

COMPARAÇÃO TERMOHIGROMÉTRICA DE SUB-ALTITUDE EM ÁREA URBANA E RURAL EM SÃO CARLOS, BRASIL, POR MEIO DE VANT/DRONE

Rafael Gotardi Brússolo¹; José Ricardo Macedo Pezzopane²; Francisco Arthur da Silva Vecchia¹

Autor para correspondência: rgrussolo@usp.br

¹Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos; ²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Pecuária Sudeste

RESUMO

A Radiossondagem de sub-altitude tem como objetivo mensurar os dados climatológicos em vários níveis verticais da atmosfera por meio de um equipamento denominado radiossonda. Além do mais, é conhecido que os diferentes tipos de uso e ocupação do solo (urbano, industrial, rural, florestal) alteram o balanço de energia entre a superfície e a atmosfera. Dessa forma, o estudo proposto tem como objetivo analisar e comparar os valores de temperatura e umidade relativa do ar próximo a superfície (1,5m de altura) e em diferentes alturas (50m e 190m da superfície) em área urbana e rural no município de São Carlos, Brasil, no período noturno em episódios de inverno, por meio de termohigrômetros acoplados em um Veículo Aéreo Não-Tripulado (Vant/Drone) do tipo quadricóptero (quatro hélices). O voo na área urbana foi realizado no dia 13/07/2018 e na área rural no dia 26/07/2018 entre 19:30 e 20:30. Os resultados demonstraram que na área urbana em períodos noturnos a temperatura e umidade relativa do ar são maiores próxima a superfície em relação aos dados de sub-altitude. Já na área rural em períodos noturnos a temperatura do ar é menor e a umidade relativa do ar é maior próximo a superfície em comparação aos dados de sub-altitude.

PALAVRAS-CHAVE: Climatologia; Radiossondagem; Urbano x Rural

SUB-ALTITUDE THERMOHYGHROMETRIC COMPARISON IN URBAN AND RURAL AREA IN SÃO CARLOS, BRAZIL, BY RPA/DRONE

ABSTRACT

Sub-altitude radiosondeing aims to measure climatological data at various vertical levels of the atmosphere by means of equipment called a radiosonde. Moreover, it is known that different types of land use and occupation (urban, industrial, rural, forest) alter the balance of energy between the surface and the atmosphere. In this way, the proposed study aims to analyze and compare the values of temperature and relative humidity of the air near the surface (1,5m high) and at different heights (50m and 190m of the surface) in urban and rural areas in São Carlos, Brazil, during nighttime in winter episodes, by means of thermohygrometer coupled in a quadricopter (four propellers) Remotely-Piloted Aircraft (RPA/Drone). The flight in the urban area was carried out on 07/13/2018 and in the rural area on 07/26/2018 between 19:30 and 20:30. The results showed that in the urban area at

night time the temperature and relative humidity of the air are higher near the surface in relation to the sub-altitude data. In the rural area at night time the air temperature is lower and the relative air humidity is higher to the surface compared to the sub-altitude data.

KEY-WORDS: Climatology; Radiosonde; Urban x Rural

INTRODUÇÃO / INTRODUCTION

Mesmo com o aumento da demanda de estudos meteorológicos por meio da radiossondagem, grande parte é direcionada a observações de camadas elevadas da atmosfera, o que pode apresentar problemas na aquisição e transmissão de informações para a estação receptora no solo, como também dificuldades em se estabelecer um patamar de altura contínuo com pouca oscilação devido à turbulência do escoamento do ar e a geração de elevados custos logísticos com o deslocamento terrestre para localizar e recolher o conjunto de instrumentos acoplados na radiossonda.

Assim, a proposta do uso do VANT ou Drone é tornar o processo de radiossondagem mais eficiente, rápido e barato. Neste estudo foram utilizadas a temperatura e umidade relativa do ar, todavia, o VANT consegue transportar diversos tipos de sensores, não ultrapassando o seu limite de carga. Além desse aspecto, é importante conhecer o funcionamento da atmosfera logo acima da superfície. Esse conhecimento pode contribuir para o melhor entendimento da interação entre as diferentes rugosidades (superfícies) e a atmosfera, fornecendo subsídios para a climatologia, meteorologia, agronomia e áreas correlatas.

Oke (1987) fez um comparativo entre os perfis de temperatura diurna e noturna em áreas urbanas e rurais. O autor destaca que durante o dia o ar é aquecido na superfície terrestre e sobe até o ar mais fresco da camada limite, onde é misturado ao ar atmosférico para formar uma camada limite de temperatura constante. A mistura leva o ar quente para cima, além da camada limite, onde a inversão térmica do ar quente sobre o ar frio acontece. Em áreas rurais, à noite, a superfície terrestre é mais fria do que o ar acima dela. Uma vez que o ar deixa de ser aquecido pela superfície, não sobe ar quente. Ao contrário, o ar se acomoda em uma inversão térmica à temperatura do solo, ou em uma massa estável de ar frio próximo ao solo com ar mais quente acima dela.

Nessa perspectiva, pode-se citar os trabalhos de Duckworth e Sandberg (1954), Davidson (1967), Bornstein (1968), Georgii et al., (1968), Clarke (1969), Mahrt (1999), Roth (2000), Mestayer et al., (2005) e Pal et al., (2012).

Destarte, o trabalho ora proposto visa analisar e comparar os valores de temperatura e umidade relativa do ar em áreas urbanas e rurais, em diferentes níveis verticais da atmosfera, em São Carlos, Brasil.

OBJETIVOS DO TRABALHO / OBJECTIVES

O estudo proposto tem como objetivo analisar e comparar os valores de temperatura e umidade relativa do ar próximo a superfície (1,5m de altura) e em diferentes alturas (50m e 190m da superfície) em área urbana e rural no município de São Carlos, Brasil, no período noturno em episódios de inverno, por meio de termohigrômetros acoplados em um Veículo Aéreo Não-Tripulado (Vant/Drone) do tipo quadricóptero (quatro hélices).

MATERIAIS E MÉTODOS / MATERIALS AND METHODS

Há muito tempo se sabe que o balanço de energia da superfície urbana é diferente em comparação a uma superfície rural, e que o aquecimento prolongado da superfície urbana após o pôr do sol dá origem a ilha de calor urbana. O fluxo de calor sensível diurno é geralmente maior sobre a superfície urbana mais seca, levando a camada limite urbana mais profunda. O que é menos conhecido é como fundamentalmente a estrutura do fluxo e turbulência acima das cidades é alterada durante as diferentes fases de estabilidade da camada limite urbana, em particular durante o pico da ilha de calor urbana após o pôr do sol.

Os termos energéticos são a liberação de calor latente por condensação, o resfriamento radiativo do ar e a transferência de calor. A advecção horizontal da temperatura, pelo movimento de massas de ar frio e quente, também pode ser importante. A acrescentar, o movimento vertical do ar depende do tipo de sistema e de pressão. Áreas de alta pressão costumam estar associadas à subsidência e ao aquecimento de camadas profundas de ar, reduzindo o gradiente de temperatura e causando inversões frequentes da temperatura na troposfera inferior. Já os sistema de baixa pressão são associados à ascensão de ar, que resfria pela expansão e aumenta o gradiente vertical da temperatura (AHRENS, 2003).

Os avanços mais importantes na área de temperatura do ar urbana estão relacionados à dimensão vertical da atmosfera. Duckworth e Sandberg (1954) realizaram sondagens com balões na cidade de São Francisco (EUA). Também se pode citar os trabalhos com o uso de helicópteros em Nova York (Davidson, 1967; Bornstein, 1968), em Frankfurt (Georgii et al., 1968) e em Cincinnati (Clarke, 1969).

Com esse pressuposto, a pesquisa ora proposta parte das ideias trabalhadas em estudo preliminar publicado por Neves *et al* (2015) cujo o objetivo foi avaliar os parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar dentro do substrato da Camada Limite Atmosférica (CLA), nas proximidades de uma região lacustre artificial, em situações sinóticas distintas, utilizando um Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) e balões cativos para o transporte dos sensores termohigrométricos, comparando esses resultados com os dados da estação meteorológica de superfície. Os resultados demonstraram que a umidade relativa do ar apresentou superioridade nos valores quando comparados à estação meteorológica de superfície. O VANT estabeleceu altura e posicionamento praticamente inerte, efetuando as medições com mais uniformidade que o balão cativo. Dessa maneira, os autores afirmaram que é possível utilizar Veículos Aéreos Não-Tripulados como metodologia alternativa nos estudos de radiossondagem.

Para este trabalho foi utilizado o sensor termohigrométrico (ICEL® HT-4010). Apesar de os voos terem sido realizados no período noturno, optou-se por protegê-los com material isolante do tipo *durafoil*® prateado e tubos PVC, por conta de possíveis turbulências. O equipamento possui interface *USB* para descarregar os dados diretamente no computador (Figura 1).

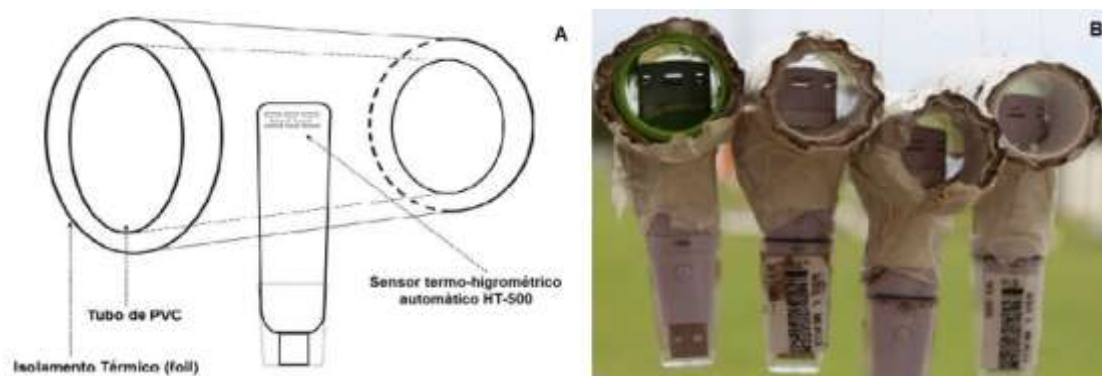


Figura 1: Esquema do abrigo meteorológico e sensores termohigrométricos (A); Disposição dos sensores(B). Fonte: Adaptado de Neves et al (2015).

O VANT utilizado foi do estilo quadricóptero (quatro hélices). Possui piloto automático que o controla por meio da fusão dos dados dos sensores de Unidade de Medida Inercial (IMU) e Sistema de Posicionamento Global (GPS) (Figura 2)



Figura 2: Exemplo do VANT (A), VANT em voo (B) e imagem aérea do Campus 1 da USP de São Carlos (C). Fonte: Adaptado de Neves et al (2015).

Os sensores termohigrométricos foram suspensos por cabos de *nylon*® a 10m de distância do VANT para evitar a turbulência. Para a coleta de dados o VANT permaneceu em voo estável por tempo compatível para “ambientalização” dos sensores (os testes realizados previamente demonstraram que o sensor estabilizava-se antes de 1 minuto). O sensores foram programados para coletar dados a cada 10 segundos.

A vantagem do uso do VANT é a sua capacidade de se manter estável em meio a agitação turbulenta dos ventos. Em contrapartida, a duração do voo fica restrita a em média 12 minutos, em decorrência do desgaste da bateria.

Os voos foram realizados entre as 19:30 e 20:30. Primeiramente foi realizado o voo em área urbana (13/07/2018) a 50m (o VANT permaneceu estável a 10m acima da altura do sensor devido ao cabo de nylon). A partir do momento que o VANT alcançou a altura de 60m foi contabilizado 8 minutos de coleta, registrando os dados a cada 10 segundos. Ao término dessa primeira coleta, o VANT retornou a superfície para trocar a bateria e descarregar os dados. Na segunda coleta o VANT atingiu a altura de 200m em relação a superfície, permanecendo estável por 8 minutos e registrando as informações de temperatura e umidade relativa do ar a cada 10 segundos, da mesma maneira que no primeiro voo (60m).

Os mesmos procedimentos foram adotados para a realização do voo em área rural no dia 26/07/2018.

Durante os voos também foi programado um sensor para registrar as informações de temperatura e umidade relativa do ar na superfície (1,5m de altura) com o objetivo de compará-los com os dados das cotas de 60 e 200m.

Vale destacar que para a realização do voo com o VANT foram escolhidas datas com estabilidade atmosférica (céu limpo e ventos calmos) e com as características de temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento similares. Para tal caracterização, foram utilizadas as imagens do satélite GOES 16, as imagens de radar do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET) da Unesp, campus de Bauru, os dados de superfície (saldo de radiação, temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento e chuva) da Estação Meteorológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Pecuária Sudeste) (área rural).

RESULTADOS E DISCUSSÃO / RESULTS AND DISCUSSION

Para analisar as condições atmosféricas nos dias de coleta de dados foram utilizadas as informações de superfície e imagens de radar meteorológico e satélite. Assim, a figura 3 fornece os dados de saldo de radiação, temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento dos dias 13/07/2018 (linha azul) e 26/07/2018 (linha vermelha). Para essa caracterização foram utilizados dados de quinze em quinze minutos da Estação Meteorológica da Embrapa Pecuária Sudeste-São Carlos. Já as figuras 4 e 5 ilustram as imagens do radar meteorológico do IPMET e do satélite GOES 16.

Com a análise do episódio constatou-se que no dia 13/07/2018 a média da temperatura do ar foi de 18,4°C, a umidade relativa do ar variou entre 50% e 11%, a média de velocidade do vento foi de 1,3 m/s e a direção predominante foi do quadrante Sul. O céu permaneceu com poucas nuvens e não houve chuva. Analisando alguns dias anteriores juntamente com as informações do dia 13/07/2018, constatou-se que estava atuando na região de São Carlos a Massa Polar Atlântica Tropicalizada (mPt).

Para o dia 26/07/2018 a média da temperatura do ar ficou em 19,5°C, a umidade relativa do ar variou entre 71% e 30%, a média da velocidade do vento foi de 1,7 m/s e direção predominante do quadrante Leste. O céu permaneceu com poucas nuvens e não houve chuva. Assim, constatou-se a atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa).

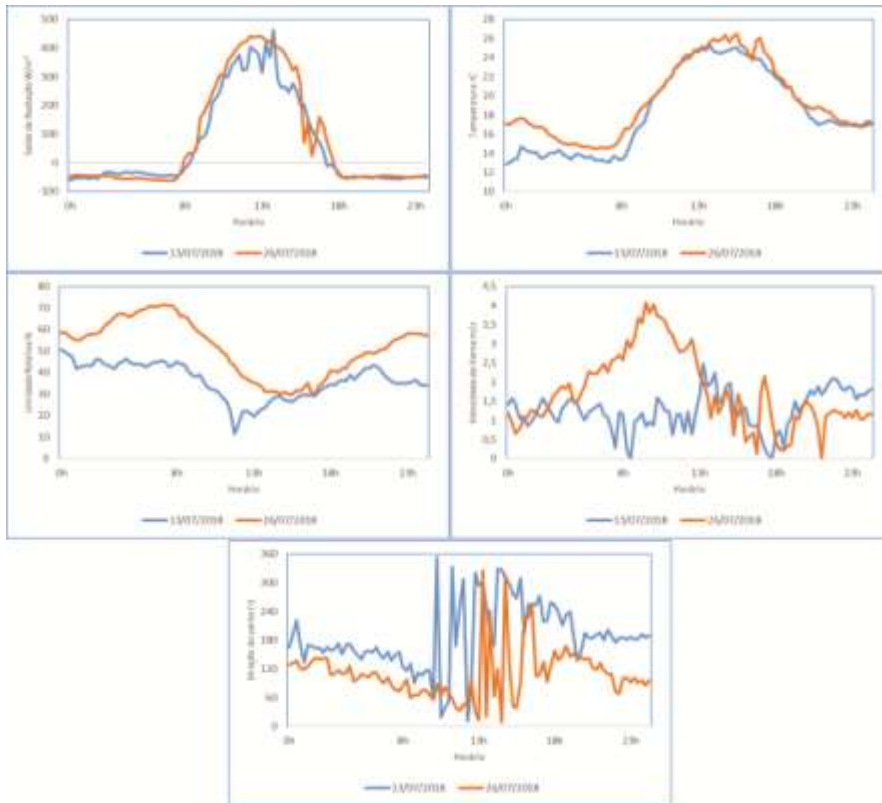


Figura 3: Saldo de radiação (W/m^2), Temperatura do ar ($^{\circ}C$), Umidade Relativa do ar (%), Velocidade do vento (m/s) e Direção do vento ($^{\circ}$) nos dias 13/07/2018 e 26/07/2018. Fonte: Estação Meteorológica da Embrapa Pecuária Sudeste-São Carlos.

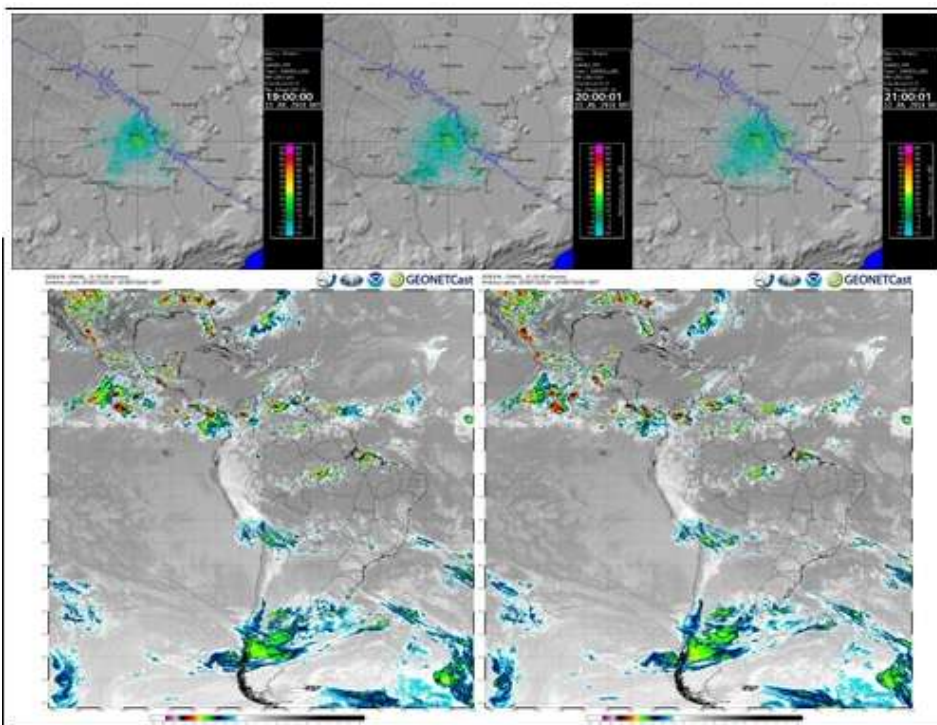


Figura 4: Imagens do radar meteorológico do IPMET e do satélite GOES 16 do dia 13/07/2018. Fonte: IPMET e CPTEC/INPE.

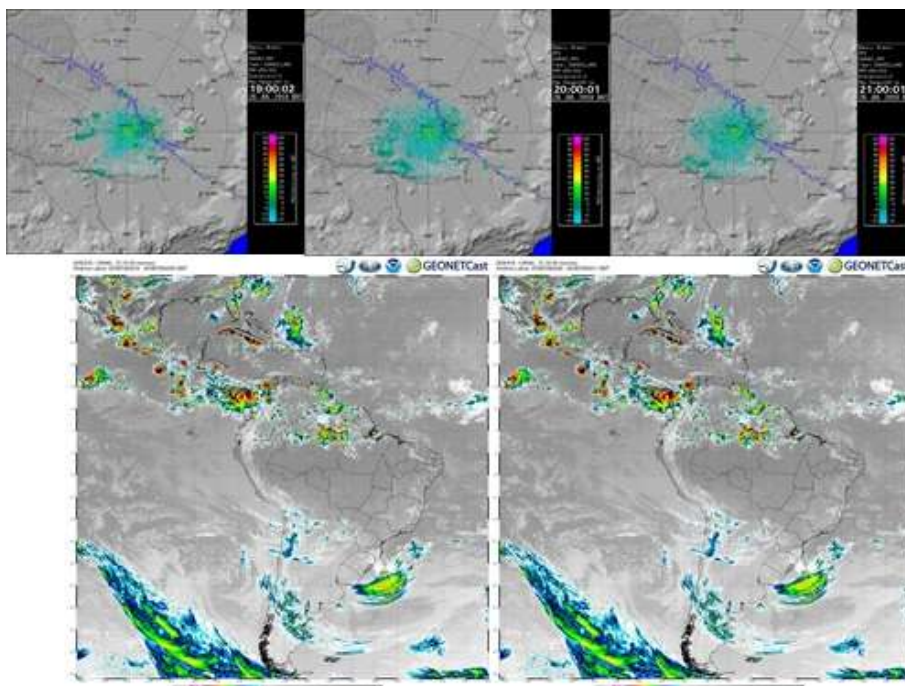


Figura 5: Imagens do radar meteorológico do IPMET e do satélite GOES 16 do dia 26/07/2018 Fonte: IPMET e CPTEC/INPE.

A figura 6 ilustra o local para a realização do voo com o VANT em área urbana. Já a figura 7 fornece os dados de temperatura e umidade relativa do ar em área urbana entre 19:30 e 20:30 no dia 13/07/2018 a 50m e 1,5m e a 190m e 1,5m de altura da superfície.

Durante a realização do voo a velocidade do vento variou de 1,2 a 1,6 m/s com direção predominante de Sul, ausência de nuvens na região e não houve chuva.

Os resultados demonstraram que a área urbana de São Carlos em períodos noturnos apresenta a temperatura do ar próxima a superfície (1,5m) maior em comparação aos dados de sub-altitude (50 e 190m).

A coleta com o VANT se inicia a partir do momento em que se atinge a altura de voo pretendida. Dessa maneira, verificou-se que no início da coleta a temperatura do ar estava maior em sub-altitude do que próximo a superfície. A turbulência da subida e a “ambientalização” do sensor podem ter favorecido esse comportamento. A partir do momento da estabilidade do voo, percebeu-se que a temperatura de sub-altitude começa a cair e se estabilizar abaixo dos valores próximo a superfície.

Segundo Oke (1987) durante o dia o ar é aquecido na superfície terrestre e sobe até o ar mais fresco da camada limite, onde é misturado ao ar atmosférico para formar uma camada limite de temperatura constante. A mistura leva o ar quente para cima, além da camada limite, onde uma inversão térmica do ar quente sobre o ar frio acontece. A camada limite é mais espessa e mais quente em áreas urbanas do que em áreas rurais porque as superfícies urbanas possuem a capacidade de absorver e reter calor por mais tempo. Isso posto, esse calor produzido pelas cidades pode abastecer as inversões térmicas que prendem o ar quente próximo ao solo em períodos noturnos, conforme foi diagnosticado nessa pesquisa.

Em se tratando dos dados de umidade relativa do ar, constatou-se a sua correlação negativa com a temperatura do ar próximo a superfície (1,5m) e de sub-altitude (50 e 190m), ou seja, quando diminui os valores de temperatura, aumenta os valores de umidade relativa do ar e vice-versa. Vale destacar que os valores de umidade relativa do ar próximo a superfície foram superiores em relação aos dados de sub-altitude. Geralmente ocorre a diminuição da umidade relativa do ar com a altitude (GALVANI et al, 2009).

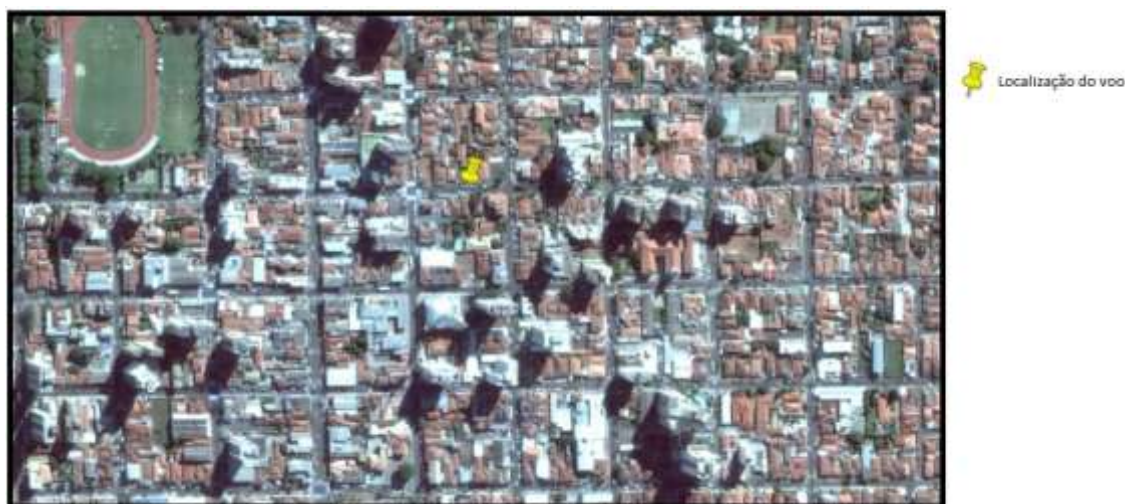


Figura 6: Localização do voo em área urbana no dia 13/07/2018 Fonte: Earth Pro, 2018.

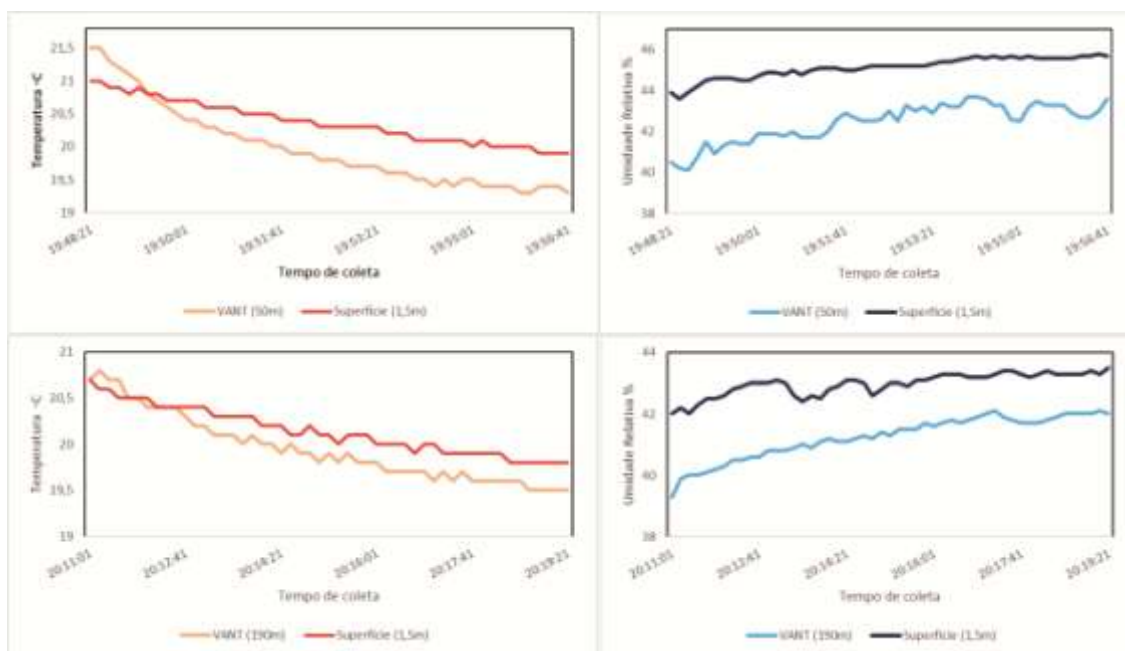


Figura 7: Temperatura e umidade relativa do ar a 50m e 1,5m e a 190m e 1,5m de altura da superfície entre 19:30 e 20:30 no dia 13/07/2018 em área urbana. Fonte: Dados da Pesquisa, 2018.

A figura 8 fornece o local de realização do voo com o VANT em área rural. Já a figura 9 fornece os dados de temperatura e umidade relativa do ar em área rural entre 19:30 e 20:30 no dia 26/07/2018 a 50m e 1,5m e a 190m e 1,5m de altura da superfície.

Durante a realização do voo a velocidade do vento variou de 0 a 1,5 m/s com direção predominante de Leste, ausência de nuvens na região e não houve chuva.

Os resultados demonstraram que a área rural de São Carlos em períodos noturnos apresenta a temperatura do ar próxima a superfície (1,5m) menor em comparação aos dados de sub-altitude (50 e 190m). O tipo de uso e ocupação do solo rural (predominância de vegetação forrageira, arbustos, árvores de pequeno, médio e grande porte) não tem a mesma capacidade de absorver e reter calor em relação as superfícies urbanas (asfalto, concreto etc). Assim sendo, a superfície rural perde calor mais rapidamente e o ar acima dela deixa de ser aquecido, tornando possível a acomodação de ar frio próximo a superfície com uma camada de ar mais quente acima dela, conforme diagnosticado nessa pesquisa.

A umidade relativa do ar foi inversamente proporcional a temperatura (maiores valores de temperatura do ar, menores valores de umidade relativa do ar e vice-versa). A maior taxa de umidade relativa do ar em comparação a área urbana pode ser justificada pelo tipo de uso e ocupação do solo (superfícies com vegetação rasteira, arbustos e árvores de médio e grande porte), pois, o uso do solo e a cobertura vegetal predominantes numa dada região expressam as interações existentes entre a energia disponível (saldo de radiação) ao sistema superfície-atmosfera e sua partição em fluxos de calor sensível (aquecimento do ar) e latente (evaporação). Sabe-se também, que locais com solo exposto e seco, tendem a temperaturas mais elevadas e umidade relativa do ar mais reduzida, se comparadas àqueles ambientes com uma cobertura vegetal mais preservada e, conseqüentemente, mais úmidos, para uma mesma quantidade de energia disponível.



Figura 8: Localização do voo em área rural no dia 26/07/2018 Fonte: Earth Pro, 2018

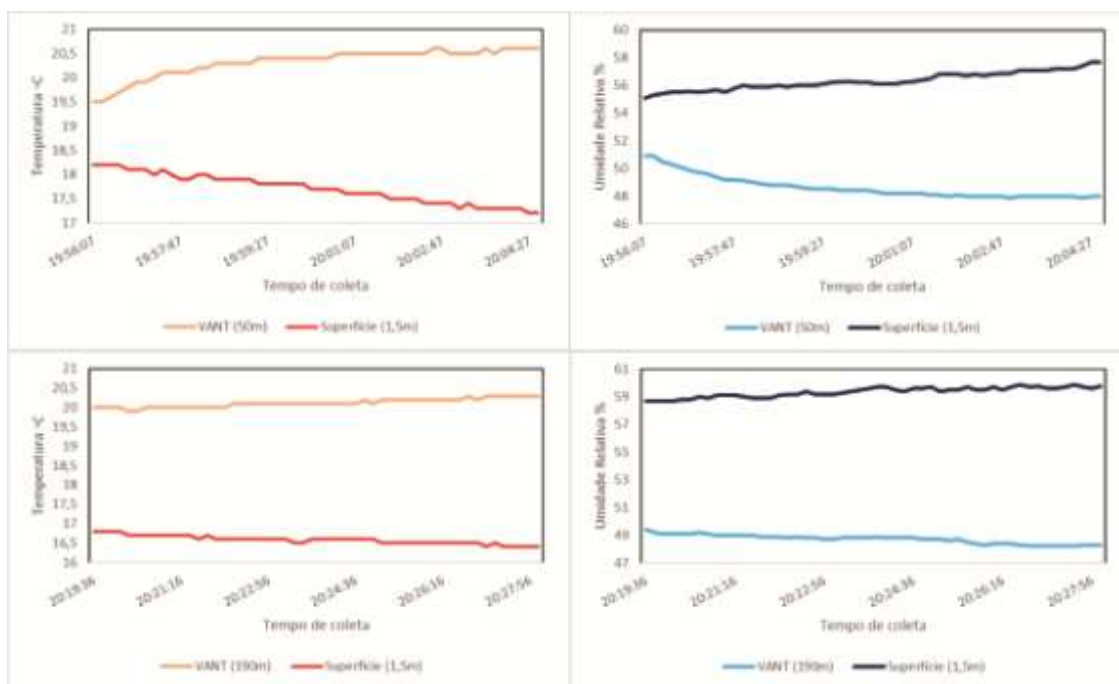


Figura 9: Temperatura e umidade relativa do ar a 50m e 1,5m e a 190m e 1,5m de altura da superfície entre 19:30 e 20:30 no dia 26/07/2018 em área rural. Fonte: Dados da Pesquisa, 2018.

CONCLUSÃO / CONCLUSION

Os resultados demonstraram que a área urbana de São Carlos em períodos noturnos apresenta a temperatura do ar próxima a superfície (1,5m) maior em comparação aos dados de sub-altitude (50 e 190m). Em relação a umidade relativa do ar, constatou-se a sua correlação negativa com a temperatura do ar próximo a superfície (1,5m) e de sub-altitude (50 e 190m), ou seja, quando diminui os valores de temperatura, aumenta os valores de umidade relativa do ar e vice-versa.

Já na área rural, em períodos noturnos, apresenta a temperatura do ar próxima a superfície (1,5m) menor em comparação aos dados de sub-altitude (50 e 190m). A umidade relativa do ar foi inversamente proporcional a temperatura (maiores valores de temperatura do ar, menores valores de umidade relativa do ar e vice-versa). A maior taxa de umidade relativa do ar em comparação a área urbana pode ser justificada pelo tipo de uso e ocupação do solo (superfícies com vegetação rasteira, arbustos e árvores de médio e grande porte).

Em se tratando do uso do VANT/Drone foi possível verificar a estabilidade no voo e a melhora na coleta de dados, pois o VANT/Drone estabelece altura e posicionamento praticamente inerte, efetuando as medições com acurácia, ressaltando suas características para avaliações micrometeorológicas dos parâmetros termohigrométricos.

Deste modo, sugere-se o uso de VANT/Drone para estudos de radiossondagem de sub-altitude, quer seja pela melhora na acurácia dos dados, quer seja pela redução dos custos operacionais.

APOIO / ACKNOWLEDGMENT

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental e ao Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais da Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos por todo apoio logístico e estrutural.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS / REFERENCES

AHRENS, C.D. **Meteorology Today: An Introduction To Weather, Climate and the Environment**. 7th edn, Brooks/Cole. 624pp. 2003.

ARNFIELD, A. J. How to do Urban Climatology: a Personal View of the Legacy of Professor Tim Oke. In: **6th International Conference on Urban Climate. Goteborg, Sweden, 2006**. Disponível em <http://blogs.ubc.ca/toke/files/2015/12/Arnfield-2006.pdf>. Acesso em 14 jul 2014.

BORNSTEIN, R. D. Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City', J. **Appl. Meteorol.** 7, 575-582. 1968.

BRASIL. Ministério da Defesa. Força Aérea Brasileira. Departamento de Aviação Civil. **Portaria Nº 207/STE, de 7 de abril de 1999**. Estabelece as Regras para a Operação do Aeromodelismo no Brasil. Brasília-DF. Diário Oficial da União, 1999.

BRÚSSOLO, R.G. **O clima e a cidade: Ilhas de calor em Assis (SP)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina. 168p, 2015.

CLARKE, J. F. Nocturnal Urban Boundary Layer over Cincinnati Ohio', Monthly **Weather Rev.** 97, 582-589. 1969.

DAVIDSON, B.: 1967, 'A Summary of the New York Urban Air Pollution Dynamics Research Program', J. **Air Pollution Control Assoc.** 17, 154-158.

DEMARRAIS, G. A. Vertical Temperature Differences Observed over an Urban Area, **Bull. Am. Meteorol. Soc.** 8, 548-554. 1961

DUCKWORTH, F. S; SANDBERG, J. S. The Effect of Cities upon Horizontal and Vertical Temperature Gradients', **Bull. Am. Meteorol. Soc.** 35, 198-207. 1954.

GALVANI, E., LIMA, N.G.B., SERAFINI Jr, S., Alves, R.R. Relação entre umidade relativa do ar, cobertura vegetal e uso do solo no Parque Estadual de Intervales (PEI) e seu entorno, São Paulo, Brasil. In: **XII Encontro de Geógrafos da América Latina - EGAL, 2009**, Montevideo. Caminhando por uma América Latina em transformação. Montevideo: Easy Planners, 2009. Disponível em: http://egal2009.easyplanners.info/area04/4052_Galvani_Emerson.doc. Acesso em 30/05/2018.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Oficina de textos, 2010.

GEORGII, H. W; JOST, D; SHAEFFER, H. J. Ber die rumliche und zeitliche Verteilung von Schwefeldioxid und Sulfataerosolen in der unteren Troposphere', **Scientific Report**, Institute of Meteorology and Geophysics, Univ. of Frankfurt/Main, 55 pp. 1968

HAMADA, S; OHTA, T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.9, n.1, 2010.

HART, M.A; SAILOR, D.J. Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. **Theoretical and Applied Climatology**, v.95, n. 3-4, p. 397-406, 7 maio 2008.

HATCHETT, B. J. et al. Assimilating urban heat island effects into climate projections. **Journal of Arid Environments**, v. 128, p. 59–64, 2016.

HEIDORN, K. Balloons Sample the Weather. **The Weather Doctor's Weather**, July, 2005. Disponível em: <<http://www.islandnet.com/~see/weather/almanac/arc2005/alm05jul.htm>> Acesso em 07 de Ago. de 2015

SANCHES, F; FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí-PA. **Acta Amazônica**. Vol. 35 n.1 Manaus, 2005.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A.Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.

MAHRT, L.S. **Bound Layer Meteorol.** Ed atmospheric boundary layers90(3):375–396, 1999.

MENDONÇA, F. de A. **O clima e o planejamento urbano de cidade de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR**. 1994. 322p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MESTAYER, PG; DURAND, P; AUGUSTIN, P. et al. The urban boundary-layer held campaign in Marseille (UBL/CLU-ESCOMPTE): set-up and first results. **Bound Layer Meteorol** 114:315–365, 2005.

NEVES, G.Z.F; et al. Avaliação termo higrométrica de sub-altitude utilizando balão cativo e quadrotor: um ensaio experimental. IN: XIV Simpósio do Curso de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. 2015 **Anais**. São Carlos. Universidade de São Paulo, p. 96-106.

PAL, S; XUREF-REMY, I, AMMOURA, L . Spatio-temporal variability of the atmospheric boundary layer depth over the Paris agglomeration: an assessment of the impact of the urban heat island intensity. **Atmos Environ**. 63:261–275, 2012.

ROTH, M. Review of atmospheric turbulence over cities. **Q J R Meteorol Soc** 126:941–990, 2000.

STEWART, I. D; OKE, T.R. Local climate zones for urban temperature studies. **American Meteorological Society**, 2012 p.1-22.

TAN, J. et al. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. **International Journal of Biometeorology**, v.54, n.1, p. 75-84, jan.2010.

UGEDA, J.C. **Clima e Planejamento na cidade de Jales-SP**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n.3, p. 370-384, 2003.

YAGUE, C.; ZURITA, E.; MARTINEZ, A. Statistical analysis of the Madrid urban heat island. **Atmospheric Environment**, v 25B, n. 3, p. 327-332, 1991.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 4, p. 335-344, jul. 2009.