



Medidas de fluxo e perfil de calor no solo com monitoramento em tempo real utilizando raspberry pi⁽¹⁾.

João Basso Marques⁽²⁾, José de Souza Nogueira⁽³⁾, Rafael da Silva Palácios⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES; ⁽²⁾ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT); ⁽³⁾ Professor Titular do Programa de Pósgraduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT); ⁽⁴⁾ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

RESUMO: A dinâmica da evaporação da água contida no solo, principalmente na interface solo-atmosfera, é tema de discussões fundamentais para a física em todas as escalas, principalmente no que diz respeito aos fluxos de massa e energia na superfície do solo. Mesmo assim, esses efeitos não são totalmente conhecidos, tornando-se tornando-os elementos chaves para o cálculo correto dessa dinâmica. As medidas de fluxo e perfil de calor no solo são amplamente utilizadas para pesquisas em agronomia de precisão, micrometeorologia, ciências do solo e outras.. Nessa perspectiva, foi desenvolvido um sistema de monitoramento remoto e controle de sensores dedicados as variáveis de temperatura e fluxo de calor no solo para pesquisa. O projeto baseia-se em uma placa de computador de baixo custo, Raspberry Pi e conexão 3G. Um conversor analógico digital de 12 bits com comunicação SPI e protocolo I2C. O sistema instalado foi o Raspbian Linux rodando scripts na linguagem Python. Esta solução permite o envio em tempo real das medidas e as informações de campo usando 3G, com característica de ser muito econômica e fácil de personalizar.

Termos de Indexação – Solo, agricultura de precisão, Raspberry Pi, 3G, SPI, I2C

INTRODUÇÃO

A maioria dos experimentos realizados em agrometeorologia, ciências do solo e micrometeorologia, envolvem a coleta de informações precisas (Dalmago et al, 2015), dados de temperatura, umidade relativa do ar, radiação global, radiação refletida, fluxos de IR, CO₂, CH₄, vapor d'água, temperatura do solo, fluxo de calor no solo entre outras. Os

resultados destas experiências têm ajudado no desenvolvimento de modelos qualitativos e quantitativos para aplicação na micrometeorologia, climatologia, agrometeorologia e pesquisas da interface solo-atmosfera (Zheng et al., 1993). A energia acumulada no solo e sua interação com a atmosfera influencia inúmeros processos como a difusão de solutos e gases (Bitteli et al., 2008), e atividades de microorganismos, assim como a velocidade das reações químicas do solo (Muneepeerakul et al., 2010).

Experimentos recentes buscam validar medidas obtidas através de sensoriamento por satélite de sistemas dinâmicos utilizando-se de dados experimentais locais (Liu, 2015). Atualmente existe torres micrometeorológicas instaladas em diversos biomas, como Pantanal, Cerrado e floresta Amazônica (Vourlits et al., 2013; 2014; Junior et al., 2011). Essas torres são projetadas para investigar as diversas variáveis microclimáticas em pontos estratégicos, regiões em uma faixa de transição entre os principais biomas brasileiros, proporcionando séries temporais fundamentais para o avanço no entendimento do microclima e do clima.

Normalmente, os dados medidos são recolhidos pessoalmente de acordo com a disponibilidade do pesquisador e autonomia do sistema. Alguns equipamentos mais modernos e consequentemente com custos mais elevados, disponibilizam, de forma opcional, um módulo de transferência de dados remoto. No entanto, esse serviço está vinculado a um servidor web do fabricante, que requer do usuário algum tipo de conta online. Os altos custos e falta de padronização dos equipamentos de diferentes marcas tornam a coleta de dados dispendiosa ao pesquisador, de modo a tornar-se um fator



limitante, especialmente aqueles que requerem distancias significativas entre os sensores e medidas em tempo real. Uma solução típica para o problema de medidas programadas é a visita constante do pesquisador ao local de estudo onde são realizadas as medidas e leituras manualmente. Neste contexto esse trabalho analisou uma alternativa de baixo custo para um sistema de monitoramento em tempo real, de aquisição dos dados, envio de medidas dos sensores instalados no campo para os sensores de fluxo de calor no solo e temperatura do solo em várias profundidades. Para tanto, foi utilizado a placa Raspberry pi, adaptada para qualquer sistema, com baixo nível de complexidade (Arnold et al, 2015) e sensores de precisão, facilmente empregável.

MATERIAL E MÉTODOS

Os sensores utilizados para este trabalho foram 8 termistores e uma placa de fluxo de calor no solo.

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) (**Figura 1**), localizada no município de Santo Antônio de Leverger (15°46'S e 56°05'W) a uma altitude média de 140m acima do mar, o solo é classificado como Planossolo Háptico Eutrófico gleissólico e o clima Aw segundo Köppen (Borges et al, 2005). A área de estudo possui características de cerrado sensu stricto e formas campestres, conhecida localmente como campo sujo. No entanto, essa região apresenta vegetação típica de uma faixa de transição entre pantanal e cerrado. (Penso et al, 2009).



Figura 1 – Foto da área destinada a pesquisas micrometeorológicas da Fazenda experimental da UFMT.

Os sensores utilizado para este projeto foram o DS18B20 Dallas com protocolo de comunicação I2C, e uma Placa de fluxo de calor no solo (HFP01-15, Thermal Sensors, Hukseflux).

A placa Raspberry PI utilizada pode ser vista na **Figura 2**.

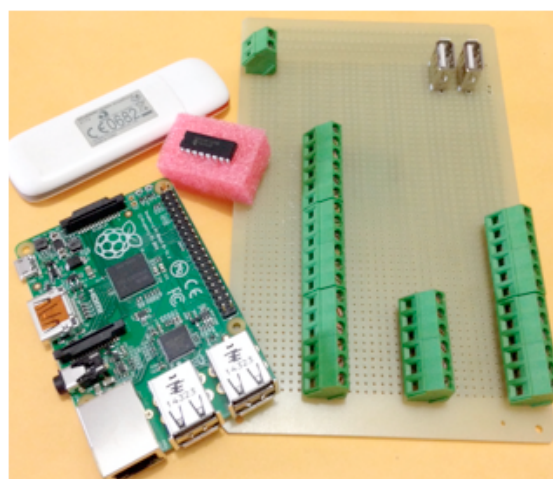


Figura 2 – A placa Raspberry Pi B+, principais componentes, modem 3G USB usado para conexão, CI (MCP3208) e a placa com os conectores para os sensores.

Todo o sistema foi projetado focando a utilização de um hardware de baixo custo, software livre, simples de se montar e operar. Neste projeto foi utilizado linguagem de programação *python* para escrita dos scripts de comunicação com os sensores e todo o procedimento de registro e envio dos dados.

O modelo utilizado nos testes em bancada foi, inicialmente; o raspberry PI B+, apresentando desempenho acima do necessário para este projeto que permite trabalhar com tranquilidade para adicionar novas variáveis, se necessário. Os detalhes sobre as especificações exatas do RasPi podem ser encontrados com mais detalhes na web page (<https://www.raspberrypi.org>, 2015). O Raspberry Pi foi uma solução ideal para experiências dinâmicas, pelo seu tamanho e o sistema operacional (SO) Linux, suporta USB 2.0, rede ethernet, sem fio (WiFi) e 3G.

Para a aquisição de dados analógicos de sensores, foi utilizado conversor analógico digital com protocolo SPI, o Componente



integrado MCP3208 possui 8 canais ADC single e 4 pseudo diferenciais, podendo ser expandido para mais canais (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21298c.pdf>, 2015) (**Figura 3**).

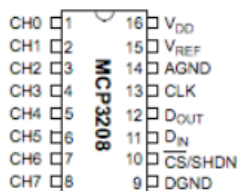


Figura 3 – Esquema do CI conversor analógico digital com 8 canais da Microship com protocolo SPI e serial, utilizados para sensores analógicos.

Para a rede local foi utilizado adaptador WiFi USB e externo Adaptador 3G USB, (**Figura 2**). Como fonte de energia utilizamos uma bateria de 12V e 60Ah ligada a um conversor estabilizado de 12V para 5V e 1,5 A.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas obtidas em bancada para verificação de estabilidade do sistema podem ser visualizadas na figura (**Figura 4**).

Ao realizar testes de verificação da autonomia do sistema foi utilizada uma bateria de 12V e 60A/h, uma placa fotovoltaica de 14V e 30Watts. Foi verificado que para longos prazos em ambientes externos os equipamentos utilizados foram suficientemente eficientes. O prazo máximo feito até o momento foi de 120 dias, e a autonomia com a bateria sem fonte de recarga, apenas consumindo a carga foi de 20 dias. Este projeto, faz parte de um projeto maior que visa utilizar o *logger* desenvolvido para torres micrometeorológicas e com múltiplos sensores e protocolos, monitoramento e controle. Desse modo as medidas com os sensores de temperatura e fluxo de calor no solo foi feito apenas em bancada. As medidas em bancada tiveram estabilidade, apresentando interrupção apenas por problemas de fornecimento de energia. Os dados brutos gravados no raspberry Pi com frequência de 1Hz, conectado na rede ethernet, foram transferidos a cada trinta segundos, e o

raspberry conectado por 3G foram programados para transferir a cada trinta minutos, ou 1 hora.

A saída em formato texto foi formatada como (.csv) para gravar o tempo de leitura (em milissegundos) a leitura da temperatura (em °C), o fluxo de calor no solo (em mV). O script foi feito para fazer uma leitura a cada 0.2 s, significa que poderia ser feita a leitura de todos os sensores a cada segundo, caso seja necessária tal amostragem. Os dados de saída, (**Tabela 1**), composta por uma coluna de tempo (data e hora) e demais colunas para os sensores instalados.

Tabela 1 – Exemplo de saída de dados no formato (CSV), a divisão das colunas são determinadas pelas vírgulas. Neste exemplo temos Data e hora, temperatura do ar e umidade relativa do ar.

```
2015-01-20 00:00:06.807929, 26.299,  
2015-01-20 00:01:07.393610, 26.299,  
2015-01-20 00:02:07.976906, 26.299,  
2015-01-20 00:03:11.092556, 26.299,  
2015-01-20 00:04:11.680042, 26.299,  
2015-01-20 00:05:12.236848, 26.299,  
2015-01-20 00:06:15.346501, 26.200,  
2015-01-20 00:07:18.401287, 26.100,  
2015-01-20 00:08:18.983697, 26.100,  
2015-01-20 00:09:19.569627, 26.000,
```

As linhas representam, uma nova medida do conjunto sensores. Essa formatação corresponde ao padrão usado para dados micrometeorológicos, permite a fácil visualização da medição da temperatura de um sensor em função do tempo. Na **Figura 4**, apresenta-se um gráfico gerado a partir de um conjunto de dados, obtidos a partir de oito sensores de temperatura, essas medidas serão utilizadas para verificação do perfil de calor no solo. Este conjunto de dados corresponde a temperatura do ar de vinte e quatro horas.

Os dados mostram o ciclo diário de temperatura, a diferença entre os sensores, uma vez verificada a diferença intrínseca do sensor no tempo, podemos calibrar todos os sensores com uma medida absoluta de temperatura feita com um termopar. Apesar de mostrar medidas apenas de um dia, foram feitas medidas de 4 meses para verificar a estabilidade do sistema.

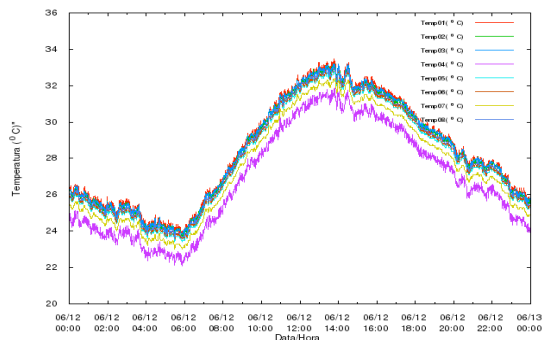


Figura 4 – Temperatura do ar de 8 sensores, medidas feitas em laboratório. Esta medida tem um alta frequência, considerando que para micrometeorologia o padrão são médias de 30min.

CONCLUSÃO

O sistema apresentado neste trabalho tem provado ser uma solução fácil utilização, de baixo custo e confiável para o monitoramento de perfil e fluxo de calor no solo. Foi verificada a estabilidade do sistema, na frequência de medidas, longo tempo e envio dos dados.

A simplicidade deste sistema, na forma em que foi apresentada, mostra-se útil para instalações de pesquisa acadêmica e de investigação, uma vez que pode ser facilmente instalado e modificado para as necessidades da pesquisa em específico.

Outra aplicação do presente sistema seria a aplicação na montagem de experimentos em bancada para demonstrações de fenômenos que requerem o registro em tempo real dos eventos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e o Programa de Pós-graduação em Física Ambiental do Instituto de Física da UFMT.

REFERENCIAS

BITTELLI, M.; VENTURA, F.; CAMPBELL, G. S.; SNYDER, R. L.; GALLEGATI, F.; PISA, P.R. Coupling of heat, water vapor, and liquid water fluxes to compute evaporation in bare soils.

Journal of Hydrology, 362: 191–205, 2008. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.08.014.

BORGES, H. B. N.; Shepherd, G. J. Flora e estrutura do estrato lenhoso numa comunidade de Cerrado em Santo Antônio do Leverger, MT, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 28(1), 61-74, 2005.

MUNEEPEERAKUL, C. P.; MUNEEPEERAKUL, R.; MIRALLES-WILHELM, F.; RINALDO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Dynamics of wetland vegetation under multiple stresses: a case study of changes in sawgrass trait, structure, and productivity under coupled plant-soil-microbe dynamics. *Ecohydrol.* 4:757–790, 2011. doi: 10.1002/eco.165.

VOURLITS, G. L.; LOBO F. A.; LAWRENCE, S.; CODOLLO I. L.; PINTO, O. B.; DALMAGRO, H. J.; NOGUEIRA, J. S. Variations in stand structure and diversity along a soil fertility gradient in a Brazilian savanna (Cerrado) in southern Mato Grosso. *Soil Science Society of America Journal*, 77(4), 1370-1379, 2013.

VOURLITS, G. L.; LOBO, F. A.; PINTO Jr, O. B.; ZAPPIA, A.; DALMAGRO, H. J.; DE ARRUDA, P. H. Z.; NOGUEIRA, J. S. Variations in aboveground vegetation structure along a nutrient availability gradient in the Brazilian pantanal. *Plant and Soil*, 1-15, 2014.

ZHENG, D.; HUNT JR.; E. R. RUNNING, S. W. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. *Climate Research*, 2: 183-191, 1993.

JÚNIOR, M. Z. A.; LOBO, F. A.; DALMAGRO, H. J.; VOURLITS, G. L.; ORTIZ, C. E. R.; DALMOLIN, Â. C.; SULI, G. S. Efeito do microclima no intercâmbio gasoso potencial de cambará (*Vochysia divergens* Pohl) e lixeira (*Curatella americana* L.) em área de Cerrado. *Revista Brasileira de Biociências*, 9(1), 2011.

PENSO, S.; OLIVEIRA, B. M.; CHICHORRO, J. F.; GONDIM, C. A.; VASCONCELOS, L. V. Caracterização estacional de uma pastagem natural do cerrado Mato-Grossense submetida ao pastejo. *Ciência Animal Brasileira*, 10(1), 124-134, 2009.

DALMAGO, G. A.; DA CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; SANTI, A.; FOCHESSATTO, E. Potencial de aplicação da Agrometeorologia em Agricultura de Precisão para produção de grãos. *Embrapa Trigo-Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)*, 2015.

LIU, W. T. H. *Aplicações de sensoriamento remoto*. Oficina de Textos, 2015.