

Análise do desempenho da previsão numérica de tempo em arquiteturas ARM para *nowcasting*

Marcos Vinicius Bueno de Moraes, Viviana Vanesa Urbina Guerrero, Edio Roberto Manfio

mvbdemorais@gmail.com, vivianaguerrero@utfpr.edu.br,
prof.ediomanfio@gmail.com

FATEC Garça, Tecnologia em Mecatrônica Industrial

UTFPR Cornélio Procópio, PR, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

FATEC Garça, Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Resumo: Uma das ferramentas de extrema importância que auxiliam os meteorologistas na tomada de decisão é a modelagem numérica da atmosfera. Estes modelos realizam previsões do tempo em diversas escalas, contribuindo desde previsões a curtíssimo prazo (nowcasting) até para cenários de mudanças climáticas futuros para daqui a 100 anos. O avanço computacional contribui para a evolução das previsões numéricas de tempo. Visto que os equipamentos estão cada vez mais robustos e, consequentemente, mais caros, este trabalho visa avaliar através de índices de desempenho, a previsão numérica do tempo utilizando um microcomputador de baixo custo, o Raspberry Pi. Para tanto, o modelo numérico da atmosfera WRF foi utilizado neste estudo.

Abstract: One of the extreme importance tools to help the meteorologist in the decision making is the numerical modeling of the atmosphere. These models perform weather forecasts at various scales, contributing from nowcasting to future climate change scenarios for over 100 years. The computational advance contributes to the evolution of the numerical weather forecasts. As the equipment is becoming more robust and, therefore, more expensive, this work aims to evaluate the performance of the numerical weather forecast using a low-cost microcomputer, the Raspberry Pi. To do so, the numerical model of the atmosphere - WRF - was used in this study.

1. Introdução

O avanço significativo do crescimento populacional nas áreas urbanas e, consequentemente, a expansão das cidades pode ocasionar alterações no clima local de uma região, uma vez que o processo de urbanização altera as propriedades dinâmicas e termodinâmicas da superfície. Estas modificações, juntamente com a emissão de poluentes, são temas em diversas discussões no meio científico (MASSON, 2006; UN

REPORT, 2007) e têm impacto direto na saúde, economia e política de uma região.

Tendo em vista que no Brasil cerca de 80% da população vive em cidades, o conhecimento do clima urbano é uma informação importante para a sociedade. Devido às dificuldades em obter dados observacionais em resolução espacial e temporal necessários para a análise da dispersão de poluentes e do impacto da cidade no clima de uma região, a utilização de modelos numéricos tem se tornado uma ferramenta importante para este tipo de estudo. Martilli (2007) e Freitas (2008) destacam a importância de uma boa representação das áreas urbanas em modelos e o tratamento dado à dispersão de poluentes.

Nos últimos anos, tem sido empregado um considerável esforço no desenvolvimento de modelos numéricos para simular a evolução da atmosfera (BORNSTEIN e CRAIG, 2001). Isto tem ocorrido em virtude da falta de dados observacionais e em função das dificuldades em obtê-los com resolução temporal e espacial necessárias para aplicações em gerenciamento ambiental, previsão do tempo e clima.

Com os constantes avanços dos modelos numéricos de previsão do tempo, com execução de grades cada vez mais refinadas, sempre houve a necessidade de utilização e rápida atualização dos equipamentos e servidores que executam estes modelos, de tal forma a agilizar a previsão e efetuar cálculos com maior precisão e acurácia (MORAIS et al., 2014). Geralmente, estes modelos são executados em grandes máquinas (FREITAS et al., 2016) ou até mesmo em servidores nas nuvens (MORAIS et al., 2014) para simulações com vários dias de previsão (entre 7 a 15 dias) e com grades de alta resolução horizontal - entre algumas centenas de metros e poucos quilômetros. Bauer et al (2015) diz que a evolução computacional e a evolução dos modelos de previsão do tempo andam lado-a-lado.

Desta forma, este projeto visa avaliar a viabilidade do uso de computadores de baixo custo, como o Raspberry Pi, para *nowcasting*. O *nowcasting* compreende uma descrição detalhada da atmosfera na situação atual, juntamente com previsões feitas para um período de 0 a 6 horas adiante. Geralmente, estes são realizados mais de uma vez ao dia, contribuindo para ações rápidas de tomada de decisão de meteorologistas e órgãos governamentais para emissão de alertas, como a defesa civil.

2. Metodologia

2.1. Raspberry Pi

Raspberry Pi (Figura 1) é um microcomputador do tamanho de um cartão de crédito desenvolvido no Reino Unido pela fundação Raspberry Pi, com a intenção de estimular o ensino da ciência da computação básica nas escolas. Existem diversos modelos com configurações diferentes. A versão mais atual do modelo B da terceira geração de

microcomputadores possui, entre outras características, um processador ARMv8 quad-core 64 bits de 1.2 GHz, 1 GB de RAM, 4 portas USB, porta HDMI, porta Ethernet, *slot* para cartão MicroSD, Bluetooth 4.1, rede sem fio 802.11n e uma placa de vídeo com capacidade de executar arquivos com qualidade Blu-ray e suporte 3D usando bibliotecas OpenGL (JAIN et al., 2014).

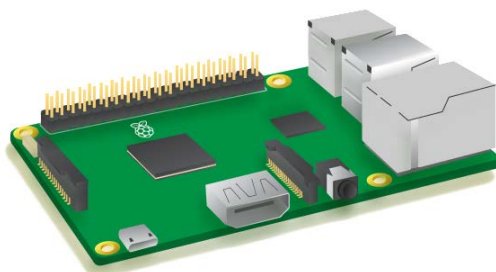


Figura 1 – Modelo B do Raspberry Pi 3. Fonte: <http://www.raspberrypi.org>

A fundação fornece distribuições Debian e Arch linux para processadores ARM e também o Python como principal linguagem de programação, com suporte a C e Perl. A linguagem Python foi escolhida como a principal linguagem de programação por ser uma linguagem bem aceita, de fácil aprendizado e com boa aplicabilidade no dia-a-dia. Pacotes como Numpy, SciPy, Matplotlib, Ipython e Pylab podem ser utilizados para computação matemática tão bem quanto para análise de dados experimentais ou sistemas de controles (ALI et al., 2013).

Recentemente, o Raspberry Pi tem sido aplicado em diversas áreas de pesquisa. Sua utilização vai desde cálculos matemáticos (ZAVITSANOUE et al., 2016), potencial gráfico (MATHOT, 2013), a simples monitoramento dos experimentos. Dados seu potencial, custo (em torno de U\$ 40,00) e tamanho físico, esta tecnologia se mantém como grande promessa na ciência.

2.2. Modelo WRF

O WRF - *Weather Research and Forecasting* (SKAMAROCK et al., 2008) representa a última geração da previsão numérica do tempo que serve tanto para a operação quanto para pesquisas. Este modelo está em constante desenvolvimento através de uma parceria entre diversos órgãos, entre eles o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), *Forecast Systems Laboratory* (FSL), *Air Force Weather Agency* (AFWA) e outros órgãos de pesquisa e desenvolvimento distribuídos por todo o mundo. O modelo pode ser executado tanto para situações atmosféricas idealizadas como situações reais, em um espectro amplo de aplicações em escalas

horizontais.

O modelo WRF consiste em uma versão mais atualizada do *Mesoscale Modeling System* (MM5; GRELL et al., 1995). O código do WRF foi construído para ser portátil e eficiente num ambiente de computação paralela, é modular e possui um único código fonte, com atualizações frequentes pela comunidade científica. Tais características visam atender diferentes aplicações, como a pesquisa e a operação. O modelo oferece um grande número de opções físicas e pode ser utilizado para diferentes interesses em diferentes escalas. Estas aplicações incluem pesquisa e previsão numérica operacional do tempo, assimilação de dados, pesquisa de parametrizações físicas, simulações climáticas, da qualidade do ar, acoplamento oceano-atmosfera e simulações idealizadas - como a geração de ondas baroclínicas, vórtices e convecção.

A Figura 2 apresenta um esquema geral da estrutura de funcionamento do sistema WRF versão 3. O *WRF Preprocessor System* (WPS) consiste no pré-processador que é utilizado basicamente para simulação de casos reais. Este é composto por um conjunto de três programas cujo papel principal é preparar os dados de entrada para simulações. Cada um destes programas desempenha um estágio de preparação: o *geogrid* define os domínios do modelo e interpola o dado geográfico estático (topografia) para as dimensões definidas pelo usuário; o *ungrib* extrai os campos meteorológicos no formato GRIB e o *metgrid* interpola horizontalmente os campos meteorológicos extraídos pelo *ungrib* para a grade definida pelo usuário. No núcleo *Advanced Research WRF* (ARW) é onde o processamento é efetivamente realizado. Nesse núcleo as equações são descritas e o processo de integração é realizado. Detalhes sobre o modelo e suas atualizações podem ser obtidos no site <http://www.mmm.ucar.edu/wrf>.

O ARW é uma das opções de núcleo dinâmico oferecida pelo WRF. Este núcleo representa um modelo não hidrostático que utiliza a equação da continuidade de massa. O único termo negligenciado em todo o conjunto de equações é o termo de aquecimento diabático, que tem sua contribuição na equação de tendência da pressão. Como consequência, a estrutura dinâmica permite o uso de alta resolução. Horizontalmente, todas as equações do modelo estão nos moldes das projeções: Lambert, Polar ou Mercator. A coordenada vertical é do tipo sigma, caracterizada por acompanhar o terreno. O modelo faz uso do esquema numérico de integração de 2ª e 3ª ordem de Runge-Kutta e opção de 2ª a 6ª ordem para o esquema de advecção nas direções horizontal e vertical. A grade utilizada é do tipo C de Arakawa, na qual as variáveis cinemáticas são deslocadas em relação às variáveis termodinâmicas, sendo integradas em meio espaçamento de grade, ou seja, $\Delta x/2$, $\Delta y/2$ e $\Delta z/2$, nas direções zonal, meridional e vertical, respectivamente.

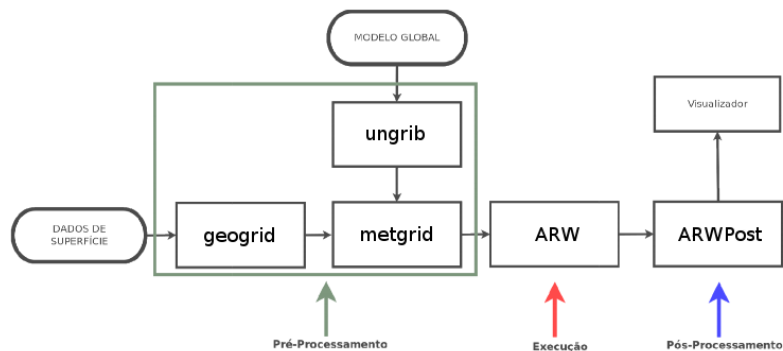


Figura 2 – Esquema de execução do modelo WRF

Para execução do modelo, no geral, é necessário apenas compiladores C, C++ e Fortran, sendo assim possível executá-lo em plataformas ARM (FJUKSTAD, 2014). Também é possível executá-lo em paralelo, o que permite a criação de cluster (COX, 2012).

A execução rotineira deste modelo pode contribuir para o prognóstico de radiação solar incidente na região, gerando uma previsão de geração de energia fotovoltaica. A região a ser mensurada monitorada será a de Garça-SP, tal como comentado no item 2.3. Pretende-se utilizar produtos como este, além da previsão de cobertura de nuvens, como parte do projeto S.O.L.A.R. - Sistema Orientação Latitude-Longitudinal Automático Regenerativo (MANFIO; GUERRA, 2016) que, entre outros recursos, possui interface controlada por voz.

2.3. Estrutura das rodadas

O modelo foi ajustado para ter uma grade de 3 km de espaçamento horizontal (Figura 3), centrado na cidade de Garça (Latitude: -22,2127; Longitude: -49,6604) com dados de entrada do modelo global para realizar uma previsão de 24 horas. As características e parametrizações utilizadas nas simulações são apresentadas na Tabela 1.

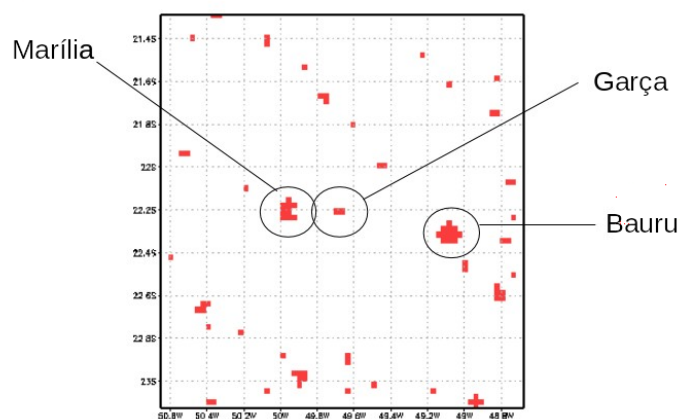


Figura 3 – Grade centrada em Garça e uso de solo urbano (em vermelho) utilizado nas simulações. Principais cidades da região são destacadas na imagem.

Tabela 1: Principais parametrizações físicas utilizadas para execução do modelo.

Física	Parametrização
Microfísica	Hong e Dudhia (2004)
Radiação de onda longa	Mlawer et al. (1997)
Radiação de onda curta	Dudhia (1989)
Superfície	Tewari et al. (2004)

As condições iniciais e de contorno utilizadas foram baseadas nas análises do *Global Forecasting System* (GFS), com espaçamento de grade horizontal de 1° (~112 km). Todas as simulações foram de 24 horas, inicializando às 00Z do dia 10 de março de 2012. Este período foi escolhido por apresentar dias com poucas nuvens.

No total, quatro simulações foram realizadas variando o número de núcleos de processamento do Raspberry. Para uma melhor avaliação, o passo de tempo foi fixo de 15s, tempo suficiente para satisfazer a condição de CFL (*Courant-Friedrichs-Lewy*; COURANT et al., 1928).

2.4. Índices de Desempenho

Dada a grande quantidade de cálculos efetuados por segundos nestes modelos, eles são executados de maneira paralela. Assim, diferenças no tempo de execução do modelo serão encontradas quando aumentando o número de núcleos (cores) para execução do modelo. No Raspberry Pi, foi instalada a biblioteca MPICH (<https://www.mpich.org/>) para processamento paralelo.

Os índices de *speedup* e de eficiência são utilizado para avaliar o desempenho de um sistema em paralelo (ALMEIDA et al., 2011; MORAIS et al. 2014). O *speedup* é definido como a razão do tempo de execução de um programa com um único processador (T_1), com o tempo de execução para n processadores (T_n):

Já a eficiência é utilizada para analisar o número de processadores alocados. Este índice nos fornece uma informação sobre quão bem os processados são utilizados na execução em paralelo:

3. Resultados

A Figura 4 mostra os gráficos de eficiência, tempo de execução e *speedup* obtidos para análise do desempenho das simulações. Os resultados demonstraram que o WRF é otimizado para um único Raspberry Pi utilizando 3 núcleos. Na otimização (3 núcleos), o tempo de execução da rodada do WRF foi de 3 horas, 36 minutos e 23 segundos, o que pode ser considerado rápido para uma simulação de 24 horas de alta resolução. No caso de 4 núcleos, o tempo de execução do modelo foi de 3 horas, 35 minutos e 15 segundos. Apesar da rodada com todos os núcleos ser um pouco mais rápida, pode-se considerar a utilização de 3 núcleos o ponto ótimo para as rodadas no Raspberry, visto que, neste caso, a eficiência do uso dos processadores está próximo de 83%. No caso de 4 núcleos, a eficiência diminuiu para 62%.

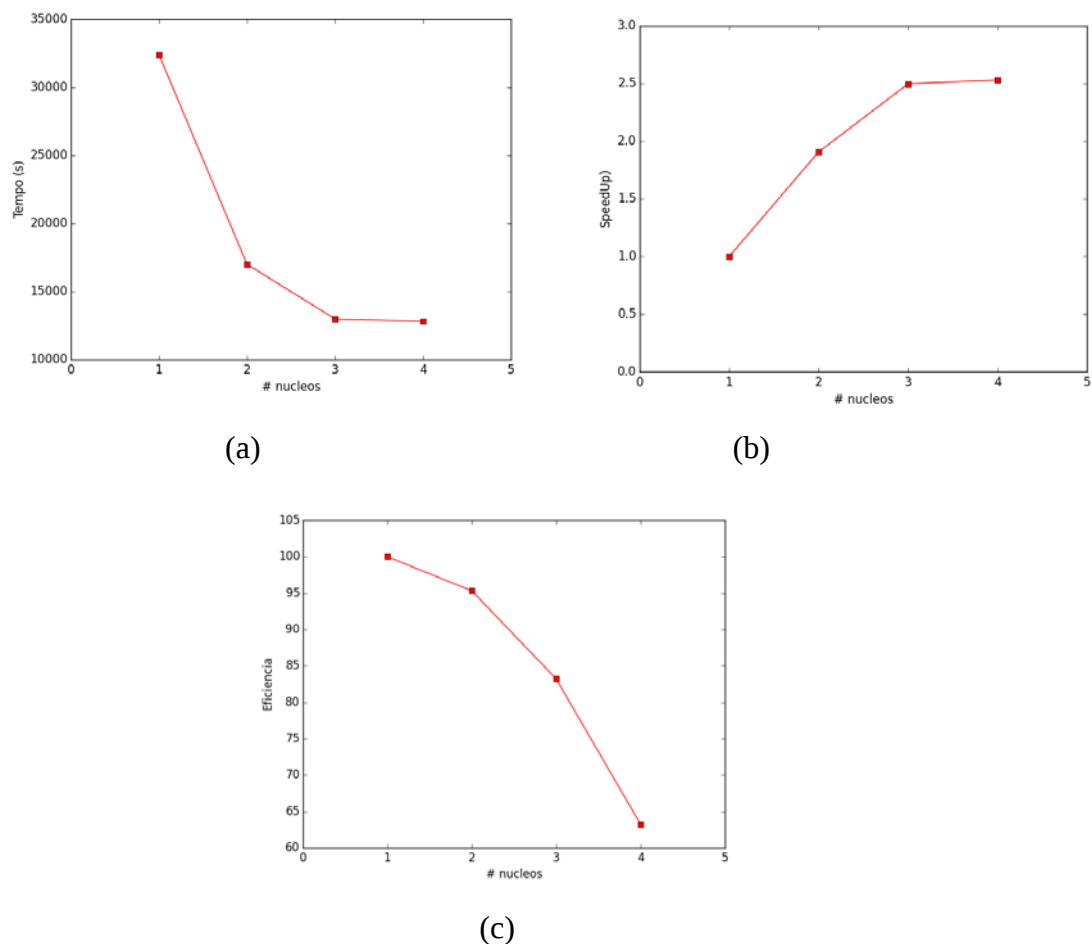


Figura 4 – Gráficos de (a) tempo de execução, (b) speedup e (c) eficiência para o modelo WRF no Raspberry Pi.

4. Conclusão

Este trabalho analisou os índices de *speedup* e eficiência de uso de processadores para execução do modelo WRF no Raspberry Pi, um microcomputador que, dado seu tamanho e potencial de processamento, é considerado de alto desempenho. Os testes foram realizados com uma grade centrada na cidade de Garça (SP) e executados variando o número de núcleos de 1 até 4, que é o máximo disponível no equipamento. Os resultados mostraram que, apesar do equipamento possuir 4 núcleos disponíveis para simular a atmosfera, o uso de 3 núcleos é considerado ótimo para simulação, com um tempo de execução considerado rápido o suficiente para previsão numérica e uma boa taxa de eficiência dos usos dos processadores. Desta forma, espera-se que este trabalho contribua para que o uso de computadores de baixo custo, como o Raspberry Pi, seja utilizado nas previsões numéricas, a partir da construção de *clusters* em instituições de pesquisa e centros de previsão do tempo.

Referências

ALI M. V.; LASKAMP, J. H. A; EDDINY, N. N.; FALCONER, B.; ORAM, C., Technical Development Implications of the and Socioeconomic Raspberry Pi as a Learning Tool in Developing Countries, 5th Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEECE), pp. 103- 108, 2013.

ALMEIDA, E. S. D.; BAUER, M.; FAZENDA, A. L. Evaluation of HPC architectures for BRAMS numerical weather model. In: The 2011 World Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing. [S.l.: s.n.], 2011. p. 7.

BAUER, P.; THORPE, A.; BRUNET, G. The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, v. 525, n. 7567, p. 47–55. 2015. <http://doi.org/10.1038/nature14956>

BORNSTEIN, R.; CRAIG, K.J., Urbanization of Numerical Mesoscale Models, In: International Symposium on Environmental Hydraulics, 2001

COURANT, R.; FRIEDRICHS, K. O.; LEWY, H. Über die partiellen Differenzengleichungen der mathematischen Physik, *Mathematische Annalen*. v. 100, p. 32–74. 1928.

COX, S. Steps to make Raspberry Pi Supercomputer. 2012. Disponível em: <http://www.southampton.ac.uk/~sjc/raspberrypi/pi_supercomputer_southampton.htm>. Acesso em: 08 de dezembro de 2016.

DUDHIA, J. Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *Journal of Atmospheric Science*, v. 46, p. 3077–3107, 1989.

FJUKSTAD, B. Multi-Locality Based Local and Symbiotic Computing for Interactively fast On-Demand Weather Forecasting for Small Regions, Short Durations, and Very High-Resolutions. 2014. 186 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Departamento de Ciência da Computação, Faculdade de Ciência e Tecnologia, UiT Universidade da Noruega, 2014.

FREITAS, E. D. Modelagem Numérica da Atmosfera em regiões urbanas: Aplicações em estudos e prognósticos sobre a qualidade do ar. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*. v. 32, p. 19-27. 2008.

FREITAS, S. R.; PANETTA, J.; LONGO, K. M.; RODRIGUES, L. F.; MOREIRA, D. S.; ROSÁRIO, N. E.; MARTINS, L. D. The Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS 5.2): an integrated environmental model tuned for tropical areas. *Geoscientific Model Development Discussions*, (June), p. 1–55. 2016. <http://doi.org/10.5194/gmd-2016-130>

GRELL, G. A.; DUDHIA, J.; STAUFFER, D. R. A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR TECHNICAL NOTE (NCAR/TN-398+STR). 122 p. Junho 1995. Disponível em: <https://goo.gl/KU1q0i>

HONG, S.Y., DUDHIA, J. Testing of a new non-local boundary layer vertical diffusion scheme in numerical weather prediction applications. In: 20th Conference on Weather Analysis and Forecasting/16th Conference on Numerical Weather Prediction, 2004.

JAIN, S.; VAIBHAV, A.; GOYAL, L. 2014. Raspberry Pi based Interactive Home Automation System through E-mail. 2014 International Conference on Reliability, Optimization and Information Technology - ICROIT 2014, India, Feb 6-8 2014. pag. 277-280.

MANFIO, Edio Roberto; GUERRA, Marcos Paulo Guimarães. Estudo de viabilidade econômica de dados obtidos com protótipo de captação de energia solar de baixo custo. 6º Congresso de Pesquisa Científica: inovação, sustentabilidade, ética e cidadania. UNIVEM, FAJOPA, Fatec Garça e FAMEMA. out. 2016.

MARTILLI, A. Current Research and future challenges in urban mesoscale modelling. *International Journal of Climatology*. v. 27, n. 14, p. 1909-1918. 2007.

MASSON, V. Urban surface modeling and the meso-scale impact of cities. Theoretical and Applied Climatology. v. 84, p. 35-45. 2006.

MATHÔT, S. The Pupillary Light Response Reveals Pre-saccadic Attentional Shifts. 2013 NVP winter conference, 2013. 9 slides: color. Slides gerados a partir do software PowerPoint doi:10.6084/m9.figshare.892331

MLAWER, E. J. et al. Radiative Transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. Journal of Geophysical Research, v. 102, n. D14, p. 16663–16682, 1997.

MORAIS, M. V. B.; PESSOA, A. S. A.; SAAD, S. I.; XAVIER, L. F.; RAMOS, C. G. M., LOBO, B.; PALMA, G. Análise do Desempenho Computacional de Modelos Numéricos de Previsão do Tempo e de Ondas na Arquitetura EC2 Amazon Cloud. In XXXV Congresso Nacional de Matematica Aplicada e Computacional. p. 1–2. 2014.

SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; DUDA, M. G.; HUANG, X. Y.; WANG, W.; POWERS, J. G., A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note, NCAR/TN-475+STR, 2008.

TEWARI et al. Implementation and verification of the unified NOAH land surface model in the WRF model. In 20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction, p. 11–15. 2004.

UN REPORT (Relatório das Nações Unidas). World Urbanization Prospect. The 2007 Revision. Departament on Economic and Social Affairs. 2007. Disponível em: <http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP_Highlights_web.pdf>

ZAVITSANOU, S.; CHAKRABARTY, A.; DASSAU, E.; DOYLE III, F. J. Embedded Control in Wearable Medical Devices: Application to the Artificial Pancreas. Processes, v. 4, n. 35, p. 1-29. 2016.