processamento Intensivo (CPI). Este sistema é composto por um microcomputador, o software, uma placa de aquisição de dados e um pluviômetro basculante.

A figura 2 mostra a tela do software de controle do CPI, a qual é dividida em dois módulos básicos, chamados de “Registro de intensidade” e “Contagem de eventos”, os quais mostram, respectivamente, a ocorrência de chuvas em tempo real ou na forma onde os dados são integrados em função do tempo, como a cada hora ou dia.

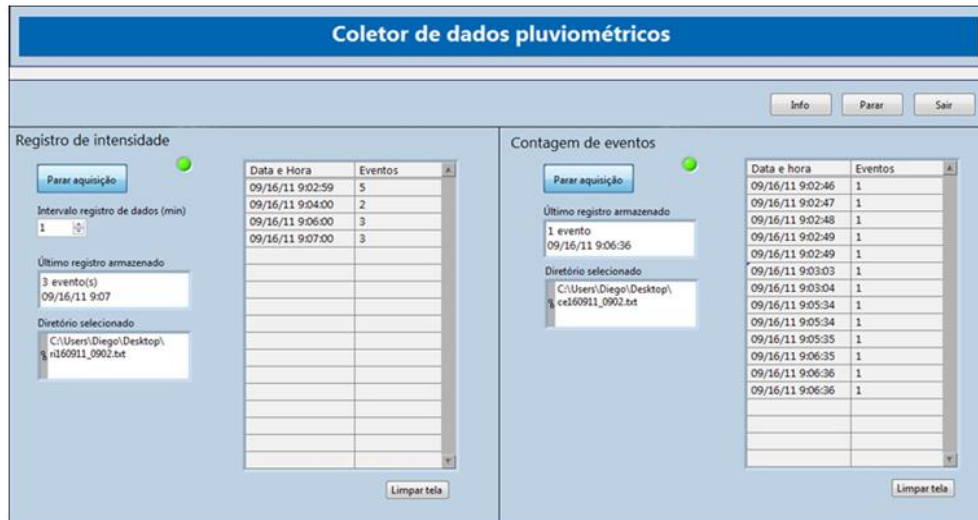
A operação do software foi projetada para ser muito simples e amigável. Em ambos os módulos, o usuário deve apenas ativar o botão “Iniciar Aquisição” para iniciar o processo de aquisição de dados. Quando a operação é iniciada, o software substitui a mensagem deste botão, colocando no mesmo a opção “Parar Aquisição”. O usuário pode optar por executar um ou dois módulos simultaneamente.

No canto superior direito estão posicionados três botões denominados “Info”, “Parar” e “Sair”, que, respectivamente, apresentam informações básicas do software, interrompe os processos de aquisição de dados e encerra o programa que está sendo executado no sistema operacional.

Em ambos os módulos, quando a operação é iniciada, o programa cria automaticamente arquivos de dados no formato texto, onde todos os dados pluviométricos coletados são

automaticamente armazenados e depois podem ser utilizados por outros programas aplicativos, como editores de textos ou planilhas eletrônicas. O quadro “Diretório

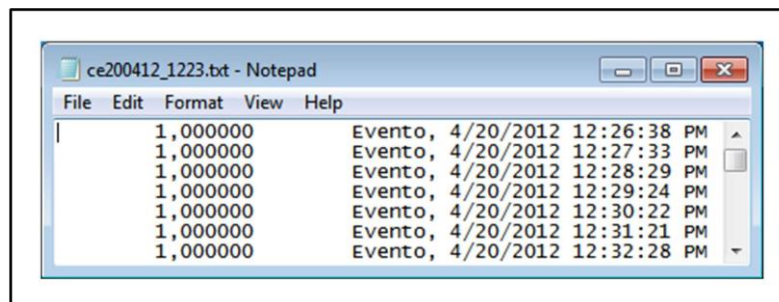
selecionado” mostra em qual diretório do computador o arquivo de texto foi salvo.



**Figura 2.** Interface gráfica do Sistema Coletor de dados pluviométricos com Processamento Intensivo (CDI).

O nome do arquivo de dados será montado com base na data e hora de quando o botão “Iniciar aquisição” foi ativado, assim, nunca haverá dois arquivos de dados pluviométricos com o mesmo nome, evitando a perda de dados e facilitando o gerenciamento de informações. Cada arquivo também terá no

final do nome a “ri” ou “ce”, que permitem diferenciar os arquivos de cada tipo de aquisição, sendo “ri” registro de dados integralizados em um período de tempo fixado pelo usuário, e “ce” registro de dados com contagem direta de eventos. A Figura 3 mostra a estrutura dos arquivos gerados.



**Figura 3.** Estrutura dos arquivos gerados pelo software do Sistema Coletor de Dados Pluviométricos com Processamento Intensivo.

Para a análise do CPI foi inicialmente realizado um experimento em laboratório, onde foi instalado um gotejador acoplado a um reservatório como uma espécie de simulador da ocorrência de chuvas, conforme mostra a Figura 4.



**Figura 4.** Estrutura do sistema montado para validação do Sistema de Verificação de Calibração de Pluviômetros.

As gotas caíam no pluviômetro com uma frequência pré-determinada e os sinais elétricos gerados pelo pluviômetro eram enviados simultaneamente ao CPI e a um contador eletrônico de pulsos (CEP), devidamente calibrado, que serviu como uma referência da contagem. Os testes ocorreram durante 5 horas e os dados dos dois sistemas (CPI e CEP) foram

comparados para que se verificassem os erros de medições. Essa análise é importante para verificar se o CPI não estava registrando ruídos elétricos como se os mesmos fossem eventos pluviométricos. Esse tipo de problema é comum em medições desse tipo e no presente trabalho, o software desenvolvido inclui uma rotina para eliminar os ruídos sem a necessidade de dispositivos auxiliares de hardware. A Tabela 1 mostra os dados dos cinco experimentos realizados nas cinco horas de testes, onde não houve nenhuma diferença entre os dados do CPI e do CEP, o que comprova que a rotina de filtragem de ruídos desenvolvido neste projeto funcionou de forma satisfatória.

**Tabela 1.** Comparação entre os números de eventos registrados pelo CPI e pelo contador eletrônico de pulsos (CEP) em um conjunto de experimentos que fizeram o CPI operar por cinco horas ininterruptamente

Experimento	Eventos		Diferença
	CPI	CEP	
1	39	39	0
2	44	44	0
3	45	45	0
4	32	32	0
5	20	20	0

**Sistema de aferição de pluviômetros com instrumentação virtual**







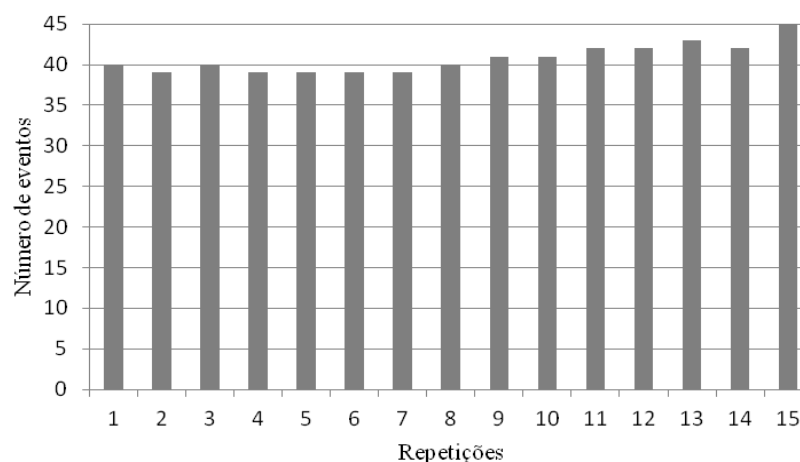
Nos testes realizados nesse trabalho, foi utilizado um pluviômetro basculante que estava em operação em campo a cerca de dois anos, sem calibração e com operação de forma ininterrupta. Desta forma, era esperado que o mesmo apresentasse erros de medições. O pluviômetro utilizado tinha um diâmetro de 16,5 cm na área de captação e resolução de 0,2 mm. Assim, considerando que 1 mm de precipitação equivale a 1 litro de água distribuído em uma área de 1 m<sup>2</sup> ou 10.000 cm<sup>2</sup>, o volume de água (Vc) necessário para completar uma cavidade da balsa para que ocorresse o seu tombamento e fosse então registrado um evento pluviométrico, calculado da seguinte forma:

$$Vc = (Ar * Rs) / 10.000$$

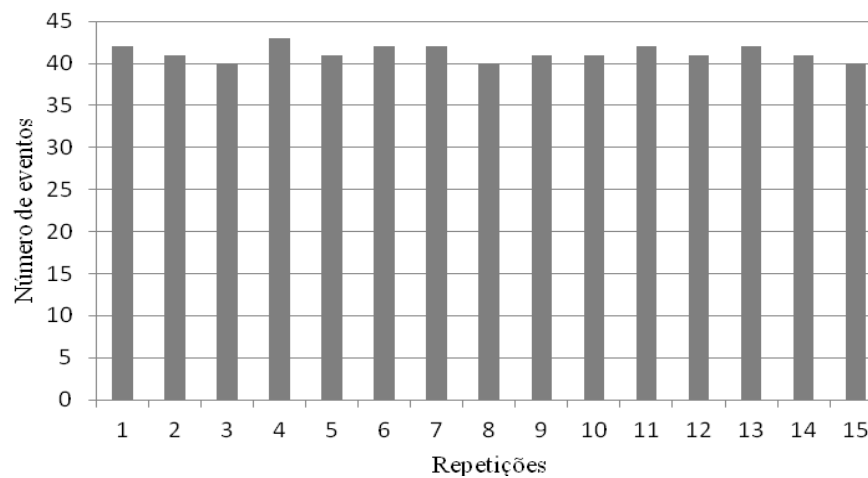
Onde:

- Ar é a área de captação do pluviômetro;
- Rs é a resolução do pluviômetro.

Com base na Equação 1, o volume de água necessário para movimentar a balsa do pluviômetro utilizado e gerar um evento, foi calculado em 4,26 ml. Para os testes, em cada experimento foram colocados 222 ml de água no recipiente do gotejador, o que deveria gerar um total de 52 eventos caso o pluviômetro estivesse devidamente calibrado. Os experimentos foram repetidos 30 vezes, sendo que em 15 experimentos o gotejador foi ajustado para gerar um volume de 4,26 ml por minuto, o que faria o pluviômetro gerar 1 evento por minuto. Depois foram realizados outros 15 experimentos com o sistema ajustado para a geração de 3 eventos por minuto. As Figuras 6 e 7 mostram os valores obtidos nas medições realizadas para os experimentos com 1 e 3 eventos por minuto.



**Figura 6.** Resultados das medições com ocorrência de 1 evento por minuto, com um valor esperado era de 52 eventos por repetição.



**Figura 7.** Resultados das medições com ocorrência de 3 eventos por minuto, com um valor esperado era de 52 eventos por repetição.

Quando o gotejador foi ajustado para gerar aproximadamente 1 evento por minuto, a média de eventos registrados por experimento foi 40,8 o que equivale a um erro 21,6% em relação ao valor esperado de 52 eventos. Com o gotejador ajustado para o pluviômetro gerar 3 eventos por minuto e a média de registros foi 41,3 eventos por experimento, o que equivale a um erro de 20,64% entre a média e o valor esperado. Em ambos os casos, o erro relativo foi na ordem de 21%, o que prova que o pluviômetro utilizado nos testes não estava calibrado e apresentava um significativo erro de exatidão.

A análise da precisão do pluviômetro, que determina a repetibilidade dos erros, pode ser feita através do cálculo do desvio padrão, pois, quando maior o desvio padrão, maior será a diferença máxima entre os valores

medidos e a média calculada. Como o desvio padrão é um valor absoluto, a análise da precisão fica mais fácil se for feita em função do coeficiente de variação.

Quando o gotejador foi ajustado para gerar 1 evento por minuto, o desvio padrão desvio padrão calculado nos registros foi 1,8. Quando o gotejador foi ajustado para gerar 3 eventos por minuto, o desvio padrão foi 0,9. Assim, os valores do coeficiente de variação, expressos na forma percentual, foram 2,1% e 4,4%, respectivamente. Pode-se verificar que quando a intensidade aumenta para 3 eventos/minuto, o problema de precisão do pluviômetro se agrava. Se o coeficiente de variação fosse nulo, então o erro das medições realizadas pelo pluviômetro seria nulo e, assim, o erro ser matematicamente

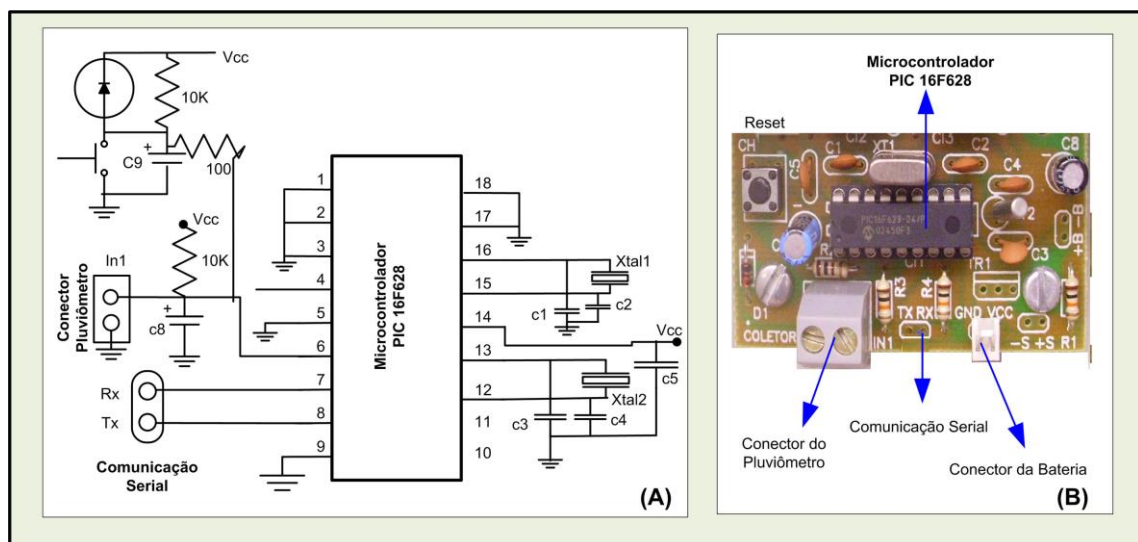
corrigido diretamente nos valores registrados.

Os dados acima provam que o pluviômetro analisado nos testes não operava de forma exata e nem precisa e, portanto, deveria ser calibrado. Outro fator observado é que esse ajuste da exatidão (erro) funciona apenas quando o pluviômetro opera com precisão (repetibilidade). A falta de precisão pode ser causada por desgastes mecânicos na balsa, o que nem sempre podem ser corrigidos. Quando o pluviômetro apresenta problemas de precisão, a cada medição, o erro irá variar.

Em termos de instrumentação eletrônica, comprovou-se que o SAP pode ser considerado uma ferramenta bastante útil no processo de aferição e calibração de pluviômetros basculantes.

### O Coletor Portátil de Dados Pluviométricos (CDP)

A Figura 8 B mostra coletor de dados de dados pluviométricos, desenvolvido neste trabalho, instalado em campo e a Figura 8 A mostra ao seu circuito eletrônico.



**Figura 8.** (A) Sistematização do circuito eletrônico do coletor de dados pluviométricos. (B) Circuito eletrônico montado em placa de circuito impresso para ser utilizado em campo.

O circuito eletrônico foi montado em uma placa circuito impresso com 32 x 56 mm e a mesma, assim como as pilhas, são condicionados dentro de uma caixa plástica que mede 11x15,5x6 cm e que tem um fator de

proteção categoria IP55, o que garante um alto grau de proteção do circuito eletrônico contra poeira e jatos de água. Esse fator de proteção é importante para que o circuito eletrônico e as pilhas de alimentação possam operar de modo

seguro em ambientes onde fiquem continuamente expostos às variações ambientais, como calor, chuva, poeira, etc.

O custo de materiais para a montagem do coletor é na ordem de US\$ 30,00. O coletor opera com uma tensão entre 3 e 5 Volts e, assim, pode, por exemplo, ser alimentado com 3 pilhas comuns. O consumo típico de corrente elétrica é de 0,07 mA (miliampères), que pode ser considerado muito baixo, permitindo a operação ininterrupta do coletor de dados durante meses ou até anos, dependendo da bateria utilizada, o que pode se calculado pela equação:

$$T=C/M$$

Onde:

- T é o tempo de operação da bateria;
- C é a capacidade da bateria, expressa em mA/h (miliAmpere/hora);
- M é o consumo de energia do datalogger, medido em 70uA ou 0,07mA.

Supondo que o coletor seja alimentado com pilhas com capacidade de 1.300 mA/h, então, com base na equação 3, podemos calcular que as baterias poderiam alimentar o coletor de dados por um período ininterrupto de 2 anos.

O microcontrolador PIC16F628, que foi utilizado no presente trabalho, tem uma memória de dados embutida, que é do tipo EEPROM. Este tipo de memória é ideal para segurança dos dados, pois não perde os dados já armazenados em caso de falhas das pilhas, o

que assegura uma maior confiabilidade para operações em campo por longos períodos. Esta memória tem capacidade para armazenar 128 Bytes e o coletor desenvolvido utiliza dois bytes para cada registro de dados pluviométrico.

Cada registro pluviométrico representa a integralização quantidade de chuvas medidas durante um dia específico. Embora existam pesquisas que exijam medições em resoluções temporais de horas, a medição diária ou até mesmo histórica também é muito utilizada para diversas aplicações, como na agricultura (Berne, 2002). A relação entre o tamanho do registro (N) o índice pluviométrico máximo que ele pode representar ( $I_{max}$ ) é expresso por:

$$I_{max} = 2^{(N*8)} * R_p$$

Onde:

- $R_p$  é a resolução do pluviômetro basculante;
- N é o número de bytes utilizados em registro de dados pluviométricos.

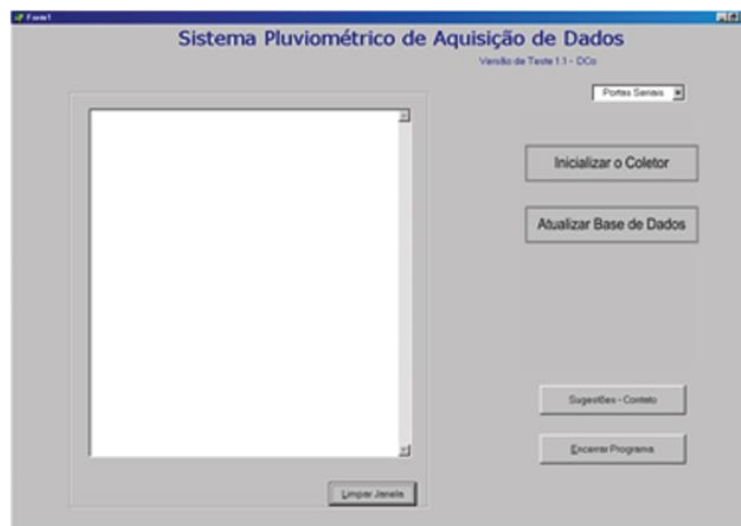
Neste trabalho o valor de N é 2 e se for utilizado um pluviômetro com resolução de 0,2mm, então cada registro poderia corresponde a uma intensidade de até 6553 mm/dia. Esse valore é muito grande para representar as chuvas reais máximas de um único dia, no entanto, se fosse utilizado um único byte (N=1), esse

valor cairia 51 mm/dia, o que, em muitos casos, poderia ficar muito abaixo de ocorrência diárias reais.

Em função do tamanho da sua memória de dados, o CDP pode registrar chuvas por um período ininterrupto de 64 dias, o que pode ser considerado bastante significativo, principalmente pelo fato do próprio pluviômetro exigir “manutenções” mais periódicas devido a ações de agentes externos, como folhas, poeira ou insetos,

que podem comprometer a sua operação. Assim, é recomendado que o mesmo fosse vistoriado periodicamente, em prazos usualmente menores do que o seu período máximo de operação.

A Figura 9 mostra a tela do software desenvolvido nesse trabalho para permitir o gerenciamento do CDP, o qual, que pode ser controlado por apenas duas opções básicas, que são a de *inicializar o coletor* e a de *atualizar a base de dados*.



**Figura 9.** A tela de operação do software de comunicação com o coletor de dados.

A opção de inicializar o coletor transfere automaticamente a data e horário do computador para o coletor de dados, o qual atualiza o seu relógio interno. Este relógio permite ao coletor saber quando um determinado dia termina e assim fazer a gravação do registro pluviométrico do mesmo. A data de inicialização permite ao

coletor ter um registro de quando começaram as medições.

A opção atualizar a base de dados faz com que o computador envie um comando ao coletor de dados que imediatamente transfere todos os seus registros pluviométricos para o computador, que recebe estes dados e os grava em um

arquivo de dados que pode ser posteriormente manipulado pelo usuário. O arquivo gerado é um arquivo no formato texto e que pode ser diretamente importando por editores de textos ou planilhas de cálculos. O nome do arquivo é formato pela data e horário de sua criação, seguindo o mesmo, processo utilizado no CPI, o que evita sobreposição de dados em transferências sucessivas de dados.

O CDP é conectado diretamente a interface serial do computador através de um cabo específico, chamado cabo conversor serial TTL/RS232, que pode ser encontrado no mercado a custo na ordem de R\$30,00. Atualmente, alguns computadores, principalmente notebooks, não são mais fabricados com interfaces seriais, utilizando apenas interface USB. Nesse caso, o cabo especificado pode ser substituído por um cabo chamado cabo conversor TTL/USB que tem um custo na ordem de R\$50,00. O computador e os cabos são apenas dispositivos auxiliares, sendo que um único conjunto pode atender diversos CDP.

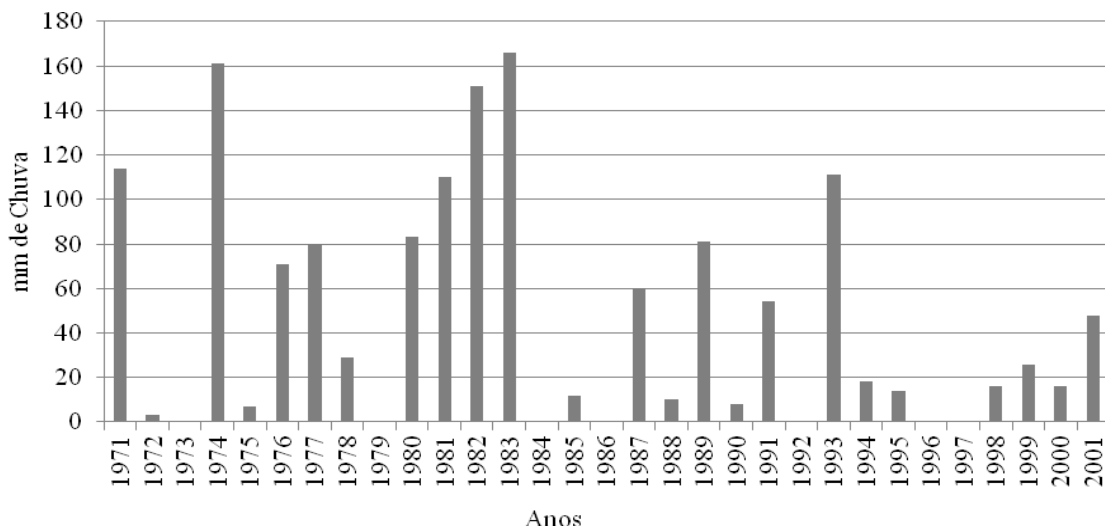
A instalação física do Coletor de Dados é muito simples. O mesmo tem um conector com dois terminais que são ligados diretamente ao pluviômetro basculante. Após o ajuste do relógio, através da opção inicializar o coletor do software, o CDP passa a operar e registrar

dados automaticamente, sem necessidade de nenhuma outra operação.

### **Análise de Aplicabilidade**

Para os testes em campo, os sistemas de aquisição de dados pluviométricos desenvolvidos neste trabalho foram instalados em Bauru-SP, nas coordenadas 22° 21' 05" S e 49° 02' 00" W, a uma altitude de 589 metros. Convém destacar que o objetivo deste artigo não é discutir a intensidade, duração e frequências das chuvas na região de Bauru, mas sim utilizar alguns dados reais para exemplificar a eficiência e potencial dos sistemas eletrônicos de aquisição de dados pluviométricos desenvolvidos nesse trabalho. Para descrição neste artigo, foram analisados os dados registrados no mês de junho de 2012 pelo fato deste mês ser um período usualmente com pouca chuva na região, porém, em 2012 houve um período chuvoso atípico, o que justifica sua escolha.

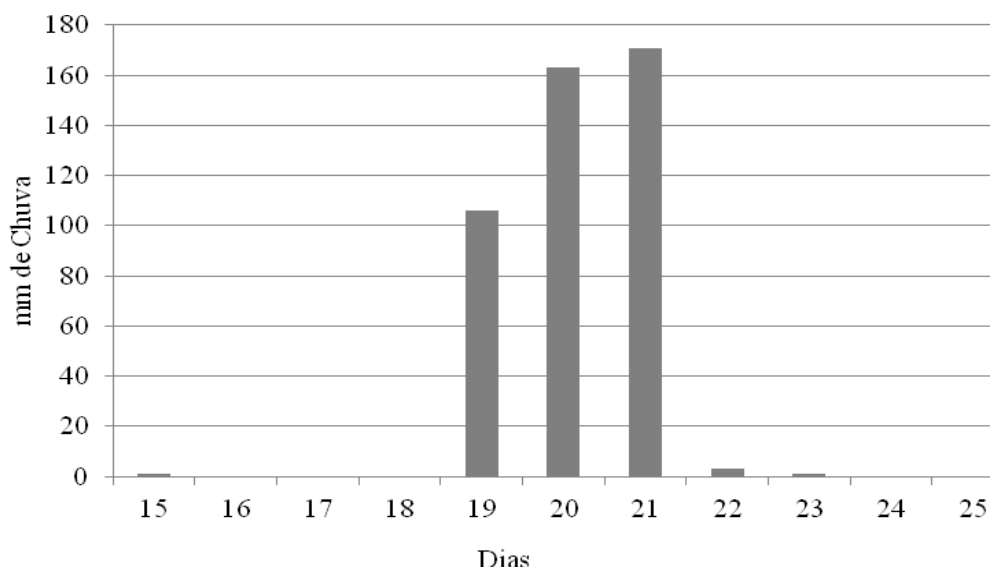
A Figura 10 mostra as intensidades de chuvas acumuladas nos meses de junho em Bauru-SP para o período de 1971 a 2012, computados a partir de dados disponibilizados publicamente nos sites do SigRH (2012) e IPMet-UNESP (2012).



**Figura 10.** Intensidade de chuva no mês de junho entre os anos de 1971 e 2012, em Bauru-SP.

Em junho de 2012, foram registrados 197mm de chuvas na região onde os equipamentos foram instalados, sendo esse o maior valor desde 1971. A Figura 11 mostra que, para uma análise mais detalhada, os valores diários foram

verificados e constatou-se que 19 e 21 de junho de 2012, foi registrado um total de 90,2 mm, o que corresponde a 45,7% do índice pluviométrico do referido mês e que é um valor superior aos totais mensais de 35 anos desde 1971.

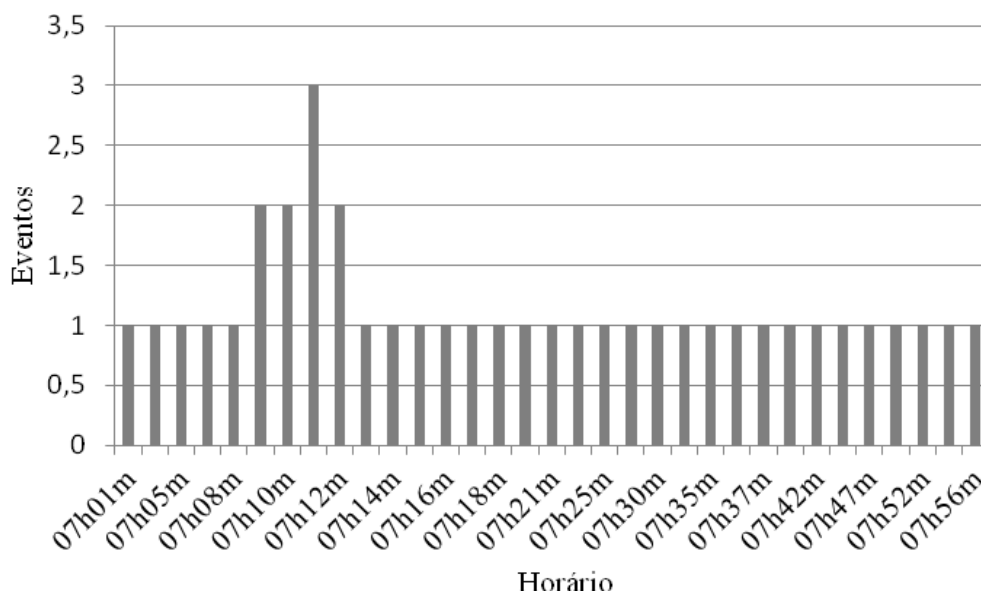


**Figura 11.** Dados diários de chuvas em Bauru-SP, entre os dias 15 e 25 de junho de 2012.



Para uma análise com menor escala temporal, foi feita uma análise com dados registrados minuto a minuto. A Figura 12 exemplifica os dados dessas medições

através da chuva registrada por minuto entre 7H00 e 7h30m, do dia 20/06/2012, onde se observa que o maior pico foi de 0,6mm/minuto.



**Figura 12.** Dados pluviométricos registrados minuto a minuto.

Os dados pluviométricos apresentados nessa seção mostram que os sistemas eletrônicos desenvolvidos nesse trabalho podem fazer o registro de dados pluviométricos de forma eficiente, em diferentes escalas temporais, podendo atender aos interesses de pesquisas com diferentes objetivos e particularidades.

#### 4. CONCLUSÃO

O sistema baseado em instrumentação virtual mostrou-se eficiente

para o registro de dados pluviométricos em diferentes escalas temporais e também para processamento intensivo de dados em tempo real.

O sistema de coletor portátil de dados pluviométricos desenvolvido, com microcontroladores, apresentou vantagens para fácil instalação em campo devido as suas pequenas dimensões físicas e baixo consumo de energia, além de também apresentar baixo custo.

O sistema para aferição automática de pluviômetros basculantes mostrou a capacidade de verificar matematicamente

os níveis de precisão e exatidão dos pluviômetros, o que é importante para uma análise crítica sobre sua operacionalidade e também na sua calibração.

Além dos resultados em si, o trabalho permitiu o desenvolvimento de uma base tecnológica na área de pluviometria que poderá servir como base para outros trabalhos futuros, os quais poderão ser desenvolvidos em função de necessidades específicas das pesquisas regionais e de outros grupos de pesquisas nesta área.

#### AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão de bolsas de mestrado ao primeiro autor. A FAPESP pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do coletor portátil de dados pluviométricos com microcontroladores. Ao IPMet-UNESP pelo fornecimento de dados meteorológicos.

#### 5. REFERÊNCIAS

BARBOSA, F.C.; TEIXEIRA, A.S.; GONDIM, R.S. Espacialização da evapotranspiração de referência e precipitação efetiva para estimativa das necessidades de irrigação na região do Baixo Jaguaribe - CE. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.11, p.24-33, 2005.

BENGHANEM, M. Measurement of meteorological data based on wireless data acquisition system monitoring. **Applied Energy**, v. 86, n. 12, p. 2651-2660, 2009.

BENGHANEM, M. A low cost wireless data acquisition system for weather station monitoring. **Renewable Energy**, Oxford, v. 35, n. 4, p. 862-872, 2010.

BERNE, A.; DELRIEU, G.; CREUTIN, J.; OBLED, C. Temporal and spatial resolution of rainfall measurements required for urban hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 299, n. 3-4, p. 166-179, 2004.

CAPONETTO, R.; DONGOLA, G.; FORTUNA, L. Fractional order systems: modeling and control applications. 1. Ed. V. 32. Cingapura: World Scientific Publish Co, Pte, Ltd, 2010. 200p.

CIACH, G. J. Local Random Errors in Tipping-Bucket Rain Gauge Measurements. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 20, p. 752-759, 2003.

COSCARELLI, R.; CALOIERO, T. Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region). **Journal of Hydrology**, v. 416-417, p. 145-156, 2012.

FISHER, D. K.; KEBEDE, H. A low-cost microcontroller-based system to monitor crop temperature and water status. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, n. 1, p. 168-173, 2010.

HUMPHREY, M. D., ISTOK, J. D; LEE, J. Y.; HEVESI, J. A.; FLINT, A. L. A New Method for Automated Dynamic Calibration of Tipping-Bucket Rain Gauges. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 14, p. 1513-1519, 1997.

LEIB, B. G.; MATTHEWS, G.; KROEGER, M. Development of an on-time logger for irrigation systems, **Agricultural Water Management**, v. 62, n. 1, p. 67-77, 2003

MA, T.; DU, F.; FANG, C. Sensors State Monitoring based on LabVIEW and Wireless Nodes. **Procedia Engineering**, v. 15, p. 2639 – 2643, 2011.

MOREIRA, J.C.; PERES, F.; SIMÕES, A.C.; PIGNATI, W.A.; DORES, E.C.; VIEIRA, S.N.; STRÜSSMANN, C.; MOTT, T. Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1557-1568, 2012.

SAVINA, M.; SCHÄPPI, B.; MOLNAR, P., BURLANDO, P.; SEVRUK, B. Comparison of a tipping-bucket and electronic weighing precipitation gage for snowfall, **Atmospheric Research**, v. 103, p. 45-51, 2012.

SILVA, A.P. N.; LIMA, F.J. L.; SILVA, A.O.; MOURA, G. B. A. Valores efetivos de precipitação pluvial para manejo da irrigação na cana-de-açúcar em Goiana, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 585-591, 2010.

RILEY, T. C.; ENDRENY, T.A.; HALFMAN, J.D. Monitoring soil moisture and water table height with a low-cost data logger. **Computers & Geosciences**, v. 32, n. 1, p. 135–140, 2006.

VASVÁRI, V. Calibration of tipping bucket rain gauges in the Graz urban research area, **Atmospheric Research**, v. 77, n. 1–4, p. 18-28, 2005

WMO Guide to Meteorological Instruments and methods of Observation (7th ed., 2008). Disponível em: <[http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO\\_Guide-7th\\_Edition-2008.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf)>. Acesso em: 04 Agosto 2012.