



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Avaliação de microclimas das paisagens da APA do Guariroba com desenvolvimento e uso de tecnologias embarcadas para sensoriamento

Jiyan Yari¹, Ademir Kleber Morbeck de Oliveira², Jorge de Souza Pinto³, Alexandra Pires do Prado Yari⁴

¹ Doutor Professor em Computação, Campus Campo Grande, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul, Rua Taquari, 831, Bairro Santo Antônio, CEP 79.100-510, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. (67) 3357-8501. jiyanms@gmail.com (autor correspondente). ² Doutor Professor em Ciências da Universidade Anhanguera-Uniderp, Rua Ceará, 333, Vila Antônio Vendas, CEP 79003-010, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. (67) 3348-8000. akmorbeckoliveira@gmail.com. ³ Doutor Professor Associado do Departamento de Ciências Contábeis Campus Pantanal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Rio Branco, 1270 - Universitário, CEP 79304-902, Corumbá, Mato Grosso do Sul. (67) 3234-6813. profjorgejs@uol.com.br. ⁴ Dra. Pesquisadora no Campus Campo Grande, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Cidade Universitária - Campo Grande, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Costa e Silva, s/nº - Bairro Universitário, CEP 79070-900, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. (87) 3345-7000. alexandrapiresprado@gmail.com.

Artigo recebido em 07/11/2022 e aceito em 27/03/2023

RESUMO

Ecossistemas alterados pela ação antrópica em decorrência do mau uso do solo, principalmente pelas práticas da monocultura e/ou pastagens mal planejadas, têm como resultado a formação de áreas degradadas. Esta perda da cobertura vegetal provoca perturbações e desequilíbrio ambiental, produzindo danos de difícil recuperação a todo o ecossistema da região. O objetivo da pesquisa foi obter informações ambientais nos diversos microclimas da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba, que abastece de água o município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, utilizando sensores em *dataloggers* estacionários. Os procedimentos consistiram no desenvolvimento das miniestações meteorológicas, softwares, colocação dos equipamentos nas diferentes áreas de cobertura vegetal e coleta de dados ambientais, como umidade do ar, do solo e temperatura. Os resultados foram comparados e as informações permitiram a geração de gráficos dos dados coletados nos microclimas. A avaliação das análises dos microclimas demonstrou, nestes locais de pesquisa, que os impactos ambientais de retirada de cobertura do solo resultam em desequilíbrios, tais como o aumento de temperatura no local e baixa umidade do solo, resultando em amplitudes térmicas altas nas áreas degradadas e com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, indicando que ações antrópicas não conscientes afetam o equilíbrio do ambiente e são impactantes como em áreas sensíveis, como de nascentes.

Palavras-chave: áreas degradadas, miniestações meteorológicas, *dataloggers*, análises dos microclimas, amplitudes térmicas.

Assessment of microclimates of the APA do Guariroba landscapes with the development and use of embedded technologies for sensing

ABSTRACT

Altered ecosystems by anthropic action as a result of poor land use, mainly by monoculture practices and/or poorly planned pastures, result in the formation of degraded areas. This loss of vegetation cover causes disturbances and environmental imbalance, producing damage that is difficult to recover to the entire ecosystem of the region. The objective of the research was to obtain environmental information on the different microclimates of the Environmental Protection Area of the Mananciais do Córrego Guariroba, which supplies water to the municipality of Campo Grande, Mato Grosso do Sul, using sensors in stationary *dataloggers*. The procedures consisted in the development of meteorological mini-stations, software, placement of equipment in different areas of vegetation cover and collection of environmental data, such as air and soil humidity and temperature. The results were compared and the information allowed the generation of graphs of the data collected in the microclimates. The evaluation of microclimate analyzes demonstrates, in this research area, that the environmental impacts of soil cover removal result in imbalances, such as an increase in temperature at the site and low soil moisture, resulting in high thermal amplitudes in degraded areas and with little or no vegetation cover, indicating that non-conscious human actions affect the balance of the environment and are impactful in sensitive areas, such as springs.

Keywords: degraded areas, *dataloggers*, meteorological mini-stations, microclimate analyzes, thermal amplitudes.

Introdução

As Áreas de Preservação Permanente (APP) foram instituídas pelo Código Florestal Brasileiro de 1965, passando a floresta a ser entendida como um bem jurídico, responsável pela manutenção dos ecossistemas, por meio da proteção dos recursos hídricos e biodiversidade, estabilidade geológica, manutenção da paisagem, proteção do solo e bem-estar das populações humanas.

Posteriormente, a Lei nº 12651/2012 (PLANALTO, 2022) descreve as APP como áreas “cobertas ou não por vegetação nativa, e possuem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

A Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba, denominada também APA do Guariroba, é localizada no município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul e foi criada pelo Decreto Municipal nº 7.183/95, de 21 de setembro de 1995 (PMCG, 2022), que assegura o uso adequado dos recursos naturais, bem como implementar ações para a recomposição das áreas degradadas devido às práticas agropastoris inadequadas. No seu Artigo 1 consta a obrigação de promover o constante monitoramento da qualidade ambiental do manancial e a implementação de projetos específicos, que possam contribuir com a sua conservação (ARCPGUARIROBA, 2008).

O município de Campo Grande, onde está localizada a APP do Guariroba, conta com população estimada de 916.001 habitantes em uma área de 8.082,978 km² (IBGE, 2021), sendo que a captação de água para uso da população ocorre principalmente a partir do córrego Guariroba, complementada em volume aproximadamente igual pelos aquíferos subterrâneos. A bacia hidrográfica do córrego localiza-se no nordeste do município e possui área de 36.196 ha. A região, desde sua ocupação, sofreu grandes transformações em sua paisagem, sendo que no ano de 1982 foi construída uma barragem, formando um reservatório aproximado de 100 ha com a finalidade de abastecer Campo Grande (Oliveira *et al.*, 2017).

Neste cenário o córrego Guariroba é compreendido por reservatório com lâmina d'água de aproximadamente 99 hectares, cuja barragem foi construída entre os anos de 1982 e 1987, a fim de abastecer a cidade de Campo Grande (PMCG-AG, 2022), assim, de forma a recuperar e conservar

o principal sistema produtor de água bruta para abastecimento público foi criada a Área de Proteção Ambiental (APA) do Guariroba em 1995 (Capone, 2021).

Dados de Oliveira *et al.* (2017) demonstraram que em 2017, a área de Cerrado ocupava 6.600 hectares, silvicultura, 2.967 ha, pastagens, 8.614 ha, solo exposto, 17.906 ha e corpo hídrico, 109 ha, também indicando que as alterações ambientais ocorridas nas últimas décadas tiveram como resultado uma redução na quantidade de água armazenada pela barragem.

Neste sentido, Fink *et al.* (2020) destacam que a Bacia Hidrográfica do Córrego Guariroba representa a fonte de mais de 34% da demanda municipal de abastecimento de Campo Grande, neste contexto, afirmam ainda que o Mapa de Fragilidade Emergente (MFE) aponta como resultado que aproximadamente 57% da área da bacia é caracterizada com médio grau de fragilidade potencial e 70% com alto grau de fragilidade emergente.

De acordo com Rodrigues *et al.* (2007), a perda de recursos hídricos está relacionada com a cobertura vegetal, que atua como elemento responsável pela estruturação do solo através do sistema radicular e este, por sua vez, constitui uma rede de raízes que confere à camada superficial uma defesa eficiente contra a ação erosiva da água, recurso que se apresenta na forma de resistência a lixiviação. Sem esta proteção, os processos de erosão e assoreamento são comuns, levando a diminuição dos corpos hídricos.

Além da perda destes recursos, Franco e Nogueira (2012) descrevem que as interferências humanas na paisagem natural vêm causando mudanças significativas no microclima de cada região, sendo caracterizadas pelo aumento de temperatura do ar e diminuição da umidade relativa, causadas principalmente pela ausência de áreas verdes. Assim, dados climáticos devem ser analisados sob diversos aspectos, como espaciais e temporais e dessa forma, com relação à essas proporções, podem compreender desde uma escala abrangente como o globo terrestre (macroclima), até menores como o meso (regional) e o microclimático (local).

As classificações climáticas geralmente são feitas para escalas macro/meso (Aslam e Rana, 2022). No entanto, há a percepção de que os microclimas são afetados por muitos fatores, incluindo a vegetação local, a geometria, assim como superfícies de água (Zhang *et al.*, 2022). Portanto, variáveis como tamanho, forma,

densidade e cobertura afetam a capacidade da vegetação de influenciar o microclima por meio da evapotranspiração e sombreamento, absorção de chuva e modificação de movimentos de ar (convecção), como trocas de calor com o ambiente local.

Whiteman *et al.* (2000) detalham que estudos climáticos de micro e mesoescala podem se beneficiar enormemente do uso da tecnologia de *datalogger*. Assim, exemplos de aplicações incluem desde o mapeamento de temperatura para investigações de geada em pomares e vinhedos, a determinação de influências complexas do terreno na temperatura do ar, até a medição das variações de temperatura microclimática em cavernas, copas de vegetação ou outros tipos de ambientes.

Graça *et al.* (2022) explicam que a regulação do microclima, requer que esses serviços ecossistêmicos estejam relacionados a processos mensuráveis e propriedades ecossistêmicas que afetam os resultados desejados. Medições microclimáticas em escala fina são necessárias para revelar os requisitos ecológicos das espécies, especialmente em face das mudanças climáticas em curso (Wild *et al.*, 2019). Portanto, pode-se entender que a coleta de dados climáticos de áreas específicas, dentro de um contexto ecossistêmico, pode auxiliar no entendimento de um contexto de flora e fauna endêmica.

Muitos organismos vivem em ambientes nos quais as temperaturas diferem substancialmente daquelas medidas pelas estações meteorológicas padrão, assim como a estimativa confiável das condições microclimáticas é, portanto, fundamental para entender como esses ambientes se comportam (Maclean *et al.*, 2021).

Zellweger *et al.* (2020) atestam que a estimativa confiável das condições microclimáticas é fundamental para entender como os organismos interagem com seu ambiente, sendo cada vez mais reconhecida como necessária para enfrentar desafios aplicados, como prever as consequências ecológicas das mudanças climáticas.

Gutzler e Watson III (2022) certificam que o *datalogger* é capaz de gravar dados continuamente e não apenas registrar ou transmitir informações periódicas, assim como López-Vargas *et al.* (2019) atestam que o *datalogger* permite a instalação do sistema de monitoramento em áreas desprovidas de redes de telecomunicações, armazenando os dados em cartão SD e requerendo manutenção mínima. Assim, o uso desses equipamentos mostra-se bastante útil, principalmente pelo fato de ser possível

desenvolver equipamentos para coleta de dados personalizados devido a variabilidade e disponibilidade de diversos componentes e sensores.

Torna-se importante a utilização de mecanismos para avaliar estes processos, destacando que o avanço tecnológico e o surgimento de novas técnicas e sensores remotos tornam os diagnósticos ambientais cada dia mais precisos (Lozinski *et al.*, 2010). Dentre as técnicas de se avaliar impactos antrópicos em determinadas áreas por meio do uso de novas tecnologias, destaca-se, por exemplo, o uso de *datalogger*, que tem como característica fornecer informações específicas e precisas da área de estudos. Este tipo de equipamento permite a obtenção de dados relativos a variáveis ambientais, como por exemplo a temperatura, umidade relativa do ar, presença ou não de chuva, intensidade pluviométrica, umidade do solo, luminosidade e georreferenciamento, entre outros.

O uso de tecnologias, como de *dataloggers*, portanto, permite verificar as variações climáticas de forma pontual em regiões delimitadas por características específicas, em detrimento da presença de vegetação ou pela forma de cobertura que determina o tipo de microclima na área e a sua influência, tanto local quanto nos microclimas adjacentes.

Desta maneira, a pesquisa objetivou o estudo das variações ambientais nos microclimas em áreas sob constante ação antrópica via *dataloggers* utilizando tecnologias livres.

As componentes embarcadas são constituídos por microcontrolador Arduino e de diversos sensores de captura de dados ambientais específicos e registro de base histórica de variações ambientais de cada microclima sob análise, formatando e extraindo informações relevantes como a amplitude térmica, a fim de avaliar os comportamentos e impactos climáticos desses ecossistemas e sua influência em suas áreas de abrangência.

Material e métodos

Localização e Caracterização da Área Experimental

A Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba está situada no município de Campo Grande, acessada pela BR-262, a uma distância aproximada de 35 quilômetros em relação ao centro da cidade (Figura 1). A microbacia se localiza em altitudes que variam entre 480 a 620 m, com clima predominante sendo

o tropical úmido, com maior concentração de chuvas entre os meses de outubro a março, atingindo 1.500 mm e podendo variar entre 750 a 2.000 mm, indicando invernos secos e verões

chuvosos, sendo que as médias anuais de temperatura giram em torno de 20 °C (PMCG-AG, 2022).

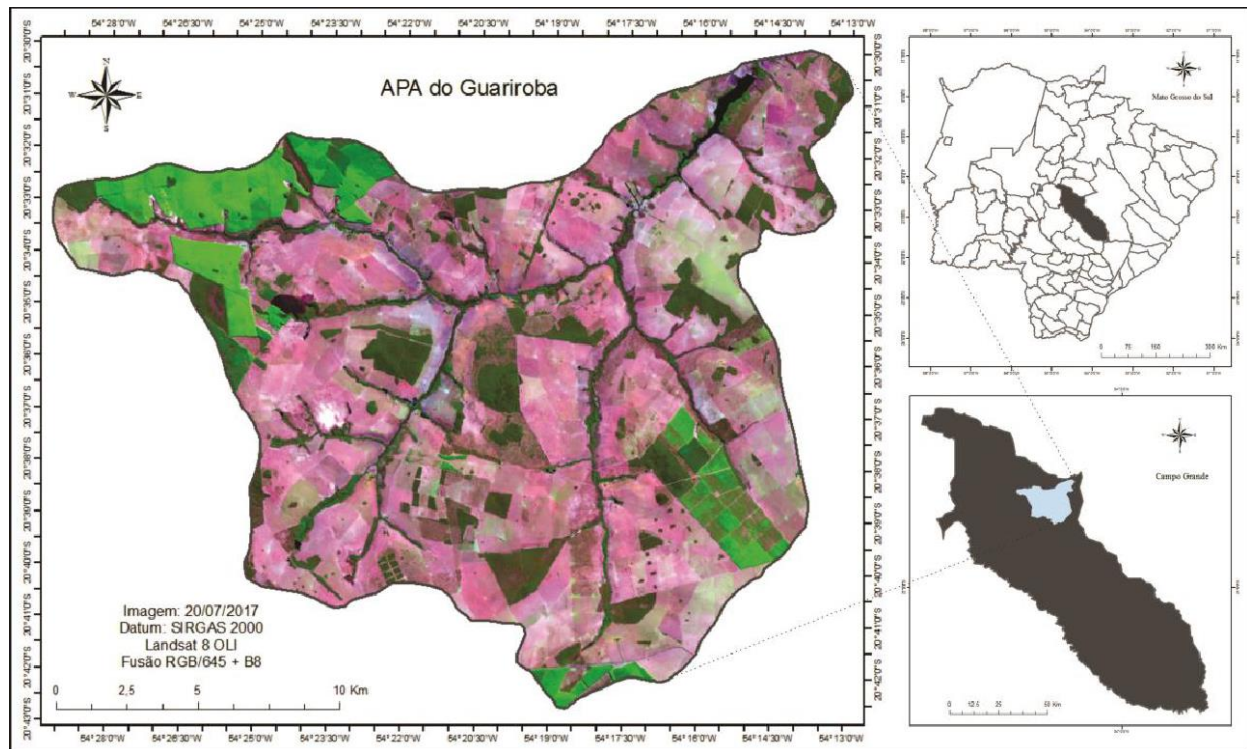


Figura 1. Localização geográfica da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Oliveira *et al.* (2017) descrevem que os solos da APA do Guariroba são constituídos principalmente por Neossolo Quartzarênico com textura arenosa, extremamente drenado, profundo, com pouca capacidade de retenção de água e pobre em elementos nutritivos, ocorrendo em relevo plano e suavemente ondulado com cobertura vegetal de Cerrado.

No local, as fitofisionômicas predominantes são campo sujo, cerrado *stricto sensu*, cerradão e formações ripárias. Atualmente a maior parte da área é formada por pastagens não nativas, como a braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), além da implantação recente de áreas de silvicultura, com o plantio de eucalipto (*Eucalyptus spp.*).

O *datalogger* desenvolvido para o projeto constitui-se de equipamento composto por um microcontrolador Arduino agregado a sensores que captam dados externos de condições climáticas gravando-os em uma mídia de armazenamento local, sendo possível também a configuração para transmissão dos dados via interface de

comunicação por onda (*wireless*, *bluetooth* e rádio, por exemplo) para armazenamento remoto em um servidor local ou disponível na internet.

O desenvolvimento dos *datalogger* (três) utilizou a tecnologia de prototipagem Arduino e de sensores para identificação de algumas variações meteorológicas consideradas relevantes para os microclimas selecionados para a pesquisa.

Como elemento base do equipamento utilizou-se microcontroladores Arduino, modelo Mega 2560, baseado em um processador ATmega2560 de 16 Mega Hertz (MHz), com 54 pinos de entradas/saídas digitais, sendo 16 entradas analógicas, 4 portas seriais de entrada/saída e alimentação de 5 Volts (V) e conexão de energização via bateria e tomada. Este conjunto oferece o suporte ideal para que diversos tipos de sensores possam ser conectados para a coleta de dados enviados ao equipamento. Para isso foi desenvolvido um algoritmo computacional que recebe os dados por meio dos diversos sensores e os registra em arquivo no formato de planilha eletrônica armazenando em um cartão de memória.

O primeiro sensor a ser utilizado foi o AM2302 para leitura de temperatura e umidade relativa do ar, com tensão (diferença de potencial - ddp), de operação de 3,3 Volts (V) e baixo consumo de corrente, em torno de 2,5 miliAmpere (mA) quando ativo durante as medições e, 100 a 150 microAmpere (μ A) quando em modo de espera/repouso. As faixas de leitura de umidade estão entre 0 a 100%, com taxa de erro máximo de 5% e de detecção e leitura de temperatura entre -40 a 125 °C, com taxa de erro máximo 0,5%. Esses valores representam um sensor bastante preciso no que concerne aos padrões de leitura de temperatura e de umidade relativa do ar (SPARKFUN, 2022).

Posteriormente inseriu-se o sensor de altitude e pressão, sendo utilizado o MPL3115A2, com consumo de 5 μ A e ddp de 3,3 V e faixa de medição de pressão entre 300 a 1100 hPa (Pascal), com taxa de precisão de $\pm 0,12$ hPa e altitude de -0,5 a +9 km e resolução de 0,06 hPa (50 cm) (ADAFRUIT, 2022).

Para detectar a presença de chuva e sua intensidade como “fraca”, “moderada”, “forte” e “intensa”, utilizou-se o sensor YL-83, baseado no comparador LM 393, que opera com ddp de 3,3 a 5 V e corrente de 100 mA, que permite que os dados sejam recebidos no formato analógico, possibilitando assim, que o código seja configurado de maneira a obter variados tipos de leitura (ONSEMI, 2022).

A seguir foi conectado e configurado o sensor de umidade do solo, também baseado no Comparador LM 393, que opera com ddp de 3,3 a 5 V e corrente de 35 mA. Este sensor permite que os dados sejam recebidos no formato analógico, possibilitando assim, que o código seja configurável, registrando o nível como “pouco úmido”, “umidade média”, “muito úmido” ou “solo encharcado” (ONSEMI, 2022).

Para analisar a luminosidade, utilizou-se um sensor de luminosidade LDR, Resistor Dependente de Luz (*Light Dependent Resistor*), baseado no componente GL5528, de 5 mm de diâmetro, que opera com ddp de 5 V e corrente de 100 mA, com resistência na ausência de luz em torno de 1 MegaOhm e com presença de luz, entre 10 e 20 KiloOhm e temperatura de operação entre -30 a 70 °C. Desta forma, é possível operar na faixa luminosa de 540 nanômetros, entre a luz visível vermelha e amarela (YOURDUINO, 2022).

Quanto ao registro de datas e horas das leituras realizadas pelos sensores, utilizou-se um sensor RTC DS1307, Relógio de Tempo Real (Real Time Clock), que dispõe de uma bateria própria de

lítio CR2032, operando a 5 V e corrente de 500 nanoAmperes no modo bateria (DIGIKEY, 2022).

Para finalizar o equipamento, inseriu-se o sensor de leitura e escrita de cartões digitais, o módulo SD Card, que grava em dispositivo de memória do tipo Flash (cartão SD) os dados coletados pelo equipamento *datalogger*, operando com 5 V de ddp e corrente de 20 mA quando sem uso, e 100 mA no modo de escrita (CYPRESS, 2022).

Os procedimentos consistiram na conexão de cada sensor de forma separada no microcontrolador Arduino, permitindo a inserção dos códigos de cada componente para realização de testes de coleta de dados de forma a obter a leitura de forma constante e correta, retornando os dados de acordo com as especificações definidas no algoritmo.

A acomodação do conjunto Arduino, sensores e fonte de energia foi feita em uma caixa hermética de PoliCloreto de Vinil (PVC), medidas de 19 x 15 x 7 cm. Esta caixa é utilizada para proteger equipamentos eletrônicos que não podem ficar expostos às intempéries da natureza, fabricada de material termoplástico autoextinguível (resistente ao fogo), com trava para fechamento e engate na parte traseira para suporte a haste, permitindo fixação no solo, sem que fique diretamente em contato com o chão.

Posteriormente, conectou-se todos os sensores ao conjunto, interligando-os com o microcontrolador Arduino acomodados na caixa hermética. Após as conexões físicas dos componentes ao conjunto, procedeu-se com a junção dos códigos de cada elemento de *hardware* em um único algoritmo (programa de computador), corrigindo os erros do programa de acordo com os erros que iam surgindo. Após a correção dos erros de código e ou de execução, foram realizados testes de funcionamento em ambiente externo, como por exemplo, ao relento durante a noite e no sol durante o dia, para que o equipamento fosse testado em condições reais para certificação de seu funcionamento em conjunto, coletando todos os dados e gravando os registros no cartão de memória.

As leituras de teste do equipamento (Figura 2), foram configuradas para ocorrerem a cada 5 segundos. No entanto, para as leituras em campo, seguiu-se o padrão de Plataformas de Coleta de Dados Meteorológicos (PCD), geralmente realizadas a cada 5 minutos ou 10 minutos. Devido ao consumo do gravador de cartão SD ser alto e para garantir a maior sobrevida da bateria, optou-se pela coleta a cada 10 minutos,

suficiente para traçar o perfil climático da área estudada.

Os testes com os equipamentos *dataloggers* para a coleta de dados no período foram compreendidos no período a seguir:

- manhã: entre 06 e 12 horas;
- tarde: entre 12 e 18 h;
- noite: das 18 às 0 h;
- e madrugada: entre 0 às 06 h.

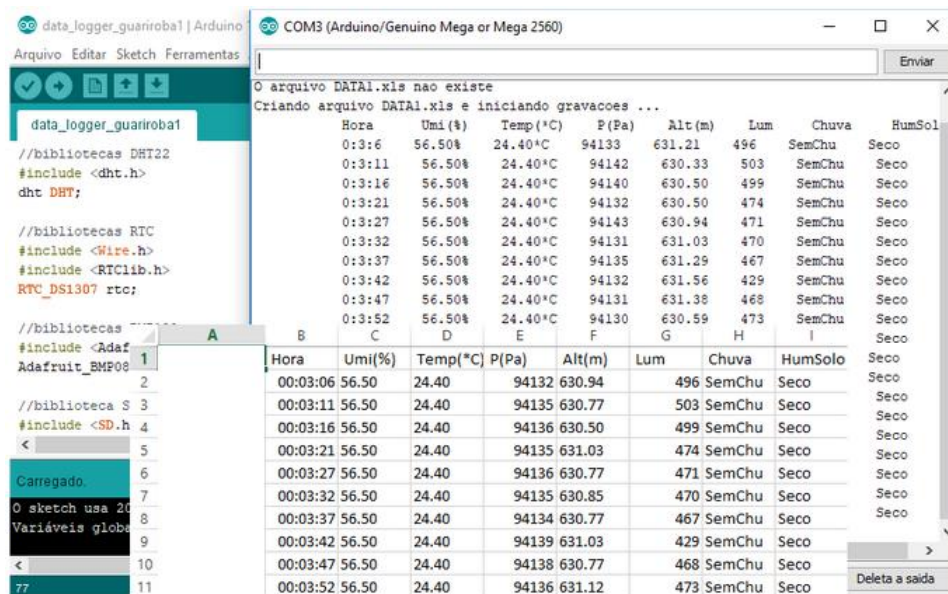


Figura 2. Testes no código do algoritmo, saída serial e planilha com os dados do cartão SD.

Após os testes de leitura e gravação procederem de forma correta, os equipamentos foram colocados à campo, sendo cada um em uma determinada posição. Os pontos de colocação foram identificados como áreas que indicavam ambientes diferenciados, tendo em vista as fisionomias, vegetação e a paisagem do local, identificados nos diversos tipos de microclimas presentes na área de pesquisa na APA do Guariroba, sendo: área das nascentes com cobertura vegetal específica do local; área no entorno da nascente, cerca de 186 metros distante, com vegetação rasteira de gramíneas; e, área distante 818 metros da nascente, sem cobertura vegetal e com o solo arenoso totalmente exposto às intempéries.

Foi utilizado também o recurso de imagens aéreas (Figura 3) para observação da dimensão da área do entorno em visão macro. As imagens foram obtidas utilizando drone da fabricante DJI, modelo Phantom II Advanced, com câmera GoPro 3 Hero+ Black Edition, configuradas para a qualidade de 1080 dpi.

As imagens obtidas pelo drone são respectivamente:

- a partir da superfície da área com pastagem escassa com solo altamente arenoso (a);
- a 30 metros de altura (b) com destaque para o solo arenoso com manchas isoladas de vegetação de pasto e algumas árvores arbustivas; e,
- a 100 metros de altura (c), no qual se observam largas e extensas faixas de areia, indicativo do avançado grau no processo de degradação ambiental.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. Imagens de drone região da APA Guariroba a partir do solo (a), a 30 metros (b) e a 100 metros, Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Após as inspeções presenciais e obtenção de imagens via “drone”, foram escolhidos os locais a serem instalados os equipamentos em três microclimas selecionados de acordo com as características das coberturas vegetais distintas que podem ser observadas via imagem obtida no software “Google Earth” (Figura 4).

As leituras dos *dataloggers* foram realizadas no mês de julho, estação de inverno, que tem como característica local o clima seco, com pouca chuva na região. A hora de início das leituras foi considerada a partir das 21:30 h, com os equipamentos realizando leitura sincronizadas com os relógios ajustados com a mesma data e hora, e encerradas às 19:40 h, horário de última leitura comum a todos os *dataloggers*. Após esse horário as baterias se esgotaram em momentos um pouco diferentes e não geraram mais leituras em comum.

Foram realizadas 176 leituras e gravações coincidentes de dados meteorológicos durante o período, coletadas a cada 10 minutos, sendo as coletas as meteorológicas:

- umidade relativa do ar;
- temperatura;
- pressão;
- altitude;
- luminosidade;

- presença de chuva; e,
- umidade do solo.

O intervalo abrangeu, portanto, todas as fases de um dia completo e suas variações, desde a noite do primeiro dia, toda a madrugada entre o primeiro e o segundo dia e o período do nascer do sol, pela manhã, até o entardecer com o pôr do sol e o início da noite do segundo dia.

A descrição da paisagem vegetal, posicionamento georreferenciado e distâncias (em metros) ficaram, portanto com a seguinte configuração:

- *Datalogger* 1 (DL1), instalado próximo ao ponto 20°31'50" Sul e 54°21'08" Oeste, em área sem cobertura vegetal e em visível estado de degradação, com solo arenoso exposto, distante 818 m da área da nascente;

- *Datalogger* 2 (DL2), no ponto 20°32'02" Sul e 54°21'25" Oeste, em local com a presença de vegetação rasteira (pastagem) e 186 metros de distância da nascente; e,

- *Datalogger* 3 (DL3), no ponto 20°32'08" Sul e 54°21'27" Oeste, na área da nascente e presença de cobertura vegetal arbustiva com presença de palmeiras da espécie buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.).



Figura 4. Localização dos equipamentos (DL1, DL2 e DL3) na APA do Guariroba, município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

Resultados e discussão

Com a finalidade verificar a precisão dos dataloggers na leitura de dados ambientais foram

realizados testes comparativos em relação à Plataforma Vantage Pro2-Duo (PCD-Uniderp) da Universidade Anhanguera-Uniderp. O erro quadrático médio calculado em relação às leituras coletadas foi de aproximadamente 0,012, um erro aproximado de 1,2%, considerada porcentagem baixa de erro.

Calculando-se o coeficiente de correlação entre os dados da temperatura dos equipamentos de medição, PCD-UNIDERP e dataloggers, o resultado médio foi “ $r = 0,98$ ”, indicando correlação entre os dados coletados em ambas plataformas.

Após os testes comparativos, o DL1 (Figura 5), fixado na área sem cobertura vegetal, indicou as maiores variações de temperaturas, em período com ausência de chuva, ficando a mínima em 17 °C e máxima, 32,7 °C, média de 25,6 °C e amplitude térmica de 15,7 °C. A média de umidade relativa do ar ficou em torno de 40,6%.

A umidade do solo foi de “seco”, durante a maior parte de todo o período a um aumento de

umidade, durante a madrugada, entre às 04:20 e 06:40 h da manhã.

O DL2 (Figura 5), posicionado em área de pastagem, registrou temperatura mínima de 20,8 °C e máxima de 26,5 °C, média de 23,7 °C e amplitude térmica de 5,7 °C. A média de umidade relativa do ar foi de 55,3%. A umidade do solo foi “seco” durante uma parte do período e solo “úmido” durante outra, entre às 04:50 e 08:50 h da manhã. A presença de cobertura vegetal, mesmo que rasteira, contribuiu para manutenção, por maior tempo, da umidade do solo, em comparação à área do DL1.

O DL3 (Figura 5), instalado em área da nascente, indicou temperatura mínima de 18,6 °C e máxima de 24,4 °C, média de 21,8 °C e amplitude térmica de 5,8 °C. A média de umidade relativa do ar ficou em 66,4%. A umidade do solo foi “úmida” durante todo o período, fato relacionado a presença da nascente.

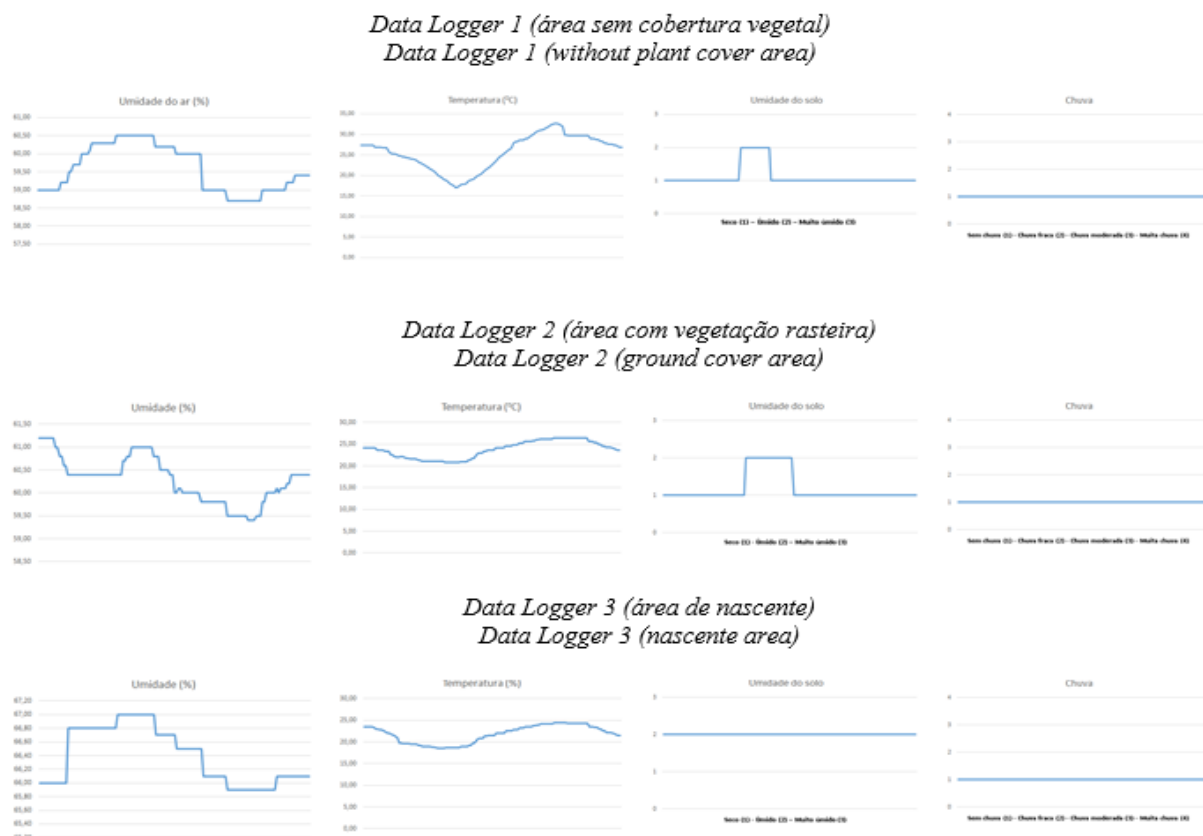


Figura 5. Gráficos dos *dataloggers* nos 3 microclimas no período de estudo, APA do Guariroba, município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

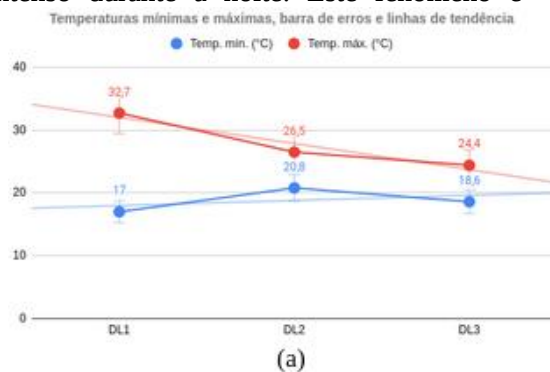
A Figura 6 destaca as informações importantes da Figura 5, identificando graficamente a leitura comparativa dos valores de temperatura mínima e máxima (a) de cada

datalogger DL1, DL2 e DL3, apresentando suas barras de erro e linhas de tendência, enquanto que em (b) é apresentada a linha da umidade relativa do ar, sua barra de erro, assim como sua linha de

tendência em cada um das áreas de pesquisa em que os equipamentos foram instalados ao longo do período da coleta de dados.

A amplitude térmica está diretamente relacionada à fração da radiação solar extraterrestre (R_a) que atinge a superfície do solo. No entanto, existem outros fatores como nebulosidade e umidade que podem influenciar a amplitude térmica em determinado local (Ramos *et al.*, 2018). A compreensão destas informações é tão importante que Araújo *et al.* (2020) destacam que a amplitude térmica diária pode afetar a taxa de crescimento de culturas de modo negativo, visto que é fator crítico sobre o desenvolvimento e a produtividade das plantas, sendo que na fase reprodutiva valores extremos podem ocasionar inclusive esterilidade de grãos.

Em (a) a maior amplitude térmica no DL1, área sem cobertura vegetal, evidencia traços semelhantes às leituras de áreas desérticas de clima extremo, com temperaturas altas durante o dia e frio intenso durante a noite. Este fenômeno é



explicado por Silva *et al.* (2018) quando um solo exposto sem cobertura vegetal possui alta amplitude térmica porque se aquece rapidamente durante o período de exposição solar e, consequentemente, eleva a temperatura durante o dia, promovendo o aumento da irradiação de calor e da temperatura em seu entorno.

Em (b) a análise da umidade média corrobora com (a), já que em DL1 os valores são bem mais baixos que em DL3, área da nascente com cobertura vegetal. Este tipo de microclima e sua amplitude térmica também é discutido por Silva *et al.* (2018) que relacionam as temperaturas associadas à cobertura do solo, denotando que fatores como a biomassa mais seca nos meses sem chuva, a diminuição da evapotranspiração, o aumento do calor sensível e a falta de comportamento térmico regulador provavelmente influenciaram o aumento da temperatura em relação às áreas com cobertura vegetal mais densa e mais úmida, como por exemplo, a área que compreende o microclima da nascente, em que ficou instalado o datalogger DL3.

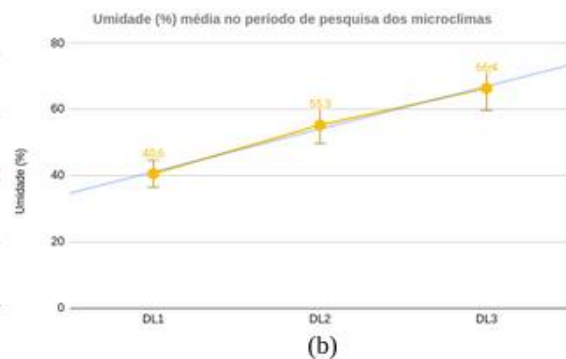


Figura 6. Valores de temperatura mínima e máxima (a) e umidade relativa do ar (b).

O desenvolvimento dos equipamentos datalogger para obtenção de dados personalizados e pontuais para medição de variáveis ambientais foi imprescindível na pesquisa e avaliação dos microclimas (Quadro 1) para a pesquisa, pois foram coletadas séries de valores específicos e direcionados.

Neste contexto, as Plataformas de Coletas de Dados (PCD) meteorológicos são utilizados para realizar coletas de dados de grandes áreas utilizando médias, o que inviabiliza a sua utilização em estudos personalizados para áreas focalizadas e estudos de casos pontuais, além de possuírem alto custo de aquisição e manutenção.

Quadro 1. Resultados das coletas dos microclimas pesquisados

Datalogger	Tipo vegetação	Amplitude térmica (°C)	Média umidade ar (%)	Umidade solo
DL1	Sem vegetação	15,7	40,6	Seco
DL2	Gramíneas	5,7	55,3	Úmido
DL3	Vegetação arbustiva e palmeiras	5,8	66,4	Encharcado

A avaliação dos microclimas mostrou-se como um mecanismo de medidas importante, pois permitiu indicar que áreas pequenas podem e devem ser consideradas indicadores ambientais, tendo influência direta em áreas próximas no que se refere ao conforto térmico. Essa situação pode ser observada pela proximidade da área das nascentes (DL3) com relação à área de pastagem (DL2), que por se localizar próxima das nascentes, apresenta valores meteorológicos próximos. Em contrapartida, a área sem vegetação (DL3), distante da influência do microclima das nascentes, apresenta valores muito maiores de temperatura e amplitude térmica, bem como valores bem menores de umidade relativa do ar.

No que concerne aos custos totais envolvendo os três equipamentos criados, cerca de R\$ 1080,00 no total, cada *datalogger*, resultou no valor de R\$ 360,00 (Tabela 1). O desenvolvimento dos *datalogger* indica que é extremamente útil a utilização em diversas situações, em que o monitoramento das variáveis meteorológicas é necessárias para análise mais detalhada das condições climáticas e suas relações com o ambiente. Desta forma, o desenvolvimento e utilização destas tecnologias se torna uma aliada importante no estudo e pesquisa de ecossistemas individualizados, já que possibilitam coleta e análise de âmbito mais específico.

Neste contexto, os valores são considerados baixos levando-se em consideração

os diversos tipos de leitura das diferentes variáveis que foram realizados na pesquisa, comparativamente a equipamentos profissionais que não apresentam os mesmos recursos de leitura e de coleta de forma personalizada de variáveis meteorológicas que se julgam necessários para estudo e pesquisa.

Para efeito de comparação, há *dataloggers* comerciais que também realizam leituras de dados ambientais, a exemplo dos equipamentos:

- OM-CP-PRHTEMP101A, que coleta apenas temperatura, umidade do ar e pressão (<https://br.omega.com/pptst/OM-CP-PRHTEMP101A.html>), com custo aproximado de R\$ 2.915,00; e,

- Log110 EXF, que também coleta apenas temperatura e umidade do ar (<https://www.incoterm.com.br/produto/data-logger-log-110-exf-ref-3030-22>), com custo de R\$ 4.417,34.

Estes equipamentos não realizam a coleta de umidade do solo e tampouco de volume e/ou nível de chuva, imprescindíveis para a compreensão das variáveis ambientais que cercam um microclima. Assim, o *datalogger* construído justifica seu desenvolvimento por possibilitar que seja possível utilizar componentes de forma personalizada, permitindo serem adicionados outros sensores a partir das necessidades da pesquisa.

Tabela 1. Valores dos componentes utilizados na montagem dos *dataloggers*

Componente	Quantidade	Valor unitário (R\$)*	Valor total (R\$)
Arduino Mega2560	03	100	300
Fios jumper (macho x macho) - 40 unid.	01	15	15
Fios jumper (macho x fêmea) - 40 unid	01	15	15
Sensor AM2302	03	30	90
Sensor MPL3115A2	03	20	60
Sensor YL-83	03	15	45
Sensor LM 393	03	15	45
Sensor GL5528	03	10	30
Sensor DS1307	03	10	30
Bateria CR2032	03	5	15
Módulo SD Card	03	15	45
Cartão memória SD 16 GB	03	30	90
Bateria Power Bank	03	50	150
Caixa hermética	03	30	90
Total:	41	360,00	1080,00

* Valores de novembro de 2022.

Conclusões

Os equipamentos, por se tratar de desenvolvimento próprio e de forma modular por parte dos pesquisadores, possibilitam modificações no sentido de inserção, retirada e troca dos componentes, assim como o suporte ao equipamento também se torna um aspecto positivo com relação ao custo-benefício, tanto em questões de valores quanto de tempo, já que não necessita de uma assistência-técnica específica ligada a determinado fabricante.

O valor do *datalogger*, em torno de R\$ 360,00, em contrapartida a todas as leituras obtidas (temperatura, umidade do ar, pressão, altitude, chuva, umidade do solo, luminosidade e armazenamento), mostrou-se bastante satisfatório, já que equipamentos comerciais com leituras semelhantes apresentam custo mais elevado.

A análise do desempenho dos equipamentos permite concluir que se trata de solução viável, que em tempos de escassez de fomento à pesquisa, permite controlar o processo de desenvolvimento e a prática de coletas de dados ambientais de forma consistente.

Os resultados obtidos nas três áreas de estudo permitem concluir que a utilização de *datalogger* é eficiente na identificação das variações ambientais que ocorrem em pequenas áreas já que retorna informações climáticas específicas a estes microclimas. Neste contexto, a presença ou ausência de vegetação pode interferir nas condições climáticas, criando microclimas diversificados. Assim, conclui-se que áreas submetidas à ação antrópica mais contundente podem sofrer um impacto ambiental significativo, em relação ao seu microclima e influenciar em áreas em seu entorno no que concerne principalmente à questão do conforto térmico.

Agradecimentos

Agradecimento especial aos colegas doutores que se empenharam tanto na fase de estudo, quanto na pesquisa à campo e escrita e correção do artigo relacionado ao trabalho, além de todos os servidores da Secretaria e Coordenação do Programa de Pós-Graduação da Universidade Anhanguera-Uniderp.

O presente trabalho de pesquisa foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecimentos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Produtividade em Pesquisa

1C e a Universidade Anhanguera-Uniderp através do pagamento de bolsa de estudo.

Referências

- ADAFRUIT. Xtrinsic MPL3115A2 I2C Precision Altimeter. 2022. Disponível: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1893_datasheet.pdf. Acesso: 09 set. 2022.
- Araújo, W. R., Medeiros, R. M., França, M. V., Holanda, R. M. 2020. Oscilações climáticas das temperaturas extremas, média e amplitude térmica do ar em Bom Jesus Piauí, Brasil. Research, Society and Development 8, 01-26.
- ARCPGUARIROBA, 2008. Disponível: <http://www.arcpguariroba.com.br/arquivos/anejos/5-1530624891.3965.pdf>. Acesso: 22 jul. 2022.
- Aslam, A., Rana, I. A. 2022. The use of local climate zones in the urban environment: A systematic review of data sources, methods, and themes. Urban Climate 42, 01-17.
- Capone, V. 2021. Mapeamento dos pequenos reservatórios e análise dos impactos ambientais associados na bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande - MS. GeoUERJ 39, 01-23.
- Capone, V. 2020. Implicações da resolução e fonte de modelos altimétricos na análise quantitativa de atributos geomorfométricos para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande, MS. Revista Brasileira de Geografia Física 13, 2417-2432.
- CYPRESS. SD Card Datasheet. 2022. Disponível: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Micro-SD-Card-Module-Datasheet.pdf. Acesso: 10 set. 2022.
- DIGIKEY. DS1307 Datasheet. 2022. Disponível: <https://www.digikey.com/en/datasheets/maxim-integrated/maxim-integrated-ds1307>. Acesso: 09 set. 2022.
- Franco, F. M., Nogueira, M. C. J. A. 2018. Análise microclimática em função do uso e ocupação do solo em Cuiabá-MT. Mercator 26, 157-170.
- Graça, M., Cruz, S., Monteiro, A., Neset, T. S. 2022. Designing urban green spaces for climate adaptation: A critical review of research outputs. Urban Climate 42, 01-17.
- Gutzler, B. C., Watson III, W. H. 2022. Measurements of American lobster heart rate and movements in the wild using a low-cost open source datalogger. Marine Biology 169, 52.
- IBGE, 2021. Brasil/Mato Grosso do Sul/Campo Grande. Disponível:

- <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/campo-grande/panorama>. Acesso: 15 ago. 2022.
- López-Vargas, A., Fuentes, M., García, M. V., Muñoz-Rodríguez, F. J. 2019. Low-Cost Datalogger Intended for Remote Monitoring of Solar Photovoltaic Standalone Systems Based on Arduino. *IEEE Sensors Journal* 19, 4308 - 4320.
- Lozinski, M. A., Balbinot, R., Vennicio, D., Oliveira Filho, P. C., Schrimmer, W. N. 2010. Diagnóstico das áreas de preservação permanente de nascentes na área urbana do município de Irati-PR. *Revista Floresta* 40, 63-70.
- Maclean, I. M. D., Duffy, J. P., Haesen, S., Govaert, S., Frenne, P., Vanneste, T., Lenoir, J., Lembrechts, J. J., Rhodes, M. W., Koenraad, V. M. 2021. On the measurement of microclimate. *Methods in Ecology and Evolution* 12, 1397-1410.
- Oliveira, A. M., Fernandes, V., Pirajá, R. V., Silva, M. H. S. 2017. Avaliação multitemporal das paisagens da área de proteção ambiental (APA) dos mananciais do córrego Guariroba, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, por meio de imagens de satélite. *Raega* 42, 8-20.
- ONSEMI. Low Offset Voltage Dual Comparators. 2022. Disponível: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/LM393-D.PDF>. Acesso: 11 set. 2022.
- PLANALTO, 2023. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. 2022. Disponível: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso: 27 ago. 2022.
- PMCG. Decreto Municipal Nº. 7.183/1995. 2022. Disponível: <http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/downloads/decreto-municipal-n-7-183-de-21-de-setembro-de-1995/>. Acesso: 20 ago. 2022.
- PMCG-AG. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba – APA do Guariroba. 2022. Disponível: <http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/wp-content/uploads/sites/24/2018/05/Plano-de-Manejo-APA-Guariroba-2008.pdf>. Acesso: 20 ago. 2022.
- Ramos, J. P. A., Vianna, M. S., Marin, F. R. Estimativa da radiação solar global baseada na amplitude térmica para o Brasil. 2018. *Agrometeoros* 1, 37-51.
- Silva, R. C. F., Lopes, C. S., Oliveira, F. G., Fernandes, A. L. T., Assis, L. C. 2018. Relação entre cobertura e temperatura do solo em região periurbana do Cerrado. *Revista Agrogeoambiental* 4, 127-140.
- SPARKFUN. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302). 2022. Disponível: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. Acesso: 15 set. 2022.
- YOURDUINO. CDS Light-Dependent Photoresistors. 2022. Disponível: <http://yourduino.com/docs/Photoresistor-5516-datasheet.pdf>. Acesso: 15 set. 2022.
- Wild, J., Kopecký, M., Macek, M., Šanda, M., Jakub, J., Tomáš, H. 2019. Climate at ecologically relevant scales: A new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement. *Agriculture and Forest Meteorology* 268, 40-47.
- Zellweger, F., Frenne, P., Lenoir, J., Vangansbeke, P., Verheyen, K., Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Hédél, R., Berki, I., Brunet, J., Van Calster, H., Chudomelová, M., Decocq, G., Dirnböck, T., Durak, T., Heinken, T., Jaroszewicz, B., Kopecký, M., Máliš, F., Coomes, D. 2020. Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. *Science*, 368, 772-775.
- Zhang, J., Zhang, F., Gou, Z., Liu, J. 2022. Assessment of macroclimate and microclimate effects on outdoor thermal comfort via artificial neural network models. *Urban Climate* 42, 01-17.